

СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ И ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В НАУКАХ О ПРИРОДЕ И ОБЩЕСТВЕ

СБОРНИК НАУЧНЫХ ТРУДОВ
Основан в октябре 2011 года

№1(4) - 2(5)'2013

Донецк



Новые учебники и монографии, изданные кафедрой компьютерных систем мониторинга



Аверин Г.В.

А 194 Системодинамика. – Донецк: Донбасс, 2014. – 405 с.
ISBN 978-617-638-277-5

В монографии впервые обобщены эмпирические закономерности процессов развития природы и общества, изложены основные принципы, постулаты и положения системодинамики. Предлагаются подходы к изучению феномена времени. Разработан метод и математический аппарат системодинамики. Сформулировано несколько общесистемных положений. Представлены возможности использования метода системодинамики в прикладных научных областях.

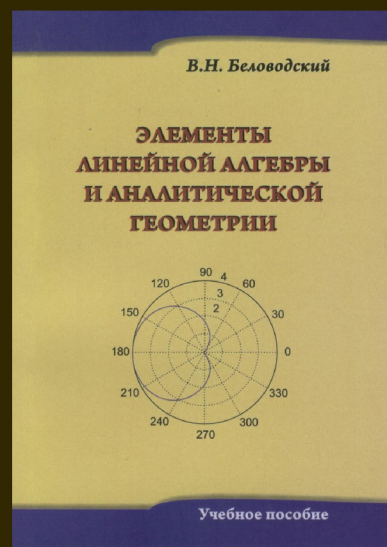
Предназначена для научных работников, преподавателей, докторантов и аспирантов, занимающихся исследованиями в области системного анализа и общей теории систем.

Беловодский В.Н.

Б 43 Элементы линейной алгебры и аналитической геометрии. Уч. пос. по курсу «Линейная алгебра и аналитическая геометрия». – Донецк: Донбасс, 2014. – 138 с.
ISBN 978-617-638-251-5

Учебное пособие рассчитано на 32 лекционных часа и подготовлено в форме лекций по курсу «Линейная алгебра и аналитическая геометрия», который читается на протяжении ряда лет студентам направления подготовки «Компьютерные науки». Каждая лекция содержит примеры решения типовых задач и упражнения для самостоятельной работы.

Учебное пособие может использоваться при изучении курсов «Линейная алгебра» и «Аналитическая геометрия» студентами технических вузов компьютерных специальностей.



Компьютерная грамотность: уч. пос. / [В.А. Павлий, А.В. Звягинцева, С.Ю. Москаленко, А.Ю. Харитонов, В.В. Харитонова, А.С. Хоруженко, А.Н. Смирнов, М.П. Руденко, В.А. Кречетова]; под ред. С.Ю. Москаленко. – Донецк, ДонНТУ, 2013. – 371 с.

Пособие посвящено одной из самых актуальных проблем, лежащих на стыке информационных технологий и оптимизации затрат рабочего времени, выбора подходящего набора компьютерных программ для организации повседневной работы. В учебном пособии освещаются вопросы, касающиеся устройства персонального компьютера, периферийных устройств, современных возможных ПК, а также приводится описание широко используемого программного обеспечения.

Предназначается для преподавателей ВУЗов, учителей школ, школьников и студентов младших курсов университетов.

ГОСУДАРСТВЕННОЕ ВЫСШЕЕ УЧЕБНОЕ ЗАВЕДЕНИЕ
«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(4)–2(5)'2013

ДОНЕЦК

УДК 001.5:004.9

Публикуется по решению Ученого совета государственного высшего учебного заведения «Донецкий национальный технический университет» (протокол № 6 от 20.06.2014).

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.

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

Учредитель и издатель – ГВУЗ «Донецкий национальный технический университет»

Редакционная коллегия: Минаев А.А., чл.-кор. НАНУ (главный редактор); Башков Е.А., д-р техн. наук, проф. (первый заместитель главного редактора); Аверин Г.В., д-р техн. наук, проф. (заместитель главного редактора); Аноприенко А.Я., канд. техн. наук, проф.; Звягинцева А.В., канд. техн. наук, доц. (отв. секретарь выпуска); Беловодский В.Н., канд. техн. наук, доц.; Губенко Н.Е., канд. техн. наук, доц.; Каргин А.А., д-р техн. наук, проф.; Недопекин Ф.В., д-р техн. наук, проф.; Костюкова Н.С., канд. техн. наук, доц.; Святный В.А., д-р техн. наук, проф.; Фельдман Л.П., д-р техн. наук, проф.; Григорьев А.В., канд. техн. наук, доц.

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.

© Авторы статей
© ГВУЗ «Донецкий национальный технический университет»

Системный анализ в науках о природе и обществе

СБОРНИК НАУЧНЫХ ТРУДОВ

ОСНОВАН В ОКТЯБРЕ 2011 ГОДА

№1(4)-2(5)'2013

СО Д Е Р Ж А Н И Е

Введение.....	7
Фундаментальные проблемы общей теории систем, системного анализа и информатики	
<i>Аверин Г.В.</i> Реляционно-полевая модель представления времени.....	11
<i>Аверин Г.В., Звягинцева А.В.</i> Взаимосвязь термодинамической и информационной энтропии при описании состояний идеального газа.....	26
Прикладной системный анализ и моделирование	
<i>Андрюхин А.И.</i> Компьютерный анализ свойств решений ряда задач.....	39
<i>Звягинцева А.В., Аверин Г.В.</i> Стратегическая оценка статуса Украины в современном мире по данным международных организаций. Часть 2: Примеры анализа и результаты.....	46
<i>Смирнов А.Н., Беловодский В.Н.</i> Один подход к интервальному решению систем линейных уравнений низкой размерности.....	56
<i>Звягинцева А.В.</i> Комплексная оценка природно-антропогенных систем: предложения по развитию методологии.....	62
<i>Андрюхин А.И.</i> Оценка рефлексивных связей в вероятностной логике.....	75
<i>Звягинцева А.В.</i> Модели существования и распространения видов животных для количественной оценки биологического разнообразия.....	81

Информационные технологии и автоматизированные системы

Достлев Ю.С.

Повышение информационной надежности оценки текущего состояния объекта автоматизации..... 96

Харитонов А.Ю.

Автоматизация передачи данных и анализ энергоэффективности в распределенном программно-аппаратном комплексе энергоменеджмента муниципальных объектов..... 100

Пометун Е.Д., Кузнецов Д.Н.

Сравнение чувствительности термоанемометров двух типов: импульсного и постоянной температуры..... 107

Усовершенствование учебного процесса и его методическое обеспечение

Харитонова В.В.

Особенности преподавания дисциплины «Цветоведение» будущим программистам медиасистем..... 113

Сведения об авторах на русском языке..... 117

Сведения об авторах на украинском языке..... 119

Сведения об авторах на английском языке..... 121

Библиографические списки, транслитерированные на латиницу..... 123

Системний аналіз у науках про природу та суспільство

ЗБІРНИК НАУКОВИХ ПРАЦЬ

ЗАСНОВАНО У ЖОВТНІ 2011 РОКУ

№1(4)-2(5)'2013

З М І С Т

Вступ.....	7
Фундаментальні проблеми загальної теорії систем, системного аналізу та інформатики	
<i>Аверін Г.В.</i> Реляційно-польова модель представлення часу.....	11
<i>Аверін Г.В., Звягінцева Г.В.</i> Взаємозв'язок термодинамічної та інформаційної ентропії при описі станів ідеального газу.....	26
Прикладний системний аналіз та моделювання	
<i>Андрюхін О.І.</i> Комп'ютерний аналіз властивостей рішень ряду завдань.....	39
<i>Звягінцева Г.В., Аверін Г.В.</i> Стратегічна оцінка статусу України у сучасному світі за даними міжнародних організацій. Частина 2: Приклади аналізу та результати.....	46
<i>Смирнов О.М., Беловодський В.М.</i> Один підхід до інтервального рішення систем лінійних рівнянь низької розмірності.....	56
<i>Звягінцева Г.В.</i> Комплексна оцінка природно-антропогенних систем: пропозиції щодо розвитку методології.....	62
<i>Андрюхін О.І.</i> Оцінка рефлексивних зв'язків в ймовірнісній логіці.....	75
<i>Звягінцева Г.В.</i> Моделі існування та поширення видів тварин для кількісної оцінки біологічного різноманіття.....	81

Інформаційні технології та автоматизовані системи

Достлев Ю.С.

Підвищення інформаційної надійності оцінки поточного стану об'єкту автоматизації..... 96

Харитонов А.Ю.

Автоматизація передачі даних і аналіз енергетичної ефективності в розподіленому програмно-апаратному комплексі енергетичного менеджменту муніципальних об'єктів..... 100

Пометун К.Д., Кузнєцов Д.Н.

Порівняння чутливості термоанемометрів двох типів: імпульсного та постійної температури..... 107

Удосконалення навчального процесу та його методичне забезпечення

Харитонова В.В.

Особливості викладання дисципліни “Кольорознавство” майбутнім програмістам медіасистем..... 113

Відомості про авторів російською мовою..... 117

Відомості про авторів українською мовою 119

Відомості про авторів англійською мовою 121

Бібліографічні списки, транслітеровані на латиницю..... 123

System analysis in environmental and social sciences

COLLECTION OF SCIENTIFIC PAPERS

FOUNDED IN OCTOBER 2011

№1(4)-2(5)'2013

CONTENTS

Introduction.....	7
Fundamental problems of general systems theory, systems analysis and computer science	
<i>Averin G.V.</i> Relational-field model for time representation.....	11
<i>Averin G.V., Zviagintseva A.V.</i> The relationship of the thermodynamic and information entropy in the description of the ideal gas states	26
Applied systems analysis and modeling	
<i>Andruckin A.I.</i> Computer analysis of the properties of solutions of some problems	39
<i>Zviagintseva A.V., Averin G.V.</i> Strategic Assessment of the status of Ukraine in the modern world according to the data of international organizations. Part 2: Examples of analysis and results	46
<i>Smirnov A.N., Belovodskiy V.N.</i> One approach to the interval solution of linear systems of low dimensionality.....	56
<i>Zviagintseva A.V.</i> Comprehensive assessment of natural and human systems: proposals for the development methodology	62
<i>Andruckin A.I.</i> Evaluation of reflexive relations in probabilistic logic	75
<i>Zviagintseva A.V.</i> Models of the existence and distribution of animal species for the biological diversity quantifying.....	81

Information technologies and automated systems

Dostlev Y.S.

Improving of information reliability for assessment of the current state of the automation object 96

Kharytonov A.J.

Automation of data transfer and analysis of the effectiveness in the energy management of municipal institutions..... 100

Pometun E.D., Kuznetsov D.N.

Comparison of the sensitivity thermoanemometers two types are of pulsed and constant temperature..... 107

Improvement of educational process and its methodical support

Kharytonova V. V.

Features of teaching “Chromatic” for future programmers of Media Systems..... 113

Information about the Authors in Russian..... 117

Information about the Authors in Ukrainian..... 119

Information about the Authors in English..... 121

References transliterated from Cyrillic into Latin alphabet..... 123

Введение

Цель – это путь во времени

Карл Ясперс

Когда в 2011 году вышел первый сборник «Системный анализ и информационные технологии в науках о природе и обществе» (САИТ) мы не ставили перед собой значительных целей. Шел эволюционный процесс развития научного коллектива – наиболее действенный процесс достижения результатов в научной деятельности. Обычно сборник выпускался в первом квартале нового года, когда подводятся итоги за прошедший год. Однако, издание сборника за 2013 год задержалось больше, чем на полгода. В начале 2014 года никто и представить себе не мог, что летом на Донбассе начнется война, и все в этом мире станет другим. В одночасье изменились люди и человеческие отношения; народная мудрость «Армия может выстрелить в свой народ лишь один раз. Второй раз она уже стреляет в чужой народ» стала познаваться воочию.

Наш регион сегодня находится на изломе времен и судеб, как уже было в его истории не раз. Пришло новое время, которое многое изменит на Донбассе. Однако, когда родной край в огне, мы, как говорили наши деды: «Не наполним море слезами, не утешим супостата печалью». В это тяжелое время надо мечтать о невозможном, чтобы достичь значимого. Поэтому будем стремиться ставить высокие цели.

За четыре прошедших года подготовлено уже три сборника САИТ, и сейчас, скорее всего, важно не анализировать, что было издано, а посмотреть какие новые научные цели, задачи и идеи могут возникнуть в ближайшей перспективе в рамках изучаемых проблем. Поэтому попытаемся сформулировать четыре актуальные научные проблемы, которые связаны с системным анализом и информационными технологиями и для которых интуитивно уже видны некоторые интересные идеи и пути решения.

Первая проблема непосредственно связана с разработкой новых методов интеллектуального анализа данных (ИАД), которые могут быть реализованы на высоких уровнях понимания информации и позволяют учитывать закономерности развития многомерных систем. К данному классу систем относятся все глобальные, экономические, общественные, экологические и сложные технические системы. Поэтому данное направление будет обеспечивать на перспективу развитие некоторых критических технологий, позволяющих предсказывать поведение систем. Сущность методов ИАД, реализованных на высоких уровнях понимания информации, заключается в том, что алгоритмы анализа данных изначально основываются на моделях данных применительно к некоторым видам проблемно-ориентированных баз данных. В этой области уже используют онтологические модели данных, модели «техноценоза» и т.д. (например, продукты компаний Palantir Technologies и Quid Inc.). Методы ИАД являются средством для поиска закономерностей, а модели данных уже требуют значительного интеллектуального труда в течение длительного времени, благодаря чему формируется теория. Для развития данного научного направления в

ближайших сборниках САИТ предполагается уделить внимание разработке феноменологических моделей данных для некоторых структурированных проблемно-ориентированных баз данных.

Вторая проблема является прикладной и вытекает из решения первой проблемы. Последние исследования указывают на то, что одна из критических технологий, которая может возникнуть в будущем и позволит получить качественно новые результаты – это создание объективных методов и средств предсказания развития общественных систем при высокой степени достоверности. Важным этапом этого является разработка прогностических систем для оценки эволюционного развития стран на среднесрочную и долгосрочную перспективу, исходя из многомерного анализа множества показателей. Цель таких исследований заключается в том, чтобы создать средства формирования наиболее вероятных прогнозов для стратегического планирования при существующих ограничениях и воздействиях – прогнозы, которые, по словам американского социолога У. Томаса, «формируют реальность» и относятся к так называемым «самоисполняющимся пророчествам». Данное научно-техническое направление тесно связано с понятием «рейтинговых войн». Подобные прогностические системы позволят составлять объективные рейтинги развития стран по комплексу показателей. Это даст возможность исключить субъективные подходы при формировании рейтингов и предложить новые индикативные и рейтинговые системы объективной оценки развития стран. В данном сборнике одна статья уже затрагивает область таких исследований.

Третья научная проблема связана с развитием методов общей теории систем и системной динамики применительно к описанию самых разных классов объектов. Гносеологические аспекты системодинамики связаны с прогнозированием развития систем во времени и в пространстве их различных свойств. Это одно из самых актуальных направлений современной науки моделирования систем. В первой статье данного сборника показано, что системные методы могут быть использованы при построении математических моделей времени. С одной стороны, развитие этого направления в области физических, биологических и социальных систем может позволить получить новые данные о количественных свойствах времени. С другой стороны, системодинамика открывает возможности для построения моделей в философии и истории. В одном из сборников САИТ была предпринята попытка формализации закона перехода количественных изменений в качественные. Пока это только первый пример реализации системного подхода в явно гуманитарной области знаний. Чтобы развить этот подход на практике, необходимо от абстрактного построения теорий перейти к анализу опытных данных. В этом плане актуально создание количественных моделей в истории и философии, основанных на использовании баз данных информации об обществе.

Четвертая проблема касается непосредственно информатики и сущности понятия информации. Пятьдесят лет назад Л. Бриллюэн, исходя из негэнтропийного принципа,

попытался логически установить связь меры информации с термодинамической энтропией в представлениях Больцмана-Планка. Этим он хотел привязать теорию информации к физическим проблемам. Опытного подтверждения данная теория не получила, в литературе существует обширная критика подходов Л. Бриллюэна. В этом сборнике САИТ представлена статья, где на примере идеального газа и с учетом опытных данных показано, что информационная энтропия в представлениях Э. Шеннона и термодинамическая энтропия в представлениях Клаузиуса могут иметь общее вероятностно-статистическое обоснование – а это уже говорит об универсальности понятия энтропии и открывает перспективы к изучению смысловой составляющей информации.

Приведенные выше проблемы объединяет одна общая идея – возможность создания адекватной модели объекта исследования, которая становится основой прикладной информационной технологии. Сегодня традиционно с использованием моделей разрабатываются алгоритмы для решения поставленных задач. Однако, уже идут дискуссии о перспективах создания компьютерных технологий, в основу которых могут быть положены не алгоритмические методы обработки информации, а методы прямого взаимодействия компьютера с моделями, которые будут отличаться высоким уровнем формализации и универсальностью представления, а это уже является важным направлением исследований в области искусственного интеллекта.

проф. Аверин Г.В.



Раздел 1

Фундаментальные проблемы общей теории систем, системного анализа и информатики

Реляционно-полевая модель представления времени

Аверин Г.В.

Донецкий национальный технический университет
averin.gennadiy@gmail.com

Аверин Г.В. «Реляционно-полевая модель представления времени». Выполнен анализ опытных фактов в области изучения времени. Обобщены некоторые феноменологические особенности и закономерности динамических процессов различной природы. Даны определения и понятия, используемые при разработке модели представления времени. Изучена возможность формализации основных свойств времени: одновременности, последовательности и упорядоченности событий, свойств течения времени, его универсальности и необратимости. Разработаны основные теоретические положения и предложена реляционно-полевая модель времени. Представлены некоторые конструкции времени, основанные на возможных средах моделирования, в частности, на использовании вероятностной, геометрической и мультипликативной сред моделирования времени. Определено понятие энтропии пространства состояний как векторной функции скалярного поля эмпирического времени. Введено понятие меры пространства состояний и получено дифференциальное уравнение для меры, представляющей собой потенциальную функцию скалярного поля времени. Проанализированы некоторые направления исследований, которые могут позволить получить новые данные о количественных свойствах времени.

Ключевые слова: время, свойства и конструкции времени, реляционно-полевая модель.

Введение

Четырехмерное пространство-время, исходя из его представления в виде пространства Минковского, является лишь одной из возможных моделей реальности, причем не самой удачной. Идея пространства-времени приобрела исключительное значение в современной науке, что связано в основном с концептуальными представлениями, которые исторически сложились в физике. Однако, кроме положения в пространстве и скорости движения, объекты окружающего нас мира имеют множество различных наблюдаемых свойств, которые также изменяются в процессах и явлениях, и этот факт следует учитывать при построении конструкций и моделей времени.

Последние годы начинает формироваться новая концепция времени, которая связана с физическими (биологическими, социальными) изменениями в объектах окружающей действительности и в которой принятое нами время по стандартной шкале представляет собой лишь метрическую величину. Эта величина обладает физическим смыслом только в рамках наиболее удобной измеряемой характеристики для изучения динамических процессов, общепринятой по соглашению. Данный вопрос интенсивно дискутируется, однако то, что в течении почти ста лет идея представления времени как четвертого измерения не принесла особого прогресса в понимании природы времени, становится уже распространенным утверждением [1].

Покажем, что в рамках общей теории систем может быть предложена реляционно-полевая модель времени, где время представляет собой сравнительную меру материальных движений и является проявлением множества свойств объектов и происходящих с ними изменений [2, 3]. Таким образом, цель данной статьи – предложить вариант представления времени в виде многомерного скалярного поля некоторой меры наблюдаемых материальных движений. С этой целью мы предполагаем, что для описания материальных движений существует некоторая универсальная величина $W = W(z_1, z_2, \dots, z_n)$, которая может быть выражена через параметры свойств объекта (системы) и которая будет тесно связана с эмпирическим временем, которое измеряется часами. Принцип действия часов основан на использовании периодического процесса, который позволяет измерять время по стандартной равномерной шкале. Особо отметим, что данный подход является феноменологическим, исключая выход за рамки прямого опыта. В этом плане рассматриваем только объекты, процессы и явления, наблюдаемые человеком в окружающей нас реальности, а гипотетические модели движения материальных тел со скоростями, близкими к скорости света, пока из рассмотрения исключаем. Изначально в данной работе делается упор на использование подходов общей теории систем, которые не ограничиваются изучением только физических процессов и явлений.

Понятия и определения

Будем рассматривать объекты и системы различных классов (физические, химические, биологические, социальные и т.д.), которым свойственно многообразие форм материальных движений. В самом общем виде под материальным движением будем подразумевать любое наблюдаемое изменение или взаимодействие объектов между собой и окружающей средой. Особо подчеркиваем, что суть любых движений выражается в изменениях состояний объектов. Исходя из этого, известный афоризм Гераклита «Нельзя дважды войти в одну и ту же реку» образно отражает сущность всех наблюдений, связанных со временем. Любые объекты, процессы и явления необратимо изменяются с течением времени. Даже самые простые циклические процессы, например, ход часов или периодические вспышки света, необратимы и постоянно требуют затрат энергии на поддержание, иначе они закономерно затухают. Из сказанного следует, что в природе невозможно *абсолютно точное и полное* повторение состояний наблюдаемых объектов во времени. Это основное суждение, которое мы априори принимаем за фундаментальное объективное свойство феномена времени.

Примем данные определения и понятия.

Объект (система) – совокупность взаимосвязанных элементов, находящихся в отношениях и связях между собой и образующих некоторую целостность, единство. *Класс объектов (систем)* – множество однотипных объектов, обладающих общими свойствами и качественными признаками. *Свойство* – атрибутивная характеристика, которая отражает некоторый существенный и неотъемлемый признак или отличительную особенность объекта. *Параметр* свойства – количественная величина, характеризующая свойство объекта и имеющая числовое значение.

Под *состоянием* объекта (системы) будем подразумевать совокупность его свойств и их текущих значений, которые формируются под действием внешних и внутренних условий в конкретный момент наблюдения за поведением объекта. Считаем также известными все определения для различных свойств материальных объектов: местоположения, направления, длины, площади, формы, объема, массы, плотности, скорости, цвета, упругости, численности, рождаемости, смертности, стоимости и т.д., а также все выработанные обществом методики измерения этих величин.

Введем следующие дополнительные определения, исходя из понятия событий. *Событие* – любой наблюдаемый факт как результат материальных движений, который выражается в изменении состояния объекта

(системы) и непосредственно связан с этими изменениями. *Последовательность* событий – последовательный ряд однородных событий, происходящих одно за другим в определенные моменты наблюдения, которые могут быть пронумерованы в нарастающем порядке. Введем также понятие *одновременности* – существование разных событий в один и тот же момент наблюдения за поведением одного или множества объектов. Это позволяет нам использовать понятия раньше и позже для событий, которые характеризуют материальные движения. Будем предполагать, что все изменения состояний объектов отражаются в соответствующих событиях, которые регистрируются в наблюдаемых процессах. Поэтому определим *процесс* как закономерное изменение состояния объекта в последовательные моменты наблюдения, связанное с материальными движениями. Нас, в первую очередь, будут интересовать последовательности однородных событий, которые свойственны определенному классу объектов. Данные последовательности постоянно регистрируются в процессе длительного наблюдения за этими объектами и отражают изменения в их состояниях.

Таким образом, свойства будут являться основными характеристиками состояния объекта, а наблюдаемые последовательности событий – основными характеристиками процесса. Свойства и события в процессе наблюдения отражают в совокупности состояние объекта и все происходящие с ним изменения. При этом считаем, что в любой момент наблюдения состояние объекта однозначно определено значениями всех его параметров z_k (в общем случае n), а совершаемый объектом процесс – регистрируемыми событиями A_j (в общем случае m). Предположим, что при совершении произвольного процесса l , в котором изменяется состояние объекта, параметры свойств всегда измеряемы, а события всегда регистрируемы.

Далее функцией состояния (функцией точки) будем называть величину, значения которой при изменении состояния в наблюдаемом процессе не зависят от процесса перехода объекта из одного состояния в другое и определяются только начальным и конечным состоянием объекта и значением параметров его свойств. В свою очередь, функцией процесса (функцией линии) будем называть величину, значения которой при изменении состояния объекта зависят от того, по какому пути идет процесс. При этом состояния объектов будут изображаться точками многомерного пространства, а процессы изменения состояния – линиями этого пространства.

моделях времени данный опытный факт никак не учитывается. Для того, чтобы показать течение измеряемого нами времени необходимо задать некоторую величину, систему отсчета, реальную или абстрактную среду, по отношению к чему можно было бы показать необратимое течение времени. Для каждого определенного класса объектов подобная величина (среда) должна формироваться из опыта. Поэтому, чтобы учесть факт течения времени и возможность задания в совокупности скорости изменения параметров свойств в произвольном процессе, следует использовать гипотезу о существовании некоторой величины W , которая тесно связана с течением эмпирического времени и однозначно характеризует процессы материальных движений для данного класса (классов) объектов. По аналогии с логикой построения термодинамики, где есть понятие количества теплоты, назовем данную величину *количеством материального воздействия* (количество воздействия) и будем считать, что эта величина комплексно связана с изменениями в состоянии объектов при осуществлении различных процессов. Также по аналогии с термодинамикой [4, 5] и системодинамикой [2, 3], для любого процесса I эмпирические уравнения, связывающие величину количества воздействия W с эмпирическим временем τ , представим в виде:

$$c_I = \left(\frac{dW}{d\tau} \right)_I. \quad (3)$$

В каждом конкретном случае по опытным данным необходима проверка гипотезы существования величины W , которая характеризует данный род материального движения, а также разработка системы измерения или оценки данной величины. Отметим, что это не простая задача, требующая накопления множества опытных данных. Однако, только после этого и при наличии системы оценки величины W для определенного рода материального движения, можно говорить о возможном определении величин c_I , которые будут отражать темпоральную интенсивность разных процессов в различных условиях и которые являются феноменологическими величинами.

Аксиоматика изложения теории

Рассмотрим некоторую реальную область трехмерного пространства, где расположено множество объектов различных классов, число которых равно p и которые находятся в отношениях и связях между собой. Исходя из феноменологического подхода, считаем, что все объекты наблюдаемы в опыте, который является

единственно возможной основой для создания и проверки теорий. Для упрощения будем считать, что изучаемое множество объектов счетное, причем каждый объект может иметь признак, отличающий его от других объектов. Данный признак будем обозначать в виде верхнего индекса в скобках, который будет представлять номер объекта. Пусть каждое состояние любого объекта в самом общем случае характеризуется n независимыми переменными z_1, z_2, \dots, z_n , причем область определения для каждой переменной распространяется на всю положительную числовую ось $z_k(0, \infty)$, а для значений переменных системы измерения стандартизованы. Начало отсчета координат выбирается так, чтобы соответствовать нулевым значениям параметров свойств.

Рассматриваем существование объектов только в материальных движениях (состояния объектов должны изменяться в процессах с течением времени), причем подчеркиваем, что мы пока изучаем преимущественно естественные (самопроизвольные) процессы, связанные с изменением и развитием объектов. Состояния наблюдаемых объектов различных классов могут характеризоваться или всеми переменными z_k сразу или только некоторыми из них, причем каждая переменная отражает некоторое атрибутивное свойство изучаемых объектов. При этом, в частном случае, координаты объектов, определяющие их положение в трехмерном пространстве, также могут являться параметрами свойств, которые характеризуют местоположение объекта.

Построим абстрактную среду моделирования в виде пространства координат Ω , где координатные оси соответствуют независимым переменным z_1, z_2, \dots, z_n . Пусть в пространстве Ω имеется замкнутая область Ω_n некоторого множества точек M . Область Ω_n будем называть наблюдаемым пространством состояний изучаемого множества объектов. Процесс абстрактного моделирования, в отличие от процесса наблюдения, мы можем соотносить с бесконечным количеством объектов и их состояний, поэтому считаем, что точки M непрерывно заполняют область Ω_n . Таким образом, Ω_n будем рассматривать как многомерное пространство точек M , каждая из которых соответствует определенному состоянию некоторого объекта, не обязательно наблюдаемого в реальности в опыте. Другими словами, в области Ω_n существует бесконечное множество состояний для некоторой генеральной совокупности объектов.

Так как в опыте мы рассматриваем ограниченное количество объектов, равное числу p , то на начало наблюдений в области Ω_n мы можем отобразить p точек $M^{(q)}$, каждая из которых соответствует состоянию определенного q -того наблюдаемого объекта. Многомерные наблюдаемые точки являются ограниченной выборкой из данной генеральной совокупности. Любой объект осуществлял некоторый процесс материального движения из прошлого в настоящее, поэтому с течением эмпирического времени τ каждая точка $M^{(q)}$ описывает многомерную кривую. Назовем эту кривую в многомерном пространстве по аналогии со специальной теорией относительности *мировой линией*. Тогда каждому объекту будет соответствовать своя мировая линия. Кроме того, классу объектов будет соответствовать свой спектр мировых линий. Каждой линии, а также всему спектру линий в целом будут соответствовать последовательности событий, отражающие эволюционные изменения в объектах. Каждое событие в определенный момент наблюдения может быть привязано к заданной точке $M^{(q)}$, которая лежит на соответствующей мировой линии q -того наблюдаемого объекта. Последовательности однородных событий также будут привязаны к мировым линиям. Отметим, что мы будем пока рассматривать только наблюдаемые участки мировых линий, идущие из прошлого в настоящее. Таким образом, мировые линии отражают реализованные с течением времени процессы, характерные для данных объектов.

Хотя определение параметров свойств изучаемых объектов чаще всего осуществляется дискретно в заданные моменты наблюдения, однако, исходя из логики постановки задачи, будем считать, что мировые линии объектов непрерывны. Также условимся рассматривать непрерывное пространство состояний, хотя, как утверждал Фальк, множества состояний не обязательно должны быть непрерывными и, в принципе, могут состоять из конечного числа состояний, которые свойственны различным классам объектов [6].

Свойство необратимости времени и факты наблюдения существующих объектов во времени закономерно приводят к представлениям о непрерывности мировых линий. Данные линии не имеют особых и кратных точек. Первый случай характеризуется тем, что для мировой линии производные всех параметров свойств по времени одновременно равны нулю, второй случай – тем, что одна и та же точка M может отвечать двум и более значениям эмпирического времени τ . Однако, отметим, что вполне возможны случаи, когда

мировые линии объектов имеют начало и конец, например, рождение (появление) и смерть (исчезновение) объекта. Эти точки могут быть особыми.

Аксиоматическое изложение теории будем основывать на постулировании существования многомерного поля эмпирического времени. Исходя из этого, каждой точке $M(z_1, z_2, \dots, z_n)$ пространства состояний Ω_n поставим в соответствие значение времени τ . Это позволяет ввести аксиомы для эмпирического времени и возможности его скалярного представления в каждой точке пространства Ω_n .

1. Пусть в пространстве состояний Ω_n каждой точке M поставлено в соответствие действительное положительное число τ , которое будем называть эмпирическим временем.

2. Величина $\tau(M)$ является функцией точки и образует скалярное поле, которое является непрерывным и упорядоченным в области Ω_n .

Данные аксиомы отражают опытные факты, которые сегодня связаны с понятием времени и возможностью его измерения. Так как эмпирическое время является функцией точки, то скалярное поле величины $\tau(M)$ представляет собой поле, через каждую точку M которого в пространстве состояний Ω_n проходит только одна поверхность уровня. Во всех точках поверхности уровня значение величины τ является одинаковым и все события привязанные к точкам этой поверхности – одновременны. Это следует из того, что один и тот же объект с одинаковыми параметрами свойств не может находиться в двух временах одновременно. Таким образом, из данной модели следует, что когда протекает процесс (изменяются свойства объекта), то при возрастании эмпирического времени должен изменяться, как минимум, хотя бы один параметр свойства объекта.

Исходя из последовательности регулярных событий часов, все поверхности уровня могут быть пронумерованы в нарастающем порядке – каждой поверхности уровня может быть присвоено значение величины τ , которое возрастает с течением эмпирического времени. Поэтому, в определенной области пространства Ω_n наблюдения, выполненные в шкале эмпирического времени, «присваивают» всем поверхностям уровня определенные значения величины τ , в зависимости от последовательности однородных событий, которые генерируются в часах. Таким образом, линию процесса часов в пространстве Ω_n

условно можно рассматривать как мировую линию, которая является «эталоном» для всех мировых линий. Другими словами, текущие значения величины τ в шкале времени упорядочивают поверхности уровня. Тем самым, в определенной и достаточно узкой области пространства Ω_n , задается однородное и равномерное течение времени, исходя из мировой линии часов, которая пересекает все поверхности уровня скалярного поля времени. В данной области в качестве модели вводится абсолютное время Ньютона в виде равномерной и непрерывной шкалы. На данной шкале нет опорных точек, начало отсчета выбирается произвольно, исходя из начала момента наблюдения, единица измерения времени принимается на основе соглашения, мгновение на шкале представляется геометрической точкой. Таким образом, данная шкала абсолютного времени является общепринятой шкалой интервалов и она свойственна только узкой области пространства состояний Ω_n .

Все сказанное выше абсолютно не значит, что подобное течение времени характерно для всего наблюдаемого пространства состояний, так как многомерные поверхности уровня в области пространства Ω_n могут иметь сложную, однако упорядоченную, структуру. В зависимости от особенностей объектов, спектры мировых линий в различных областях пространства могут иметь свои закономерности относительно эмпирического времени, однако неуклонное возрастание (необратимость) времени – это фундаментальная особенность для всех поверхностей уровня и всех мировых линий. Таким образом, мы рассматриваем только определенный (и достаточно узкий) класс многомерных геометрических пространств, которые могут быть упорядочены временем.

Различные процессы, которые возможны между некоторым произвольным состоянием M и любым другим близлежащим состоянием в области Ω_n , свойственным мировой линии некоторого объекта, будут отличаться между собой по интенсивности осуществления материальных движений. Для того, чтобы логически обосновать возможность осуществления процессов как непрерывного перехода между двумя ближайшими состояниями любого объекта, при построении модели времени необходимо введение новых аксиом.

Исходя из этого, рассмотрим функцию количества материального движения, которую представим в виде $W = W(z_1, z_2, \dots, z_n)$. Предположим, что функция W существует и пока не будем останавливаться на природе этой величины. Просто считаем, что имеется

однозначная связь данной величины с фактами наблюдений или опыта, которые отражают результаты материальных движений, связанных с изменениями состояний объектов определенного класса. Также мы вполне можем предложить некоторую систему измерения или оценки этой величины. Данная функция, наряду с эмпирическим временем, также будет отражать особенности осуществления процессов в окрестности любого состояния и характеризовать интенсивность воздействий при изменении состояний объектов во времени.

Изложим аксиомы, связанные с количеством материального движения, в виде.

3. Пусть в пространстве состояний системы Ω_n каждой точке M одновременно с эмпирическим временем τ поставлено в соответствие множество действительных чисел c_l , которые будем называть темпоральностями процессов изменения состояния объектов и которые определяются из опыта.

4. Величины c_l являются функциями процесса. Если в окрестности любой точки M объект осуществляет некоторый процесс материального движения l , то для линии процесса (отрезка мировой линии) l справедливо соотношение $dW = c_l \cdot d\tau$, причем величину W определим как количество материального воздействия, которое комплексно характеризует интенсивность процессов при изменении состояния объекта во времени. Для величины W может быть предложены система измерения или оценки.

В целом, на абстрактном уровне предварительное вербальное описание реляционно-полевой модели времени завершено. Целью описания являлся учет при создании модели некоторых основных свойств времени. Введя понятие одновременности и абстрактно связав его с поверхностью уровня поля эмпирического времени, которой в момент времени τ соответствуют наблюдаемые свойства объектов и соответствующие регистрируемые события, мы, тем самым, обеспечили формализацию понятий «раньше» и «позже». Так как можно пронумеровать поверхности уровня эмпирического времени в нарастающем порядке с помощью стандартной шкалы часов, то тем самым учтено свойство времени, связанное с его способностью упорядочивать события. Свойство течения времени было учтено введением особой величины, по отношению к которой можно отразить интенсивность процессов, а также становление событий во времени. Поэтому количество воздействия связано с эмпирическим временем через темпоральности процессов, которые являются феноменологическими величинами.

Необходимость этого связана с тем, что течение времени нельзя смоделировать по отношению к самому себе. Универсальность времени отражена представлением мировых линий объектов любой природы в общем наблюдаемом пространстве состояний. Свойство необратимости времени обеспечено тем, что мировые линии объектов строго формируются только в порядке возрастания эмпирического времени, и ни один объект не может наблюдаться одновременно в двух и более временах. Неоднородность поля времени (неравномерность его течения) в разных областях пространства Ω_n может быть определена особенностями поверхностей уровня для спектров мировых линий объектов различной природы. Отсюда следует, что шкала эмпирического времени может быть множеством, т.к. их построение для разных спектров мировых линий может быть основано на различных последовательностях событий, которые свойственны изучаемым объектам при осуществлении характерных для этих объектов процессов и явлений.

Теперь для построения реляционно-полевой модели представления времени используем гипотезу, что скалярное поле эмпирического времени может быть аналитически описано в окрестности произвольной точки M . Будем считать, что вблизи точки M осуществляется процесс изменения состояния некоторого объекта. Для задания скалярного поля эмпирического времени $\tau = \tau(M)$ как функции независимых переменных z_1, z_2, \dots, z_n необходимо определить функцию точки в виде аналитического выражения. Предположим, что в окрестности любой точки скалярное поле эмпирического времени может быть с достаточной точностью приближено аналитической функцией вида $\tau(M) = t(z_1, z_2, \dots, z_n)$. Функцию $t(z_1, z_2, \dots, z_n)$ при разработке модели следует задать на основе эмпирических данных или тех или иных теоретических предположений.

В настоящее время в области опытного изучения свойств времени практически отсутствуют базовые феноменологические закономерности, которые могли бы иметь общесистемный смысл и позволяли бы обобщать опытные данные на уровне зависимостей. Поэтому выбор функций $t = t(z_1, z_2, \dots, z_n)$ может осуществляться исходя из имеющихся представлений об осуществлении различных процессов движения или из существующих гипотез и обобщений опытных фактов в специальной теории относительности, термодинамике, системодинамике, различных описательных науках и т.д. Естественно, что

разные виды функций $t = t(z_1, z_2, \dots, z_n)$ могут соответствовать объектам, процессам и явлениям различной природы, а также различным областям пространства Ω_n . В данном случае, чтобы сузить область исследований, будем использовать функции $t = t(z_1, z_2, \dots, z_n)$, которые входят в класс однородных аналитических функций и широко используются во многих теоретических областях естествознания.

Определим аналитическую функцию $t = t(z_1, z_2, \dots, z_n)$ как некоторый абсолютный индекс пространства состояний Ω_n (или области этого пространства). Основное отличие скалярного поля эмпирического времени $\tau(M)$ от индекса $t = t(z_1, z_2, \dots, z_n)$ состоит в том, что скалярное поле $\tau(M)$ 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 .

Известно, что любая однородная функция может быть представлена в виде [7]:

$$\beta \cdot t(z_1, \dots, z_n) = z_1 \cdot \frac{\partial t}{\partial z_1} + \dots + z_n \cdot \frac{\partial t}{\partial z_n}, \quad (4)$$

где β – степень однородности функции t . С учетом зависимостей (2) – (3) и аксиомы 4 получим уравнение:

$$\frac{z_1}{\beta \cdot c_1} \cdot \frac{\partial W}{\partial z_1} + \frac{z_2}{\beta \cdot c_2} \cdot \frac{\partial W}{\partial z_2} + \dots + \frac{z_n}{\beta \cdot c_n} \cdot \frac{\partial W}{\partial z_n} = \dots = t(z_1, \dots, z_n). \quad (5)$$

При выводе уравнения (5) с учетом (3) и зависимости $\tau(M) = t(z_1, z_2, \dots, z_n)$ принято, что

$$\frac{\partial W}{\partial z_1} = c_1 \frac{\partial t}{\partial z_1}, \dots, \frac{\partial W}{\partial z_n} = c_n \frac{\partial t}{\partial z_n}.$$

Характеристики квазилинейного уравнения в частных производных первого порядка (5) определяются системой обыкновенных дифференциальных уравнений:

$$\beta \cdot c_1 \frac{dz_1}{z_1} = \beta \cdot c_2 \frac{dz_2}{z_2} = \dots = \beta \cdot c_n \frac{dz_n}{z_n} = \dots = \frac{dW}{t} = ds. \quad (6)$$

В свою очередь, уравнение Пфаффа для соотношения (5) будет иметь вид:

$$\frac{z_1}{c_1} dz_1 + \frac{z_2}{c_2} dz_2 + \dots + \frac{z_n}{c_n} dz_n + \beta \cdot t \cdot dW = 0. \quad (7)$$

Для того, чтобы решить поставленную задачу необходимо найти или задать вид абсолютного индекса $t(z_1, z_2, \dots, z_n)$, далее для разных условий определить функцию $W = W(z_1, z_2, \dots, z_n)$, разработать систему измерения величины W для определенных

спектров мировых линий и потом по опытным данным идентифицировать модель.

Здесь возможны различные подходы, связанные с созданием различных моделей описания абсолютного индекса.

Вероятностная среда моделирования времени

Будем считать, что модельное представление времени может быть связано с вероятностями наблюдаемых событий, которые отражают эволюцию объектов и характеризуют процессы, свойственные мировым линиям объектов. Тогда введем в рассмотрение величину t , которая зависит от геометрической вероятности точки многомерного пространства. Распространив зависимость для индекса t на всю область изменения величины, получим:

$$t = \alpha_t \frac{z_1 \cdot z_2 \cdot \dots \cdot z_n}{R}, \quad (8)$$

где $R = z_{10} \cdot z_{20} \cdot \dots \cdot z_{n0}$, α_t – постоянная шкалирования, z_{10}, \dots, z_{n0} – параметры опорного состояния, например, максимально наблюдаемые параметры свойств. Теперь в окрестности любой точки M свяжем количество воздействия W теоретической линейной зависимостью со статистической вероятностью w событий, наиболее характерных для мировой линии или спектра мировых линий. В этом случае будем иметь:

$$W = \alpha_w \cdot \frac{w}{w_0}, \quad (9)$$

где w_0 – вероятность наблюдаемых событий для условий принятого опорного состояния; α_w – некоторый коэффициент пропорциональности между величинами W и w , позволяющий ввести единицу измерений.

Проведя простые преобразования, получим из (6) характеристическую функцию, которую определим как энтропию пространства состояний:

$$s - s_0 = c_1 \cdot \ln\left(\frac{z_1}{z_{10}}\right) + c_2 \cdot \ln\left(\frac{z_2}{z_{20}}\right) + \dots + c_n \cdot \ln\left(\frac{z_n}{z_{n0}}\right), \quad (10)$$

где s_0 – постоянная. Для данного вида функции t степень однородности β равна n .

При значении изменения величины $dW = 0$ из уравнения (7) может быть определена математическая функция U , которую далее будем называть мерой пространства состояний Ω_n :

$$U(z_1, z_2, \dots, z_n) - U_0 = \frac{1}{2} \left(\frac{z_1^2 - z_{10}^2}{c_1} + \frac{z_2^2 - z_{20}^2}{c_2} + \dots \right)$$

$$\dots + \frac{z_n^2 - z_{n0}^2}{c_n} \Big). \quad (11)$$

Таким образом, в вероятностной среде моделирования времени для любой мировой линии объекта при возможности представления ее в параметрическом виде относительно параметров свойств $z_1 = z_1(\tau)$, $z_2 = z_2(\tau)$, ..., $z_n = z_n(\tau)$ и заданного представления эмпирического времени через абсолютный индекс, уравнение (5) может быть решено.

Подход, связанный с созданием вероятностной среды моделирования, широко применяется в термодинамике. Для этого случая величина W является количеством теплоты, абсолютный индекс t – это абсолютная температура, величина τ является эмпирической температурой, а величины c_l – это теплоемкости. Для количества теплоты и температур построены системы измерения этих величин в опыте. Экспериментальные данные позволяют определить по изменениям количества теплоты и температуры значения теплоемкостей c_l для различных термодинамических процессов.

В темпорологии существует общепринятая система измерения эмпирического времени, однако полностью отсутствует система измерения (определения) количества материального воздействия.

Такую систему измерений для различных спектров мировых линий объектов следует разработать. В качестве примера, одна из возможных методик определения величины W по базе данных развития стран мира была предложена в работах [2, 3]. Суть метода заключается в поиске уравнений связи количества воздействия согласно (9) с параметрами свойств вида

$$\ln(W) = c_0 + c_1 \cdot \ln\left(\frac{z_1}{z_{10}}\right) + \dots + c_n \cdot \ln\left(\frac{z_n}{z_{n0}}\right) \text{ или} \\ \text{Pr ob}(w) = c_0 + c_1 \cdot \ln\left(\frac{z_1}{z_{10}}\right) + \dots + c_n \cdot \ln\left(\frac{z_n}{z_{n0}}\right), \quad (12)$$

где Pr ob – функция пробита, которая является инверсной функцией нормального распределения со средним равным нулю и дисперсией равной единице.

На основе опытных данных этот метод позволяет получить зависимости в виде аналогов уравнения Больцмана в статистической термодинамике $s = f(W)$, которые будут связывать вероятности статистических событий с энтропией пространства состояний.

Подобный подход может быть реализован для различных спектров мировых линий объектов (физической, биологической или социальной природы) при наличии соответствующих баз данных их изменения и развития во времени.

Геометрическая среда моделирования времени

Несколько иные результаты могут быть получены, если рассматривать многомерное пространство Ω_n , как геометрическое пространство. Будем считать, что многомерное пространство состояний Ω_n евклидово. Тогда введем в рассмотрение величину t , которую также назовем абсолютным индексом пространства состояний:

$$t = z_1^2 + z_2^2 + \dots + z_n^2, \quad (13)$$

где степень однородности β равна двум.

Если составить характеристики для уравнения (5), то получим энтропию пространства состояний:

$$s - s_0 = \frac{2}{n} \left(c_1 \cdot \ln \left(\frac{z_1}{z_{10}} \right) + c_2 \cdot \ln \left(\frac{z_2}{z_{20}} \right) + \dots + c_n \cdot \ln \left(\frac{z_n}{z_{n0}} \right) \right), \quad (14)$$

а меру пространства состояний можно представить в виде:

$$U(z_1, z_2, \dots, z_n) - U_0 = \frac{1}{2} \left(\frac{z_1^2 - z_{10}^2}{c_1} + \frac{z_2^2 - z_{20}^2}{c_2} + \dots + \frac{z_n^2 - z_{n0}^2}{c_n} \right). \quad (15)$$

где $s_0, U_0, z_{10}, \dots, z_{n0}$ – параметры опорного состояния.

Подход, связанный с созданием геометрической среды моделирования, применяется в специальной теории относительности. В этом случае переменные z_1, z_2, z_3 – координаты трехмерного пространства; абсолютный индекс t – это квадрат инварианта пространственного интервала, равный $t = c^2 \cdot \tau^2$; τ – время; $c = c_1 = c_2 = c_3$ – скорость света.

В данном случае также является актуальным разработка системы измерений основных величин для различных спектров мировых линий, что является отдельной актуальной задачей.

Среда моделирования времени на основе мультипликативных функций

Пусть модельное представление времени связано с абсолютным индексом t , который представляется в виде произведений функций, зависящих от параметров свойств $t = \varphi_1(z_1) \cdot \varphi_2(z_2) \cdot \dots \cdot \varphi_n(z_n)$. Образованный таким образом индекс t только в частных случаях будет однородной функцией, поэтому используем другой метод вывода соотношений.

В процессе изменения состояния объекта элементарное количество воздействия можно представить в виде:

$$dW = \left(\frac{\partial W}{\partial t} \right)_1 \cdot \left(\frac{\partial t}{\partial z_1} \right) dz_1 + \left(\frac{\partial W}{\partial t} \right)_2 \cdot \left(\frac{\partial t}{\partial z_2} \right) dz_2 + \dots + \left(\frac{\partial W}{\partial t} \right)_n \cdot \left(\frac{\partial t}{\partial z_n} \right) dz_n \quad \text{или} \quad (16)$$

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

Для решения поставленной задачи сформулируем следующую лемму.

Пусть задано уравнение Пфаффа вида (16) и пусть известно, что в любой окрестности любой точки M пространства состояний системы Ω_n абсолютный индекс $t = t(z_1, z_2, \dots, z_n)$ может быть представлен в виде произведения функций, зависящих от параметров свойств $t = \varphi_1(z_1) \cdot \varphi_2(z_2) \cdot \dots \cdot \varphi_n(z_n)$. Тогда для уравнения (16) обязательно существует интегрирующий делитель, который обращает данное уравнение в полный дифференциал.

Покажем, что интегрирующим делителем уравнения (16) будет функция абсолютного индекса $t = \varphi_1(z_1) \cdot \varphi_2(z_2) \cdot \dots \cdot \varphi_n(z_n)$. Подставив данную функцию в (16) и деля это уравнение на t , получим:

$$ds = \frac{dW}{t} = c_1 \cdot \frac{\varphi_1'(z_1)}{\varphi_1(z_1)} dz_1 + c_2 \cdot \frac{\varphi_2'(z_2)}{\varphi_2(z_2)} dz_2 + \dots + c_n \cdot \frac{\varphi_n'(z_n)}{\varphi_n(z_n)} dz_n. \quad (17)$$

Интегрируя уравнение (17), представим общий интеграл в виде:

$$s - s_0 = c_1 \cdot \ln \left(\varphi_1 \left(\frac{z_1}{z_{10}} \right) \right) + c_2 \cdot \ln \left(\varphi_2 \left(\frac{z_2}{z_{20}} \right) \right) + \dots + c_n \cdot \ln \left(\varphi_n \left(\frac{z_n}{z_{n0}} \right) \right). \quad (18)$$

где $s_0, z_{10}, \dots, z_{n0}$ – параметры опорного состояния. Далее можно получить меру пространства состояний в обычном виде.

Подход, связанный с созданием мультипликативной среды моделирования, широко применяется в теории сплошных сред при решении краевых задач.

Таким образом, принцип существования энтропии и меры пространства состояний является следствием постулирования существования поля эмпирического времени. Данный принцип самым тесным образом связан с гипотезой приближения поля эмпирического времени в окрестности любой точки M аналитической функцией заданного вида, а также с опытным фактом возможности определения темпоральностей для процессов изменения

состояния объектов. Этим определяется область применения данных положений, причем вид и особенности скалярного поля эмпирической времени, которые являются результатом опыта, будут определять особенности реализации процессов в пространстве состояний Ω_n .

Вектор эволюции и мера пространства состояний

Теперь рассмотрим пространство состояний $(n+1)$ -размерности вида $\Omega_{n+1}\{z_1, z_2, \dots, z_n, W\}$. Согласно уравнения Пфаффа (7) в пространстве состояний Ω_{n+1} в каждой точке $M(z_1, z_2, \dots, z_n, W)$ существует некоторое поле направлений, порожденное скалярным полем времени – векторное поле $\Gamma(z_1, z_2, \dots, z_n, W)$, которое имеет вид [8]:

$$\Gamma(z_1, z_2, \dots, z_n, W) = \frac{z_1}{\beta \cdot c_1} \cdot \mathbf{e}_1 + \frac{z_2}{\beta \cdot c_2} \cdot \mathbf{e}_2 + \dots + \frac{z_n}{\beta \cdot c_n} \cdot \mathbf{e}_n + t \cdot \mathbf{e}_{n+1}, \quad (19)$$

где \mathbf{e}_k – единичные векторы, направленные соответственно по осям координат $\{z_1, z_2, \dots, z_n, W\}$ пространства состояний Ω_{n+1} .

Определим вектор Γ как *вектор эволюции* объектов, который характеризует наиболее вероятные направления материальных движений в рассматриваемом пространстве состояний. Направление поля Γ в каждой точке M пространства состояний Ω_{n+1} совпадает с направлением касательной к векторной линии энтропии (6), проходящей через точку M . Поэтому геометрическое представление о материальных движениях в пространстве состояний будем связывать с векторными линиями энтропии.

Исходя из понятий теории поля, совокупность всех линий энтропии в потоке вектора Γ определим как спектр линий энтропии. Спектр линий энтропии дает представление об изменении количества воздействия, являясь как бы отображением мгновенного состояния эволюционных изменений объектов. Если провести все векторные линии, проходящие через точки некоторого куска поверхности S , то их совокупность даст векторную трубку энтропии. Подобное представление вектора эволюции в пространстве состояний Ω_{n+1} при анализе процессов материальных движений позволяет применить известные уравнения теории поля.

Выделяя в векторном поле произвольный объем V , ограниченный поверхностью S с направлением нормали \mathbf{n} к этой поверхности, получим согласно формулы Остроградского, что

объемный интеграл от расходимости поля ($div \Gamma$) равен потоку поля $\left(\iint_{(S)} \Gamma_n dS \right)$ через поверхность

этого объема:

$$\iiint_{(V)} div \Gamma dV = \iint_{(S)} \Gamma_n dS. \quad (20)$$

В свою очередь, выделяя в векторном поле некоторый замкнутый контур l , который ограничивает поверхность S , получим согласно формулы Стокса, что циркуляция вектора Γ вдоль

этого контура $\left(\int_{(l)} \Gamma_\varepsilon d\varepsilon \right)$ равна потоку вихря

$$\left(\iint_{(S)} rot_n \Gamma dS \right) \text{ через поверхность } S : \int_{(l)} \Gamma_\varepsilon d\varepsilon = \iint_{(S)} rot_n \Gamma dS. \quad (21)$$

Здесь $d\varepsilon$ – направленный элемент дуги контура l , рассматриваемый как малый вектор.

Вектор эволюции можно рассматривать как некоторую «стрелу времени», которая определяет для изучаемого класса объектов направление естественных процессов в наблюдаемом пространстве состояний.

Теперь рассмотрим задачу о нахождении семейства поверхностей, ортогональных к линиям энтропии s вектора эволюции Γ . Известно, что уравнение таких поверхностей определяется из скалярного произведения $(\Gamma \cdot \mathbf{r}) = 0$, где $\mathbf{r} = \mathbf{e}_1 \cdot dz_1 + \mathbf{e}_2 \cdot dz_2 + \dots + \mathbf{e}_{n+1} \cdot dW$ – вектор, лежащий в касательной плоскости к исходной поверхности. Это уравнение приводит к полученному ранее соотношению (7), которое является уравнением Пфаффа.

Легко показать, что уравнение (7) может приводиться к полному дифференциалу, если в окрестности точки M между величинами W и t существует функциональная связь $W = f(t)$. Для различных областей пространства состояний подобная связь должна устанавливаться на основе опытных данных и относиться к феноменологическим закономерностям определенных спектров мировых линий. Таким образом, в случае наличия подобных связей поле вектора эволюции будет являться потенциальным полем. В случае, если такие связи отсутствуют, то потенциальность поля вектора эволюции будет нарушаться, поэтому можно говорить об искривлении поля вектора эволюции.

При получении зависимостей (11) и (15) уже упоминалось понятие меры пространства состояний, которое выражается через параметры свойств системы.

Введем понятие меры как характеристической функции пространства состояний, которая тесным образом связана с энтропией пространства состояний. Подойдем к определению меры пространства состояний как некоторой n -мерной поверхности, на которой изменение параметров свойств объектов происходит при постоянном значении количества материального воздействия. Геометрически данная поверхность является адиабатической и ортогональна векторным линиям энтропии, которые определяются уравнениями (6).

Для рассматриваемого адиабатического случая изменение энтропии состояния и изменение количества материального движения равны нулю $ds = 0$, $dW = 0$. В результате этого с учетом (7) приходим к простому уравнению Пфаффа в n -мерном пространстве свойств вида:

$$\frac{z_1}{c_1} dz_1 + \frac{z_2}{c_2} dz_2 + \dots + \frac{z_n}{c_n} dz_n = 0. \quad (22)$$

Данному уравнению в пространстве Ω_n соответствует n -мерная проекция вектора эволюции в виде векторного поля:

$$\Gamma_z(z_1, z_2, \dots, z_n) = \frac{z_1}{c_1} \cdot \mathbf{e}_1 + \frac{z_2}{c_2} \cdot \mathbf{e}_2 + \dots + \frac{z_n}{c_n} \cdot \mathbf{e}_n. \quad (23)$$

Пфаффа форма, стоящая в левой части уравнения Пфаффа (22), при постоянных величинах c_k в окрестности точки M является полным дифференциалом, поэтому уравнение (22) может быть преобразовано в виде:

$$dU = d\left(\frac{z_1^2}{2 \cdot c_1} + \frac{z_2^2}{2 \cdot c_2} + \dots + \frac{z_n^2}{2 \cdot c_n}\right) = 0; \quad (24)$$

$$U(z_1, z_2, \dots, z_n) = -\frac{1}{2} \left(\frac{z_{1,\max}^2 - z_1^2}{c_1} + \frac{z_{2,\max}^2 - z_2^2}{c_2} + \dots + \frac{z_{n,\max}^2 - z_n^2}{c_n} \right). \quad (25)$$

Здесь принято, что значение $U(z_{1,\max}, z_{2,\max}, \dots, z_{n,\max}) = 0$. Уравнение $U(z_1, z_2, \dots, z_n) = C$ согласно (22) представляет поверхность в n -мерном пространстве состояний Ω_n и, следовательно, решениям уравнения Пфаффа (22) соответствует потенциальное семейство поверхностей, ортогональных векторным линиям энтропии s . Так как поле Γ_z является потенциальным, то имеем зависимости, которые вытекают из соотношения (25):

$$\Gamma_z(z_1, z_2, \dots, z_n) = \text{grad}(U), \text{ т.е.} \\ \frac{z_k}{c_k} = \frac{\partial U}{\partial z_k}. \quad (26)$$

Искомые поверхностями, которые ортогональны векторным линиям энтропии в пространстве свойств, являются поверхности

уровня $U(z_1, z_2, \dots, z_n) = C$ потенциальной функции U , согласно уравнения (25).

Определим величину $U(z_1, z_2, \dots, z_n)$ как меру наблюдаемого пространства состояний. Мера, как и энтропия, также является характеристической функцией пространства состояний. Из полученных выше результатов следует, что мера представляет собой потенциальную функцию векторного поля Γ_z , которое зависит только от параметров свойств. Причем, все состояния пространства Ω_n , которым свойственны различные параметры свойств и одно значение количества материального движения $W = \text{const}$, принадлежат одной и той же поверхности уровня $U(z_1, z_2, \dots, z_n) = C$. Поэтому любое состояние M , лежащее на этой поверхности, будет однозначно определяться значением потенциала U и векторной линией энтропии, которой принадлежит точка M пространства состояний Ω_n .

Теперь для решения уравнения (7) воспользуемся методом, при котором величина W будет выступать параметром [8]. Так как был получен интеграл уравнения (22), то представим постоянную C как функцию величины W :

$$U(z_1, z_2, \dots, z_n) = C(W). \quad (27)$$

Подберем величину $C(W)$ таким образом, чтобы удовлетворялось уравнение (7).

Дифференцируя соотношение (27) получим:

$$\frac{\partial U}{\partial z_1} dz_1 + \frac{\partial U}{\partial z_2} dz_2 + \dots + \frac{\partial U}{\partial z_n} dz_n - C'(W) dW = 0 \quad (28)$$

Соответствующие коэффициенты при дифференциалах переменных в уравнениях (7) и (28) должны быть пропорциональны, поэтому:

$$\frac{\beta \cdot c_1}{z_1} \frac{\partial U}{\partial z_1} = \frac{\beta \cdot c_2}{z_2} \frac{\partial U}{\partial z_2} = \dots = \frac{\beta \cdot c_n}{z_n} \frac{\partial U}{\partial z_n} = -\frac{C'(W)}{t}$$

откуда с учетом (26) $C'(W) = -\beta \cdot t$.

Таким образом, при условии $t = \mathcal{G}(W)$ получим зависимость, которая связывает количество материального движения и меру пространства состояний вида:

$$U(z_1, z_2, \dots, z_n) + \beta \cdot \int \mathcal{G}(W) dW = \text{const}. \quad (29)$$

Теперь получим дифференциальное уравнение для меры как функции пространства состояний. Из уравнений (26) следует, что $\frac{\partial^2 U}{\partial z_k^2} = \frac{1}{c_k}$, поэтому основное уравнение для величины U , как функции пространства состояний, имеет вид:

$$\nabla^2 U = \sum_{k=1}^n \frac{1}{c_k}, \quad \nabla^2 U = \text{div}(\Gamma_z). \quad (30)$$

Таким образом, данные уравнения определяют свойства моделирующей среды, которая может быть принята для описания скалярного поля времени и которая отличается использованием понятия меры как потенциальной функции пространства состояний.

Дифференциальное уравнение эмпирического времени

Проблема моделирования времени связана не только с опытными данными, но и с теоретическими зависимостями, которые позволяют адекватно представить эти данные. В любом случае на данном этапе изучения проблемы времени, обработка опытных данных должна привести к установлению феноменологических величин, которые характеризуют феномены времени для различных классов систем. И только после накопления феноменологических знаний возможны формулировки различных теорий времени. Попробуем предложить один из методов, позволяющих вести обработку опытных данных для получения феноменологических зависимостей. Используем для этого логику апробированных подходов термодинамики и теории сплошных сред.

При формулировке аксиом 3 и 4 нами глубоко не рассматривался вопрос о том, что представляет собой количество воздействия. В связи с тем, что величина W определяет интенсивность динамических процессов изменения состояний объектов и связана с направлением процессов в поле эмпирического времени, то она также является полевой величиной. Количество воздействия суть функция процесса, и поэтому каждой точке M пространства Ω_n может быть поставлено в соответствие множество значений изменения величины W , каждое из которых зависит от вектора направления процесса l , т.е. от вектора направления мировой линии для реализованного процесса.

Примем гипотезу, что для любого процесса l в произвольной точке M существует связь между скалярным полем эмпирического времени $\tau(M) = t(z_1, z_2, \dots, z_n)$ и количеством воздействия W . Представим эту связь по аналогии с законами физики сплошных сред в виде соотношения:

$$\vec{W}_l = \lambda(M) \cdot \text{grad}_l t(M), \quad (31)$$

где $\lambda(M) = \lambda(z_1, z_2, \dots, z_n)$ – коэффициент пропорциональности как функция точки пространства Ω_n , который определяет феноменологическую связь между вектором \vec{W} и проекцией функции градиента эмпирического времени $\text{grad}_l t(M)$ на направление процесса l . С учетом (31) через элемент любой поверхности dS ортогональный направлению процесса l поток

вектора \vec{W} будет равен:

$$d\Pi = \lambda \cdot |\text{grad}_l t(M)| dS. \quad (32)$$

Если рассмотреть замкнутую поверхность S в поле эмпирического времени, ограничивающую объем v , то поток вектора через поверхность S будет равен:

$$\Pi = \iint_S \lambda \cdot \text{grad}_l t dS, \quad (33)$$

или с учетом формулы Остроградского:

$$\Pi = \iiint_v \text{div}(\lambda \cdot \text{grad} t) dv. \quad (34)$$

Уравнение (34) определяет поток вектора количества воздействия при изменении параметров свойств для спектра мировых линий объектов в пространстве состояний Ω_n .

С другой стороны, мы можем определить поток вектора \vec{W} через дифференциальный оператор дивергенции поля и производные проекций вектора \vec{W} по эмпирическому времени. Учитывая гипотезу связи величины количества воздействия с эмпирическим временем $dW = c_l \cdot d\tau$, получим поток вектора

$$\Pi_l = \iiint_v \text{div}(\vec{W}) dv \text{ в виде:}$$

$$\Pi_l = \iiint_v \left(\left(\frac{\partial W}{\partial t} \right)_{z_1} \frac{\partial t}{\partial z_1} + \dots + \left(\frac{\partial W}{\partial t} \right)_{z_n} \frac{\partial t}{\partial z_n} \right) dv \quad (35)$$

Так как время непрерывно и необратимо то, потоки (34) и (35) равны между собой, откуда получим уравнение параболического типа для эмпирического времени:

$$c_1 \frac{\partial t}{\partial z_1} + c_2 \frac{\partial t}{\partial z_2} + \dots + c_n \frac{\partial t}{\partial z_n} = \text{div}(\lambda \cdot \text{grad} t). \quad (36)$$

Данное дифференциальное уравнение аналогично стационарному уравнению конвективной диффузии при его обобщении на n -мерный случай.

Таким образом, дифференциальное уравнение (36) совместно с соотношениями (1), которые могут быть представлены в виде некоторой проблемно-ориентированной базы данных применительно к спектру мировых линий изучаемых объектов, позволит проверить гипотезу о существовании феноменологических величин c_k и λ . Эта задача сводится к решению обратных краевых задач для уравнения параболического типа и восстановлению искомым величин по опытными данным, которые собраны при наблюдении за процессами изменения параметров свойств во времени. Весь практический опыт термодинамики и теплофизики указывает на то, что эта задача вполне решается.

Проблема выбора величин для определения времени

Исходя из всего сказанного выше видно, что существует несколько величин для построения систем определения времени. В первую очередь – это эмпирическое время, которое основано на модели абсолютного времени Ньютона и исторически имеет свою шкалу τ , реализованную в опыте, исходя из периодического физического процесса. Шкала этого времени является непрерывной и равномерной, а стандартная единица времени вводится по соглашению. Определяя секунду, как время, равное 9192631770 периодам излучения соответствующего перехода между двумя сверхтонкими уровнями основного состояния атома цезия 133, а метр – как путь, проходимый светом в вакууме за время в $1/299792458$ секунды, устанавливается соответствие между расстоянием и временем и в модель абсолютного времени Ньютона вводится единица измерения времени. Шкала эмпирического времени ориентирована на измерение длительностей в последовательностях любых событий, так как она построена *вне отношения* к конкретным объектам. Данная шкала является удобной для относительных сравнений моментов возникновения событий, но она не отражает внутренних закономерностей в изменениях объектов, так как в любой опыт система измерения эмпирического времени привносится извне как закономерность, характерная для систем совсем иной природы.

Принятие эмпирического времени в виде модели абсолютного времени как шкалы измерения последовательностей различных случайных событий в любых объектах связано с реализацией некоторой последовательности эталонных регулярных событий высокой плотности на числовой оси времен, реализованной в часах. Такая шкала в виде числовой оси будет отличаться свойством равновозможного выбора произвольных моментов времени, хотя сама последовательность событий, генерированная в часах, будет упорядочена.

Естественно, что соответствие можно устанавливать не только между расстоянием и эмпирическим временем, но и между любым наблюдаемым свойством и временем. Поэтому существуют возможности построения других эмпирических шкал времени на основе изучения спектров мировых линий для объектов различной природы. Подобные шкалы времени однако отражают статистические закономерности в изменении и развитии конкретных систем. Данные шкалы измерения длительности в последовательности характерных событий, свойственных

определенному классу объектов, уже не будут обладать свойством равновозможной реализации этих событий на числовой оси времен, а будут отражать существование некоторых статистических распределений в последовательностях моментов времени при изменении свойств.

Подобные шкалы эмпирического времени (назовем их шкалами системного времени) являются нелинейными, чаще всего их представляют в логарифмическом масштабе относительно абсолютного времени. Кроме того, в основу таких шкал обычно положены последовательности событий, характерные для определенного изучаемого класса объектов. Моделью такого эмпирического времени обычно являются зависимости, похожие по своему виду на функцию энтропии [2].

В специальной теории относительности в качестве времени выступает величина близкая по своей форме к мере пространства состояний [2]. Эта величина получила название в СТО относительного времени. При этом А. Эйнштейн ответил на вопрос о природе времени очень просто: время есть то, что измеряется часами. Для трехмерного пространства из уравнения (15) при обозначениях $c_1 = \dots = c_n = c^2/2$ и $U = \tau^2$ получим: $c^2\tau^2 = x^2 + y^2 + z^2$ – уравнение распространения фронта светового сигнала.

Сегодня самый важный вопрос дискуссии в темпорологии связан с проблемой: какая величина или система величин наиболее полно отображает наблюдаемые изменения объектов во времени и может выступать адекватной оценкой времени? В данной статье речь велась об эмпирическом времени τ , о системном времени, тесно связанном с энтропией пространства состояний и о времени, которое может быть выражено через меру пространства состояний. Естественно, что такой сложный феномен, как время, может характеризоваться множеством величин и параметров. Для внешней системы координат величиной для оценки времени выступает эмпирическое время τ , которое стандартизировано и имеет свою шкалу измерений. Для внутренней системы координат, привязанной к спектру мировых линий наблюдаемых объектов, такая однозначная оценка пока не выработана, поэтому пока и нет смысла говорить о возможных шкалах измерений. Так как подобные шкалы будут привязаны к конкретным классам объектов или классам событий, становится ясна сложность такой задачи. Системное время, непосредственно связанное с линиями энтропии вектора эволюции может выступать оценкой изменений во времени. Относительное время, связанное с мерой пространства состояний, также может выступать оценкой времени.

Выводы

Таким образом, как видно из статьи, можно предложить различные варианты реляционно-полевых моделей представления времени. Идейно теория таких моделей тесно связана с математическим аппаратом термодинамики. Кроме этого крайне важным направлением исследований является эмпирическое изучение феноменологических особенностей полевой структуры времени. Как правило, в многомерном пространстве Ω_n поле эмпирического времени τ для различных спектров мировых линий будет неоднородно. Однородность и равномерность эмпирического времени является частным случаем и может наблюдаться только для отдельных классов объектов и процессов, например, для мировых линий часов или различных регулярных процессов. Здесь уже видна сущность меры и энтропии пространства состояний Ω_n . Данные величины представляют собой математические функции, которые характеризуют криволинейную ортогональную сетку для эмпирического поля времени. Эти потенциальные функции универсальны, так как они свойственны всему пространству состояний Ω_n и являются криволинейными координатами этого пространства. В свою очередь, поле эмпирического времени, которое описывается функцией $t(z_1, z_2, \dots, z_n)$, не будет потенциальным. Таким образом, мера и энтропия пространства состояний могут выступать универсальными характеристиками времени. Поэтому, относительно этих величин следует изучать особенности и закономерности распределения поля эмпирического времени в различных областях пространства Ω_n . Также уже очевидно, что часов для определения времени и соответствующих шкал для его измерения должно быть достаточно много. Для разных областей пространства Ω_n должны быть разработаны или предложены часы различной природы для определения времени. Это позволит оценить полевую структуру времени и выявить особенности формирования мировых линий для различных классов объектов.

Подобные часы, назовем их системными часами времени, должны быть привязаны к объектам или пространству и различным процессам и явлениям. Хорошим объектом для разработки таких часов являются процессы формирования погоды в определенных точках поверхности Земли. Современные метеостанции позволяют автоматически отслеживать от 10 до 20 параметров и характеристик погоды, которые динамически изменяются с течением эмпирического времени. К таким показателям относится температура и влажность воздуха,

скорость и направление ветра, атмосферное давление, осадки, интенсивность солнечного света и излучения в некоторых спектрах и т.д. Для каждой точки, где наблюдаются процессы формирования погоды, с течением эмпирического времени мы можем построить систему соотношений вида (1), где в качестве параметров выступают метеорологические показатели. Построение шкал измерения системного времени для таких процессов, т.е. комплексных шкал наподобие «шкалы температуры», где температура является только одним из наблюдаемых параметров, позволит построить новую систему измерения времени по отношению к метеорологическим процессам.

Аналогичным образом, используя временные ряды самых различных процессов в области развития стран мира, демографии, экономики, финансов, добычи полезных ископаемых, энергетики и т.д., можно также строить шкалы системного времени и искать связи между ними. Например, база данных временных рядов [9] имеет более 12 миллионов рядов различных процессов и явлений. Такие базы данных могут использоваться для изучения структуры, особенностей и закономерностей поля времени, которое соответствует различным спектрам мировых линий.

Сложность задачи модельного представления времени состоит в том, что теория должна опираться на множественные опытные данные для объектов и систем самой разной природы. В области изучения феномена времени практикой пока не выработаны феноменологические закономерности, которые позволили бы обоснованно выбрать функции для описания абсолютного индекса, предложить методы оценки или измерения количества материального движения, определить темпоральности различных процессов, свойственных объектам и системам различных классов. Очевидно, что получение, накопление и обработка опытных данных о времени должны касаться, в первую очередь, естественных процессов для всех основных классов объектов и систем. Уже видна обширность такой задачи, так как для объектов различной природы необходимо изучить множество спектров мировых линий и, в каждом конкретном случае, получить такой же объем опытных данных, который был собран в термодинамике при изучении термодинамических процессов почти за двести лет.

Таким образом, в области изучения феномена времени накопление опытных фактов, а не построение множества гипотетических моделей, первостепенно в повестке дня. Эта задача сегодня является самой актуальной в изучении природы времени.

Литература

1. Институт исследований природы времени. Библиотека электронных публикаций. – Электр. ресурс, URL: www.chronos.msu.ru/relectropublications.html (12.12.13).
2. Аверин Г.В. Системодинамика. – Донецк: Донбасс, 2014. – 405 с. – Электр. ресурс, URL: <http://www.chronos.msu.ru/ru/trules/item/sistemodinamika-2> (12.02.14).
3. Аверин Г.В. Системодинамика: наука о закономерностях процессов изменения и развития систем во времени. – Palmarium Academic Publishing, 2014. – 488 с.
4. Гухман А.А. Об основаниях термодинамики. – М.: Энергоатомиздат, 1986. – 383 с.
5. Пригожин И., Кондепуди Д. Современная термодинамика / Пер. с англ. – М.: Мир, 2002. – 461 с.
6. Falk G. Die Rolle der Axiomatik in der Physik, erläutert am Beispiel der Thermodynamik // Die naturwissenschaften, 46, 1959, № 16. – pp. 480 – 486.
7. Фихтенгольц Г.М. Курс дифференциального и интегрального исчисления / Изд. 7-е. – М.: Наука, том 1, 1969.
8. Эльсгольц Л.Э. Дифференциальные уравнения и вариационное исчисление. – М.: Наука, 1969. – 424 с.
9. База данных временных рядов. Электр. ресурс, URL: <https://www.quandl.com> (12.12.13).

Аверин Г.В. “Реляційно-польова модель представлення часу”. Виконано аналіз дослідних фактів у галузі вивчення часу. Узагальнено деякі феноменологічні особливості та закономірності динамічних процесів різної природи. Дано визначення та поняття, які використовуються при розробці моделі представлення часу. Здійснено аналіз можливості формалізації основних властивостей часу: одночасності, послідовності та впорядкованості подій, властивостей плину часу, його універсальності та незворотності. Розроблено основні теоретичні положення та запропоновано реляційно-польову модель часу. Вивчено деякі конструкції часу, які засновано на можливих середовищах моделювання, зокрема, на використанні ймовірнісного та геометричного середовищ моделювання часу. Визначено поняття ентропії простору стану як векторної функції скалярного поля часу. Введено поняття міри простору стану та отримано диференціальне рівняння для міри, яка представляє собою потенційну функцію скалярного поля часу. Проаналізовано деякі напрямки досліджень, які дозволяють отримати нові дані про кількісні властивості часу.

Ключові слова: час, властивості і конструкції часу, реляційно-польова модель.

Averin G. “Relational-field model for time representation”. The analysis of experimental facts was carried out in the domain of time research. Some phenomenological peculiarities and regularities of dynamical processes with diverse nature are summarized. Definitions and notions that are used for the development of model for time representation. The formalization possibility of the main time properties is analyzed: simultaneity, sequence and order of events, properties of the passage of time, its universality and irreversibility. The basic theoretical concepts are developed and relational-field model of time is proposed. Some time constructions are studied based on the possible modeling environments, in particular, on the use of probabilistic and geometric environments of time modeling. The concept of state space entropy is defined as a vector function of a scalar time field. The notion of the space measure is introduced and the differential equation for the measure is obtained that is a potential function of the scalar time field. Some research directions are analyzed that allow to obtain new data on the quantitative properties of time.

Keywords: time, properties and construction of time, the relational-field model.

Статья поступила в редакцию 20.02.2014
Рекомендована к публикации в журнале «Вестник Ф.В. Недепкинского

Взаимосвязь термодинамической и информационной энтропии при описании состояний идеального газа

Аверин Г.В., Звягинцева А.В.

Донецкий национальный технический университет
 averin.gennadiy@gmail.com, anna_zv@ukr.net

Аверин Г.В., Звягинцева А.В. «Взаимосвязь термодинамической и информационной энтропии при описании состояний идеального газа». Выполнен анализ основных допущений и моделей, связанных с определением термодинамической и информационной энтропии состояний физической системы. Показаны особенности сходства и различий зависимостей для определения энтропии в обоих случаях. Предложено искать взаимосвязь информационной энтропии не со статистической энтропией в представлениях Больцмана-Планка, а с термодинамической энтропией в представлениях Клаузиуса. Сформулирован общий подход к определению разных видов энтропии, исходя из существования различных эмпирических мер для комплексной характеристики состояний физической системы и принятия гипотезы о полевом представлении области наблюдаемых состояний в многомерном пространстве свойств системы. Для общего случая получены зависимости для энтропии, исходя из описания поля эмпирической меры с помощью мультипликативных моделей относительно параметров свойств системы. На примере идеального газа и на основе существующих опытных данных установлена взаимосвязь между термодинамической и информационной энтропией и определены параметры уравнений связи для различных идеальных газов. Отмечаются некоторые направления исследований, позволяющие развить учение об энтропии применительно к системам различной природы.

Ключевые слова: термодинамическая и информационная энтропия, общая модель энтропии, идеальный газ, взаимосвязь зависимостей для определения энтропий.

Введение

*Понятие энтропии
 чудовищно абстрактно.
 А. Пуанкаре*

В современной науке применение понятия энтропии достаточно распространено [1 – 3]. Различные точки зрения о сути энтропии исходят из того, что она является: некоторой субстанцией, связанной с ходом времени; свойством, характеризующим процессы; характеристикой математической модели процесса; информационным параметром процесса. Причины роста энтропии в изолированных системах также имеют несколько трактовок. Следствием всего этого является то, что различные авторы по-разному определяют смысл энтропии – мера необратимости процессов; мера сложности системного описания объекта; мера неопределенности информации; мера разнообразия; мера хаотичности; мера структурированности и т.д. Все это говорит о том, что даже на первоначальном этапе формулировки понятий вопрос о сущности энтропии проработан явно недостаточно.

Тем не менее, расширенное представление об энтропии создает впечатление

о ее универсальности в науке. Очень часто понятие энтропии в различных науках вводится априори без должного теоретического обоснования и опытного подтверждения, что приводит к заблуждениям и ошибочным обобщениям. Так как основой любой теории является опыт, то только опытные данные отражают характер естественных процессов в природе и обществе, которые в своей массе протекают в направлении наиболее вероятных изменений. Энтропия тесно связана со вторым законом термодинамики, формулировка которого дана Больцманом в следующем виде: «Природа стремится от состояний менее вероятных к состояниям более вероятным». Все это говорит о том, что второй закон является отражением некоторого общего закона природы, который по аналогии с высказыванием Пуанкаре о законе сохранения энергии может быть образно сформулирован в виде: в природе существует «нечто» возрастающее при осуществлении процессов. Возможно, что это может быть энтропия, но изначально может быть и величина, которая более явно и непосредственно связана с опытом, например, вероятность состояния системы в естественных процессах.

Если выходить за рамки термодинамики, то видно, что применение понятия энтропии необязательно [1 – 3]. Анализ состояния множества исследований в этой области указывает на то, что природа энтропии до конца пока не ясна, так как нет однозначного мнения по этому вопросу. Исходя из этого, одной из актуальных задач современной науки является поиск связей между понятиями энтропии, принятыми в различных областях знаний и общесистемное раскрытие сущности этой величины. Отметим, что понятия энтропии наиболее проработаны в термодинамике и теории информации, несмотря на то, что они отличаются между собой. Изучить связи между термодинамической и информационной энтропией можно на основе исследования процессов изменения состояний идеального газа. Однако, для этого следует рассмотреть особенности определений энтропии, которые приняты в термодинамике и теории информации.

Термодинамическая энтропия

Фундаментальным законом в термодинамике является ее второе начало. В общем виде второе начало содержит несколько утверждений, из которых большинство имеет качественный характер. Этот закон устанавливает существование у всякой равновесной термодинамической системы однозначной функции состояния – *термодинамической энтропии*. Второе начало является обобщением данных опыта.

Содержание второго начала термодинамики невозможно определить сжатой формулировкой, так как их слишком много. В работе [4] дается анализ 18 формулировок этого закона, в работе [5] – 16 формулировок. Среди них выделим следующие наиболее распространенные изложения второго начала:

- невозможен процесс, имеющий единственным своим результатом превращение тепла в работу;
- теплота не может сама собой переходить от более холодного тела к более нагретому (Клаузиус);
- природа стремится от состояний менее вероятных к состояниям более вероятным (Больцман);
- энтропия является однозначной функцией состояния и не зависит от пути перехода системы из одного состояния в другое;
- бесконечно малое изменение количества теплоты при равновесном процессе, деленное на абсолютную температуру тела, является полным дифференциалом энтропии.

Второе начало в термодинамике допускает существенную множественность формулировок, причем в своем большинстве качественных формулировок. Именно этот факт

и приводит к вопросам, связанным с неполной ясностью в этой области, которая, в свою очередь, является следствием нечеткости понятий и явно недостаточной определенности области возможного применения этого закона.

В теории понятие энтропии и второе начало тесно связаны между собой. Второе начало накладывает запрет на осуществление многих процессов, следствием чего является то, что среди множества всех термодинамических процессов не все переходы из одного состояния системы в другие возможны. Для равновесных процессов второе начало термодинамики математически выражается уравнением энтропии:

$$ds = \frac{\delta Q}{T}, \quad (1)$$

где s – энтропия; Q – количество теплоты; T – абсолютная температура. На основе объединения первого и второго законов термодинамики формулируется основное уравнение термодинамики, которое для равновесных процессов имеет вид:

$$T \cdot ds = du + p \cdot dv + \sum_{k=1}^n P_k dz_k, \quad (2)$$

а для неравновесных процессов записывается в форме неравенства:

$$T \cdot ds \geq du + p \cdot dv + \sum_{k=1}^n P_k dz_k. \quad (3)$$

Здесь u – энергия, p – давление, v – удельный объем, P_k , z_k – соответственно, термодинамические потенциалы и координаты при наличии взаимодействия k -того рода, которое характеризует определенную форму обмена энергией.

Смысл энтропии раскрывается также в статистической физике. Одно из основных соотношений термодинамики, связывающее термодинамическую вероятность \tilde{W} с энтропией системы s , представляется в виде:

$$s = k_* \cdot \ln \tilde{W} \quad (4)$$

и имеет фундаментальное значение. Данное уравнение математически выражает второе начало в формулировке Больцмана.

Определение термодинамической вероятности состояния системы основано на целом ряде гипотез и тесно увязано с методами оценки и подсчета этой величины. Для обоснования величины \tilde{W} вводятся понятия макросостояний и микросостояний. Вероятность макросостояния (некоторого состояния системы) определяется по числу тех микросостояний, которые реализуют данное макросостояние. В состоянии равновесия системы термодинамическая вероятность достигает максимальных значений.

Обычно за термодинамическую вероятность принимают относительную вероятность $\tilde{W} = w/w_0$, указывающую во сколько раз математическая вероятность w рассматриваемого макросостояния больше, чем математическая вероятность w_0 другого стандартного макросостояния [4]. Основным принципом, позволяющим обосновать понятие термодинамической вероятности, является положение о том, что все микросостояния являются *равновероятными* со статистической точки зрения. Термодинамическая вероятность в отличие от математической вероятности всегда больше единицы ($\tilde{W} \gg 1$) и характеризуется очень большими числами.

Для подсчета термодинамической вероятности существуют разные подходы. Известны способы определения этой величины по методам Больцмана, Бозе-Эйнштейна и Ферми-Дирака, основанные на комбинаторной статистике [4]. Например, по методу Больцмана, если в системе N элементов (молекул), то число всех возможных перестановок как внутри групп элементов, так и между группами по теории сочетаний равно $N!$. Для определения вероятности \tilde{W} необходимо исключить все перестановки, которые происходят внутри групп элементов:

$$\tilde{W} = \frac{N!}{\prod_i N_i!}, \quad (5)$$

где N – общее число элементов системы; i – количество групп элементов в системе; N_i – количество элементов в i -той группе.

Однако главное место в статистической физике занимает метод ансамблей, предложенный Гиббсом. При использовании этого метода одновременно рассматривают большое число тождественных термодинамических систем, состояния которых отображаются в гиббсовом фазовом пространстве точками, а термодинамическую вероятность связывают с элементарным объемом фазового пространства и дифференциалом энергии.

Методы определения термодинамической вероятности основаны на умозрительных гипотезах распределения состояний системы по фазовому пространству, которые отвечают основным термодинамическим предположениям о существовании и поведении вещества. В основе подсчета вероятности \tilde{W} лежит допущение о равновероятности микросостояний термодинамических систем, что маловероятно для большинства случаев. Другими словами, исходное допущение о равновероятности микросостояний явно

идеализировано и не привязано к данным опыта. Анализ исследований указывает на то, что при оценке термодинамической вероятности не наблюдается прямой связи с эмпирическими данными, т.к. преобладают теоретические и косвенные методы оценки этой вероятности.

В свое время Ф. Верле [6] отмечал явные недостатки понятия термодинамической вероятности. Практически термодинамическая вероятность сводится к определению числа благоприятных случаев, в то время как классическая вероятность представляет собой отношение наблюдаемых в опыте благоприятных исходов к общему числу всех возможных исходов. Исключение числа возможных исходов оправдано только в том случае, когда это число постоянно, что как раз и имеет место в равновесном идеальном газе, т.к. обычно рассматривается газ с заданным количеством молекул N . Поэтому при использовании понятия термодинамической вероятности нет явно выраженной связи с наблюдаемыми событиями, как это принято в теории вероятности. События, связанные с микросостояниями наблюдать в опыте исключительно сложно. Поэтому в качестве событий могут выступать только события, связанные с макросостояниями, например, события совместного наблюдения значений давления, удельного объема и температуры в заданных условиях опыта.

Критические замечания Ф. Верле затрагивают одну из самых серьезных проблем термодинамики и указывают на то, что понятие вероятности состояния термодинамической системы теоретически проработано крайне слабо. Вероятность состояния любой термодинамической системы должна определяться в опыте, при этом необходимо четко определить: по отношению к какому характерному событию следует относить вероятность состояния системы.

Большое значение в термодинамике имеет понятие идеального газа, который отличается исключительно простой физической структурой. В термодинамике *идеальным газом* считается газ, параметры состояния которого строго подчиняются уравнению Клапейрона вида (6). Данный закон для такой системы, как идеальный газ, представляется уравнением, которое установлено опытным путем:

$$p \cdot v = R \cdot T, \quad (6)$$

где R – индивидуальная газовая постоянная.

В идеальном газе молекулы рассматриваются как материальные точки, силами притяжения и отталкивания между которыми можно пренебречь, а все взаимодействие молекул ограничено соударениями. Идеальный газ отличается

низкой плотностью вещества, многие простые газы (водород, гелий, кислород, азот, неон и т.д.) при низких давлениях ведут себя как идеальный газ, т.е. строго подчиняются уравнению Клапейрона (6).

Идеальный газ и законы идеального газа являются абстрактной моделью в термодинамике, связь которой с опытом видна в том, что состояния простых реальных газов стремятся к предельному состоянию идеального газа. Основное необходимое условие, при котором справедливо уравнение Клапейрона – это то, что давление реального газа должно быть не велико, в идеальном случае считается, что давление должно стремиться к нулю ($p \rightarrow 0$). На практике некоторые реальные газы соответствуют модели идеального газа уже при давлениях, равных или меньших 1 – 2 атм. Модель идеального газа очень удобна для формулировки основных теоретических положений термодинамики.

При определении состояний идеальных газов используется величина энтропии, которая на основе параметров состояния определяется по зависимостям вида:

$$s = s_0 + c_v \cdot \ln p + c_p \cdot \ln v \quad \text{или} \\ s = s_0 + c_v \cdot \ln T + R \cdot \ln v, \quad (7)$$

где c_v и c_p – изохорная и изобарная теплоемкости, которые зависят от температуры.

По отношению к выбранному опорному состоянию зависимость (7) может быть представлена в виде:

$$s = c_v \cdot \ln \frac{p}{p_0} + c_p \cdot \ln \frac{v}{v_0}, \quad (8)$$

где p_0 и v_0 – соответственно давление и удельный объем газа для условий выбранного опорного состояния.

Для многомерных процессов энтропия представляется в виде [7]:

$$s = \sum_{k=1}^n c_k \cdot \ln \frac{z_k}{z_{k0}}, \quad (9)$$

где c_k – величины, характеризующие процессы изменения и развития систем.

Существование энтропии является фундаментальным принципом, определяющим изменение свойств и состояний физических систем в различных термодинамических процессах. Следует отметить, что между множеством формулировок второго начала нет принципиальных различий и противоречий. Скорее всего, все это – различные попытки изложения некоторого закона природы.

Однако при современном уровне знаний принцип существования энтропии рассматривается как отдаленное логическое следствие закона сохранения энергии и результат обобщения опытных данных,

которыми располагает термодинамика. Сегодня в термодинамике существование энтропии не постулируется в качестве самостоятельного принципа (если не рассматривать некоторые аксиоматические направления теории). Здесь согласимся с утверждением автора работы [8, с. 371], что такое решение проблемы в общепринятой системе изложения основ термодинамики ни в какой мере не подготовлено и не оправдано. Система термодинамики даже не располагает понятиями и терминами, в которых можно было бы кратко и ясно сформулировать самостоятельный принцип существования энтропии, при этом однозначно отразив физический или статистический смысл этой величины.

Информационная энтропия

Понятие *информационной энтропии* вводится в теории информации. Данная наука изучает количественные закономерности, связанные с получением, передачей, обработкой и хранением информации. В связи с тем, что в теории информации применяются вероятностные методы, данная наука является разделом теории вероятности.

В качестве объекта, о котором передается информация, рассматривается некоторая физическая система, которая случайным образом может оказаться в том или ином состоянии. Таким образом, считают, что системе заведомо присуща некоторая степень неопределенности. Для физической системы степень неопределенности определяется не только числом ее возможных состояний, но и вероятностями состояний. В качестве меры априорной неопределенности системы в теории информации применяется характеристика, которая называется энтропией.

Рассмотрим некоторую систему X , которая может принимать конечное множество состояний x_1, x_2, \dots, x_n с вероятностями w_1, w_2, \dots, w_n , где $w_i = P(X \sim x_i)$ – вероятность того, что система X примет состояние x_i . Здесь символом $X \sim x_i$ обозначается событие: система находится в состоянии x_i . Так как количество состояний конечно, то очевидно, что

$$\sum_{i=1}^n w_i = 1.$$

В теории информации энтропией системы называется сумма произведений вероятностей различных состояний этой системы на логарифмы этих вероятностей, взятая с обратным знаком:

$$H(X) = - \sum_{i=1}^n w_i \cdot \log w_i. \quad (10)$$

Из соотношения (10) видно, что энтропия обращается в ноль, когда одно из состояний системы достоверно, а другие невозможны. При заданном числе состояний энтропия достигает максимума, когда эти состояния равновероятны, при увеличении числа состояний энтропия увеличивается. Кроме того, энтропия обладает свойством аддитивности, суть которого состоит в том, что, когда несколько независимых систем объединяются в одну, их энтропии складываются. Обычно в теории информации, логарифм в соотношении (10) берут при основании 2. Энтропия одного разряда двоичного числа, если он с одинаковой вероятностью может быть нулем или единицей, называется «двоичной единицей» и иногда обозначается *bit*.

При определении энтропии сложной системы, полученной объединением двух и более простых систем, используется теорема сложения энтропий. Под объединением двух систем X и Y с возможными состояниями x_1, x_2, \dots, x_n и y_1, y_2, \dots, y_n понимается сложная система (X, Y) , состояния которой (x_i, y_j) представляют собой все возможные комбинации состояний x_i, y_j систем X и Y . Если системы X и Y независимы, то есть принимают свои состояния независимо одна от другой, то по теореме умножения вероятностей $P(X, Y) = P(X) \cdot P(Y)$. В свою очередь, при объединении двух независимых систем их энтропии складываются:

$$H(X, Y) = H(X) + H(Y). \quad (11)$$

Данное соотношение верно для любого количества независимых систем.

Если системы X и Y зависимы, то по теореме умножения вероятностей $P(X, Y) = P(X) \cdot P(Y|X)$, где $P(Y|X)$ – условная вероятность того, что система Y примет некоторое состояние при условии, что система X находится в определенном заданном состоянии. В свою очередь, при объединении двух зависимых систем их энтропии также складываются по следующему правилу:

$$H(X, Y) = H(X) + H(Y|X), \quad (12)$$

где $H(Y|X)$ – условная энтропия системы Y относительно системы X .

В случае физических систем с непрерывным множеством состояний энтропия определяется через плотность распределения вероятностей состояний. Наиболее простой пример непрерывной системы – это система, состояния которой описываются одной непрерывной случайной величиной с плотностью распределения $f(x)$. В более сложных случаях состояние системы может

описываться несколькими случайными величинами X_1, X_2, \dots, X_n с плотностью распределения $f(x_1, x_2, \dots, x_n)$. Подобную систему можно рассматривать как объединение в совокупность (X_1, X_2, \dots, X_n) простых систем X_1, X_2, \dots, X_n .

Для простой системы X , определяемой одной непрерывной случайной величиной X с плотностью распределения $f(x)$, энтропия имеет вид:

$$H(X) = - \int_{-\infty}^{+\infty} f(x) \cdot \log f(x) dx - \log \Delta x, \quad (13)$$

где Δx – степень точности определения состояний системы.

Все теоремы об определении энтропии физической системы с дискретными состояниями остаются в силе и для непрерывных систем.

В теории информации на основе энтропии оценивается информация, получаемая при наблюдении за физической системой. В частности, количество информации, приобретаемое при полном выяснении состояния некоторой физической системы, равно энтропии этой системы $I_X = H(X)$.

В настоящее время существует несколько десятков различных определений понятия «информация». В теории информации ситуация с понятием информации существенно хуже, чем аналогичная ситуация в термодинамике с понятием энтропии.

Различные точки зрения о сути информации исходят из того, что она является неотъемлемым свойством материи, некоторым материальным процессом, информационным свойством живой природы, целевой функцией, особым видом термодинамической энтропии и т.д. Множество противоречивых определений свидетельствует о том, что ни одно из них не является достаточно обоснованным. Понятие информационной энтропии введено в научный обиход, исходя из аналогий с обобщенным определением энтропии в статистической термодинамике, которое сформулировано Планком, при этом зависимость (10) без теоретического обоснования просто по соглашению распространена на любые физические системы, исходя из аналогий и формальных соображений простоты определения информационной энтропии.

Теория информации основана на вероятностных закономерностях, свойственных процессам и явлениям. Однако множество ситуаций не укладываются в информационную модель Шеннона. Не всегда представляется возможным заранее установить перечень всех состояний системы. Кроме того, в теории

информации рассматривается только формальная сторона сообщения, в то время как смысл его остается в стороне [9].

Далее, так как теория информации является разделом теории вероятности, то теоретический подход к вычислению вероятностей был изначально привнесен как основной принцип анализа. В этом случае, исходя из причинно-следственной картины формирования событий, дается оценка вероятностей сложных событий с привлечением теорем сложения и умножения вероятностей. Однако, на практике часто невозможно достоверно отобразить дерево событий с вероятностями последовательных переходов между событиями, если не пользоваться результатами опыта, а исходить только из теоретических предпосылок, логических и гипотетических предположений. Численные методы определения вероятностей событий на основе данных опыта используются в теории информации существенно реже, нежели теоретические методы подсчета вероятностей. Поэтому для многих сложных физических систем невозможно определить вероятности их состояний.

Также большой проблемой является нечеткость определения, что понимается под состоянием физической системы и как это понятие связано с событиями или с их характеристическими случайными величинами.

Со времен работ Л. Бриллюэна взаимосвязь информации и физической энтропии изучалась многими учеными, однако гипотеза о связи этих величин так и не была подтверждена опытным путем.

Для установления аналогий между термодинамической и информационной энтропией следует начинать с самых основ – согласовать понятия состояния физической системы в термодинамике и в теории информации.

Анализ и согласование понятий энтропии

На первый взгляд, отличия в понятиях термодинамической и информационной энтропий не очень значительны, т.к. форма зависимостей очень похожа. Однако, проблема достаточно существенна, дискуссия о взаимосвязи этих величин тянется уже длительное время.

Сегодня имеется два основных подхода к определению термодинамической энтропии. В первом случае энтропия определяется через эмпирическую формулу Клаузиуса (1). Эта формула верна как для идеальных газов, так и для реальных молекулярных систем, т.е. для расчетов энтропии газов, жидкостей и твердых тел. Энтропия Клаузиуса находится по

известным термодинамическим параметрам макросостояний системы и широко используется в классической термодинамике.

Во втором случае в статистической физике энтропию определяют по формуле Больцмана (4), которая получена исключительно для идеального газа и представляет собой сумму частных энтропий всех молекул. То есть энтропия определяется по всем микросостояниям системы.

Для идеального газа энтропии Клаузиуса и Больцмана тождественно равны. В свою очередь, формулы Больцмана для термодинамической энтропии ($s = k_* \cdot \ln W$) и Шеннона для информационной энтропии $H = -\sum w_i \cdot \log w_i$ имеют некоторое внешнее сходство, но это пока не дает оснований говорить о взаимосвязи двух видов энтропии. Кроме того, имеются существенные различия в размерностях, т.к. информационная энтропия безразмерна, а термодинамическая – имеет размерность энергии. Также по определению информационная энтропия чаще всего применяется по отношению к некоторому процессу изменения макросостояний физической системы, в свою очередь, процесс определения статистической энтропии связан с множеством элементов, образующих физическую систему, микросостояния которых формируют макросостояние системы.

Таким образом, если существуют взаимосвязи между различными видами энтропии, то их следует искать не на уровне изучения микросостояний, а на уровне анализа макросостояний идеального газа, иначе происходит полная путаница с объектами исследований в обоих случаях. В термодинамике энтропия эмпирически определяется через параметры состояния термодинамической системы в соответствии с уравнениями (1) и (7), что обосновано опытом, поэтому и определение информационной энтропии следует осуществлять через вероятности состояния, которые будут определяться параметрами макросостояния физической системы.

В термодинамике состояние системы четко определено – это мгновенная оценка совокупности значений параметров свойств, характерных для данной системы. Параметром может быть любое свойство системы, если оно количественно определено и рассматривается как независимая переменная, определяющая вместе с другими переменными состояние системы.

В теории информации энтропия вводится через вероятности состояний физической системы. Однако, четкого определения, что в самом общем случае понимается под

состоянием физической системы и как, исходя из этого, определяется вероятность состояния, в учебниках особо не раскрывается. Считается, что для каждой изучаемой физической системы этот вопрос уже решен отдельно.

Поэтому, и в термодинамике и в теории информации следует четко сформулировать общее понятие состояния физической системы и показать, как определяется вероятность состояния. Далее это позволит оценивать возможности существования взаимосвязей между интересующими нас величинами, исходя из одинаковых исходных предпосылок.

Таким образом, определим *состояние* физической системы как совокупность ее наблюдаемых физических свойств, параметры которых формируются под действием условий окружающей среды в конкретный момент времени.

Любое множество n переменных для параметров свойств задает n -мерное пространство $\{z_1, z_2, \dots, z_n\}$, являющееся декартовым произведением областей значений всех переменных z_k данного множества. Точки этого пространства соответствуют n -мерным наборам значений всех переменных (z_1, z_2, \dots, z_n) . Таким образом, состояние физической системы в n -мерном пространстве в каждый момент времени будет отображаться многомерной точкой $M = M(z_1, z_2, \dots, z_n)$, процесс изменения состояния системы – многомерной кривой, которая описывается точкой M в этом пространстве.

Рассмотрим сложное совместное событие A_i одновременного наблюдения n параметров и определим, что состояние физической системы в заданный момент времени будет характеризоваться не только совокупностью параметров свойств, которые отображаются точкой M_i , но и данным наблюдаемым событием. Будем считать, что существует вероятность данного события, которая может быть определена или по дискретным наблюдениям процесса изменения состояния системы, или по выборке из множества аналогичных систем, каждая из которых находится в определенном состоянии в заданный момент времени. Другими словами, множество точек M_i в количестве p , где p – число наблюдений, может отражать или наблюдения одного процесса в разные моменты времени, тогда сложные события A_i несовместные, или наблюдения объектов одного класса в определенный момент времени, тогда события A_i совместные. Возможен также распространенный случай, когда объекты одного класса наблюдаются в разные моменты

времени. Все это позволяет для выборки из p наблюдений определить статистическую вероятность события A_i . Назовем данную статистическую вероятность вероятностью состояния физической системы. Статистические вероятности для сложного события A_i одновременного наблюдения n заданных параметров могут быть найдены с использованием алгоритмов перебора, группировки и подсчета частот благоприятных событий в общей выборке всех наблюдений [7].

Таким образом, на основе переменных z_1, z_2, \dots, z_n формируем n -мерное пространство координат $\{z_1, z_2, \dots, z_n\}$, в котором возможные состояния системы образуют некоторую область Ω_n , охватывающую все наблюдаемые в опыте точки. Каждой точке M_i можно поставить в соответствие вероятность состояния w_i .

Предположим непрерывность области Ω_n . Это означает, что в пространстве состояний Ω_n существует бесконечное множество состояний для некоторой генеральной совокупности физических систем и точки состояний $M(z_1, z_2, \dots, z_n)$ непрерывно заполняют это пространство. Будем также считать, что опытные точки $M_i(z_1, z_2, \dots, z_n)$ являются ограниченной выборкой наблюдений из данной генеральной совокупности.

Для того, чтобы показать связи между информационной и термодинамической энтропией и возможность формулировки одинаковых исходных положений, сделаем следующие достаточно общие предположения.

Будем считать, что каждое состояние физической системы однозначно характеризуется n независимыми переменными z_1, z_2, \dots, z_n , причем область определения для каждой переменной распространяется на всю положительную числовую ось $z_k(0, \infty)$. Сформулируем следующие аксиомы.

1. Пусть в пространстве состояний физической системы Ω_n каждой точке M поставлено в соответствие действительное число W , которое будем называть эмпирической мерой состояния системы.

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

Будем считать, что величина W может определяться в опыте на основе некоторых процедур измерений, оценок или расчетов. Эмпирическая мера W не может являться параметром одного из свойств системы z_1, z_2, \dots, z_n . В общем случае в качестве

эмпирической меры могут выступать различные комплексные величины, например, количество теплоты, эмпирическая температура, вероятность событий, стоимость объектов, время наблюдения и т.д.

Для построения модели описания процессов физической системы используем гипотезу, что скалярное поле эмпирической меры W может быть аналитически описано в окрестности произвольной точки M . Будем считать, что вблизи точки M осуществляется процесс изменения состояния физической системы. Для задания скалярного поля эмпирической меры $W = W(M)$ как функции независимых переменных z_1, z_2, \dots, z_n необходимо определить функцию точки. Предположим, что в области Ω_n можно задать аналитическую непрерывную функцию $\theta(z_1, z_2, \dots, z_n)$, на основе которой будет формироваться математическая модель. При известном виде функции $\theta(z_1, z_2, \dots, z_n)$ и значениях переменных z_1, z_2, \dots, z_n в области Ω_n можно построить еще одно скалярное поле, которое далее будем называть средой моделирования.

Исходя из этого, для построения в общем случае феноменологической модели физической системы сформулируем следующую аксиому.

3. Пусть в пространстве состояний физической системы Ω_n скалярные поля величин W и θ однозначно связаны между собой. Если в окрестности любой точки M физическая система осуществляет некоторый процесс l , то для линии процесса l справедливо соотношение $dW = c_l \cdot d\theta$, где c_l – эмпирические величины, которые являются функциями физического процесса.

Покажем, что аксиом (1) – (3) достаточно для обоснования принципа существования как термодинамической, так и информационной энтропии.

Выберем в области Ω_n произвольную точку M . Будем считать, что вблизи данной точки осуществляется элементарный физический процесс, в результате которого состояние системы изменяется от начального M до конечного состояния M' . Тогда в процессе изменения состояния физической системы элементарное изменение эмпирической меры W можно представить в виде:

$$dW = \left(\frac{\partial W}{\partial \theta}\right)_1 \cdot \left(\frac{\partial \theta}{\partial z_1}\right) dz_1 + \left(\frac{\partial W}{\partial \theta}\right)_2 \cdot \left(\frac{\partial \theta}{\partial z_2}\right) dz_2 + \dots \\ \dots + \left(\frac{\partial W}{\partial \theta}\right)_n \cdot \left(\frac{\partial \theta}{\partial z_n}\right) dz_n \quad \text{или} \quad (14)$$

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

При выводе уравнений принято, что $\left(\frac{\partial W}{\partial \theta}\right)_k = \left(\frac{\partial W}{\partial \theta}\right)_{\dots z_{k-1}, z_{k+1}, \dots} = c_k$.

Будем считать, что аналитическая функция $\theta(z_1, z_2, \dots, z_n)$ может быть представлена в виде произведений функций, зависящих от параметров свойств $\theta = \varphi_1(z_1) \cdot \varphi_2(z_2) \cdot \dots \cdot \varphi_n(z_n)$.

Для решения поставленной задачи сформулируем следующую лемму.

Пусть задано уравнение Пфаффа вида (14) и пусть известно, что в окрестности любой точки M пространства состояний физической системы Ω_n среда моделирования $\theta = \theta(z_1, z_2, \dots, z_n)$ может быть представлена в виде произведения функций, зависящих от параметров свойств $\theta = \varphi_1(z_1) \cdot \varphi_2(z_2) \cdot \dots \cdot \varphi_n(z_n)$. Тогда для уравнения (14) обязательно существует интегрирующий делитель, который обращает данное уравнение в полный дифференциал.

Покажем, что интегрирующим делителем уравнения (14) будет функция $\theta = \varphi_1(z_1) \cdot \varphi_2(z_2) \cdot \dots \cdot \varphi_n(z_n)$. Подставив данную функцию в (14) и деля это уравнение на θ , получим [7]:

$$ds = \frac{dW}{\theta} = c_1 \cdot \frac{\varphi_1'(z_1)}{\varphi_1(z_1)} dz_1 + c_2 \cdot \frac{\varphi_2'(z_2)}{\varphi_2(z_2)} dz_2 + \dots \\ \dots + c_n \cdot \frac{\varphi_n'(z_n)}{\varphi_n(z_n)} dz_n. \quad (15)$$

Интегрируя уравнение (15), представим общий интеграл в виде:

$$s - s_0 = c_1 \cdot \ln \left(\varphi_1 \left(\frac{z_1}{z_{10}} \right) \right) + c_2 \cdot \ln \left(\varphi_2 \left(\frac{z_2}{z_{20}} \right) \right) + \dots \\ \dots + c_n \cdot \ln \left(\varphi_n \left(\frac{z_n}{z_{n0}} \right) \right). \quad (16)$$

где $s_0, z_{10}, \dots, z_{n0}$ – параметры опорного состояния.

Определим общий интеграл s как энтропию, исходя из аналогий с термодинамикой. Энтропия является характеристической функцией пространства состояний системы. Как показано в источнике [7] в параметрическом представлении энтропия является длиной дуги векторной линии некоторого поля направлений, порожденного скалярным полем эмпирической меры состояния системы W .

Таким образом, в зависимости от существующих эмпирических мер W , которые

характеризуют состояния физической системы, различные виды энтропий состояния определяются зависимостью (16). В данной зависимости величины c_k являются характеристиками процесса, который осуществляется физической системой, а частные виды энтропий $s_k = c_k \cdot \ln\left(\varphi_1\left(\frac{z_k}{z_{k0}}\right)\right)$ свойственны определенному k -тому роду физического взаимодействия.

Термодинамическая и информационная энтропии при описании состояний идеального газа

Покажем, как данная модель может быть применена к идеальному газу, состояние которого определяется двумя параметрами – давлением p и удельным объемом v .

Если эмпирическую меру W считать количеством теплоты Q , величину θ – абсолютной температурой T , а c_k – теплоемкостями, то зависимости примут вид:

$$T = \frac{p \cdot v}{R}; \quad R = \frac{p_0 \cdot v_0}{T_0}; \quad dQ = c_{i,t} \cdot dT;$$

$$s_t - s_{t0} = c_p \cdot \ln\left(\frac{v}{v_0}\right) + c_v \cdot \ln\left(\frac{p}{p_0}\right). \quad (17)$$

Здесь v_0 , p_0 – параметры идеального газа при нормальных условиях; $T_0 = 273,15 \text{ K}$; c_v и c_p – изохорная и изобарная теплоемкости;

$$\varphi_1(v) = T_0 \frac{v}{v_0} \quad \text{и} \quad \varphi_2(p) = \frac{p}{p_0}.$$

Если эмпирическую меру W считать вероятностью состояния w , величину θ – геометрической вероятностью ρ , а c_k – некоторыми характерными величинами физического процесса, то соответствующие основные зависимости примут вид:

$$\rho = \rho_1 \cdot \rho_2 = \frac{v}{v_{\max}} \cdot \frac{p}{p_{\max}}; \quad dw = c_{i,w} \cdot d\rho;$$

$$s_w - s_{w0} = c_{1w} \cdot \ln\left(\frac{v}{v_{\max}}\right) + c_{2w} \cdot \ln\left(\frac{p}{p_{\max}}\right) = \dots$$

$$\dots = c_{1w} \cdot \ln(\rho_1) + c_{2w} \cdot \ln(\rho_2). \quad (18)$$

Здесь v_{\max} , p_{\max} – максимальные значения удельного объема и давления, наблюдаемые в опыте, $\varphi_1(v) = v/v_{\max} = \rho_1$ и $\varphi_2(p) = p/p_{\max} = \rho_2$.

Термодинамическая энтропия s_t и величины c_p и c_v в уравнении (17) имеют размерность, в свою очередь, информационная

энтропия s_w и величины c_{1w} и c_{2w} в уравнении (18) безразмерны. Среды моделирования в соотношениях (17) и (18) подобны между собой, т.е. $T = (v_{\max} \cdot p_{\max}/R) \cdot \rho$, при этом величина T размерная, величина ρ безразмерная, а коэффициент $v_{\max} \cdot p_{\max}/R$ имеет размерность температуры.

Выполним согласование полученных зависимостей, исходя из данных опыта. Используя метод Монте-Карло, проведем следующий простой статистический эксперимент. Предположим, что состояние физической системы характеризуется двумя измеряемыми и независимыми параметрами z_1 и z_2 . В наблюдаемой области определения этих переменных $\Omega_2 \{0 \leq z_1 \leq z_{1,\max}; 0 \leq z_2 \leq z_{2,\max}\}$ параметр z_1 может изменяться от нуля до $z_{1,\max}$, а параметр z_2 – от нуля до $z_{2,\max}$.

Из теории вероятности следует, что если на плоскости дана *равномерно* распределенная двумерная случайная величина, то в этом случае применимо геометрическое определение вероятности. При этом вероятность ρ попадания точки в прямоугольник определяют в виде отношения площади прямоугольника, образованного правой вершиной $A(z_1, z_2)$, к площади всей прямоугольной области Ω_2 . Для этого случая статистическая вероятность w будет равна отношению опытных точек, попавших в прямоугольник, к общему количеству точек. Для равномерно распределенной величины статистическая и геометрическая вероятности равны между собой, т.е. $\rho = w$. Если величина распределена *неравномерно*, то данное условие нарушается.

Известно [10], что геометрическая вероятность попадания случайной точки в прямоугольник со сторонами, параллельными осям координат Oz_1 и Oz_2 (рис. 1), у которого правая вершина располагается в точке $A(z_1, z_2)$, равна:

$$\rho = P(0 \leq Z_1 < z_1; 0 \leq Z_2 < z_2) = \frac{z_1 \cdot z_2}{z_{1,\max} \cdot z_{2,\max}}. \quad (19)$$

Примем эту геометрическую вероятность за вероятность состояния системы $A(z_1, z_2)$, исходя из необходимости построения среды моделирования.

Предположим, что координаты точки $A(z_1, z_2)$ в процессе проведения статистических экспериментов на плоскости z_1Oz_2 в области Ω_2 (рис. 1) могут быть выбраны на отрезках $[0, z_{1,\max}]$ и $[0, z_{2,\max}]$ каждый раз абсолютно случайно с учетом равномерного распределения

независимых величин z_1 и z_2 . При этом определим вероятность расположения точки $A(z_1, z_2)$ в соответствии с ранее приведенным уравнением (19).

Для решаемой нами задачи параметр z_1 – это удельный объем газа v , а параметр z_2 – это давление газа p .

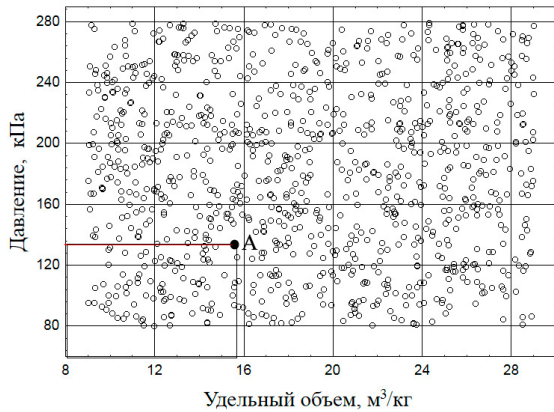


Рисунок 1. – Диаграмма рассеивания физических свойств водорода при равномерном распределении данных (число статистических экспериментов – 1000)

Возьмем произвольный газ, например, водород. Известно, что при давлении среды, равном $p_0 = 101325 \text{ Па}$ и температуре $T_0 = 273,15 \text{ К}$ (нормальные физические условия) удельный объем водорода равен $v_0 = 11,12720 \text{ м}^3 / \text{кг}$. Будем считать состоянием газа некоторое событие, для которого пары значений давления и удельного объема выбраны случайно. Генерируя равномерно распределенным генератором случайных чисел значение параметра v от нуля до v_{\max} и значение параметра p от нуля до p_{\max} и вырезая область $\Omega_2[v_{\min}, v_{\max}; p_{\min}, p_{\max}]$, которая соответствует существующим опытным данным термодинамических свойств газов, получим в области Ω_2 диаграмму рассеивания физических свойств водорода, которая представлена на рисунке 1.

Зная термодинамические параметры состояния водорода, приведенного к идеальному состоянию, можно определить энтропию состояния газа. Воспользуемся для этого таблицами термодинамических свойств газов [11]. При составлении таблиц предполагалось, что газ подчиняется уравнению состояния идеального газа (6). Значение энтропии газа определяется выражением:

$$s_t = \int_0^T \frac{c_p dT}{T} - R \cdot \ln p = s^0 - R \cdot \ln p. \quad (20)$$

Точность таблиц термодинамических свойств газов в области температур -50°C до 1500°C составляет 0,5 %. Эта область для водорода приблизительно соответствует диапазонам изменения давления от $p_{\min} = 80 \text{ кПа}$ до $p_{\max} = 280 \text{ кПа}$ и удельного объема от $v_{\min} = 9 \text{ м}^3 / \text{кг}$ до $v_{\max} = 29 \text{ м}^3 / \text{кг}$.

Для идеального газа, подчиняющегося уравнению (6), путем преобразований [11] из зависимости (20) можно получить уравнение для энтропии (17).

В свою очередь, по термодинамическим параметрам водорода в процессе статистического моделирования можно определить информационную энтропию в виде $s_w = k \cdot \log(w)$, где k – коэффициент пропорциональности, связанный с основанием логарифма, значение $s_{w,0}$ принято равным нулю при $w=1$, а в процессе моделирования параметры состояния водорода подчинены равномерному распределению, т.е. $w = \rho$.

Однако, уравнение (8) указывает на то, что в условиях опыта термодинамические параметры водорода не подчиняются равномерному распределению, так как изобарная и изохорная теплоемкости не равны между собой. Таким образом, статистическую модель состояний водорода, представленную на рисунке 1, можно рассматривать как равномерно распределенную (равновозможную) среду моделирования, которую следует непосредственно увязать с опытными данными.

Используя методы регрессионного анализа, получим уравнение связи между термодинамической и информационной энтропиями состояний водорода в виде:

$$s_t = 88,268 + 12,659 \cdot s_w. \quad (21)$$

Здесь s_t определяется уравнением (20) и данными таблиц [11], а $s_w = \ln(w)$. Коэффициент корреляции уравнения (21) составил 0,99, результаты регрессионного анализа приведены на рисунке 2.

По параметрам водорода определим также частную информационную энтропию в виде, предложенном Шенноном: $s_w = -w \cdot \log(w)$. Результаты сравнения данных приведены на рисунке 3, на котором видна нелинейная зависимость между величинами. Это характерно для информационной энтропии Шеннона $s_w = -w \cdot \log(w)$, которая зависит от произведения вероятности на логарифм вероятности.

Также, зная термодинамические параметры состояния азота, приведенного к идеальному состоянию, можно определить энтропию состояния газа.

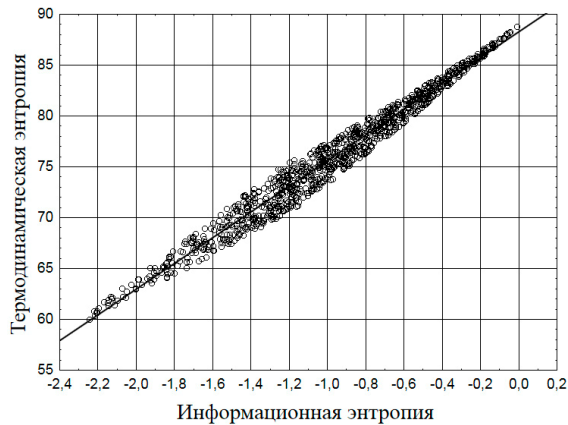


Рисунок 2. – Взаимосвязь термодинамической s_t и информационной энтропии $s_w = \ln(w)$ для состояний водорода

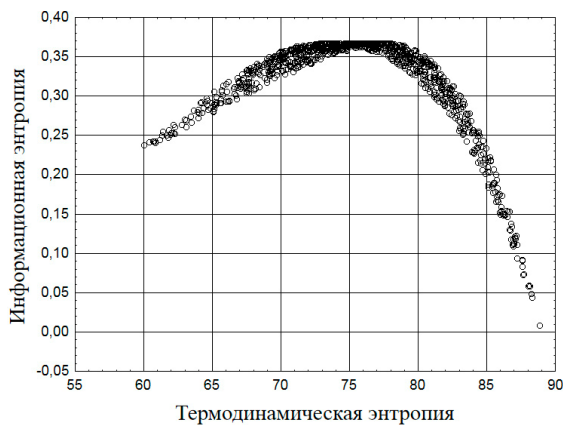


Рисунок 3. – Взаимосвязь термодинамической s_t и информационной энтропии $s_w = -w \cdot \log(w)$ для состояний водорода

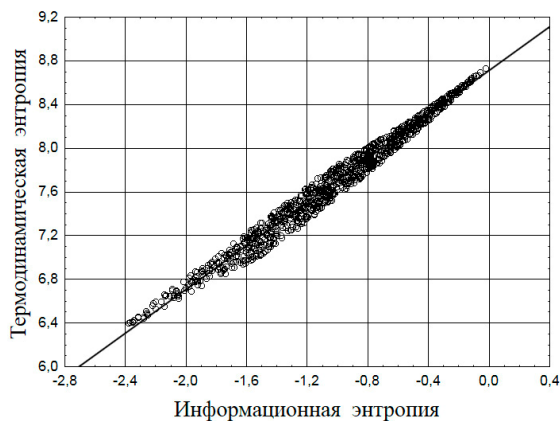


Рисунок 4. – Взаимосвязь термодинамической s_t и информационной энтропии $s_w = \ln(w)$ для состояний азота

Соответствующее регрессионное уравнение связи между энтропиями состояний азота будет иметь вид:

$$s_t = 8,708 + 1,001 \cdot s_w. \quad (22)$$

Коэффициент корреляции уравнения (22) составил 0,99, результаты регрессионного анализа приведены на рисунке 4.

Аналогичным образом, связь между энтропиями состояний кислорода имеет вид:

$$s_t = 8,261 + 0,950 \cdot s_w. \quad (23)$$

Выполненный анализ показывает, что для любого идеального газа зависимость между термодинамической и информационной энтропиями имеет вид $s_t = a + b \cdot s_w$, где коэффициенты a и b имеют свои значения для каждого идеального газа. Данная зависимость позволяет установить связь между термодинамической вероятностью состояния \tilde{W} и математической вероятностью состояния w системы. Учитывая уравнение Больцмана (4) получим эту связь в следующем виде:

$$\tilde{W} = \exp\left(\frac{a}{k_*}\right) \cdot w^{\frac{b}{k_*}}. \quad (24)$$

Здесь k_* – постоянная Больцмана.

Величины c_k в зависимости для частной энтропии $s_k = c_k \cdot \ln(z_k/z_{k0})$ являются функциями процесса и могут в окрестности произвольного состояния системы зависеть от эмпирической меры. В этом случае частные виды информационной энтропии могут быть представлены как в форме $s_k = \alpha_k \cdot \log(w)$, так и в форме $s_k = \beta_k \cdot w \cdot \log(w)$. Если величины c_k в окрестности произвольного состояния имеют линейную зависимость $c_k = \alpha_k + b_k \cdot w$, то получим $s_k = \alpha_k \cdot \log(w) + \beta_k \cdot w \cdot \log(w)$. Оба варианта представления энтропии ($s_k = \alpha_k \cdot \log(w)$ и $\beta_k \cdot w \cdot \log(w)$) используются в термодинамике и теории информации. В первом случае, это энтропии Больцмана и Хартли, во втором случае – энтропии Гиббса и Шеннона.

Выводы

Таким образом, как видно из данной статьи в зависимости от той или иной эмпирической меры, можно предложить различные виды энтропий состояния физической системы.

Принцип существования энтропии имеет свою определенную область применения. Во-первых, понятие энтропии распространяется только на процессы, которые могут наблюдаться в опыте. Исходя из этого, бессмысленно этот принцип распространять на области, где отсутствуют опытные данные (пример – известный вывод о тепловой смерти Вселенной). Во-вторых, понятие энтропии распространяется только на процессы и явления, для которых справедливо существование некоторой эмпирической меры для комплексной оценки состояния физической системы. И, наконец, область применения принципа ограничена эволюционными процессами, которым свойственны более или менее

медленные, постепенные изменения в состоянии систем. Для систем, у которых нарушается однородность и непрерывность пространства состояний, энтропия не определяется.

Следует отметить, что данные выводы справедливы и для биологических, и для экологических, и для социальных систем. Если существует опытный факт того, что для некоторой системы можно выдвинуть гипотезу существования эмпирической меры, то возможно обоснование принципа существования энтропии и установление закономерностей, которые характеризуют изменение состояний этой системы. Поэтому научная значимость данного метода связана с возможностью построения моделей для систем различной природы.

Литература

1. Коганов А.В. Реферативный обзор семестра «Время и энтропия» семинара «Изучение феномена времени». – Электр. ресурс, URL: www.chronos.msu.ru/seminar/rindex.html (10.01.14).
2. Morowitz H.J. The Second Law of Thermodynamics. – Электр. ресурс, URL: www.panspermia.com/seconlaw.htm (26.10.13).
3. Шамбадаль П. Развитие и приложение понятия энтропии. – М.: Наука, 1967. – 280 с.
4. Путилов К.А. Термодинамика. – М.: Наука, 1971. – 375 с.
5. Хазен А.М. Разум природы и разум человека. – М.: Мооблполиграфиздат, 2000. – 577 с.
6. Wehrle P. L'Univers aleatoire. – Paris: Dunod, 1956.
7. Аверин Г.В. Системодинамика. – Донецк: Донбасс, 2014. – 405 с. – Электр. ресурс URL: <http://www.chronos.msu.ru/ru/trules/item/sistemodinamika-2> (12.02.14).
8. Гухман А.А. Об основаниях термодинамики. – М.: Энергоатомиздат, 1986. – 383 с.
9. Бекман. И.Н. Информатика. Курс лекций / МГУ им. М.В. Ломоносова. 2009. – Электр. ресурс, URL: <http://profbeckman.narod.ru/InformLec.htm> (10.11.13).
10. Вентцель Е.С. Теория вероятности. – М.: Наука, 1969. – 576 с.
11. Ривкин С.Л. Термодинамические свойства газов: Справочник. – 4-е изд., перераб. – М.: Энергоатомиздат, 1987. – 288 с.

Аверин Г.В., Звягинцева Г.В. “Взаємозв'язок термодинамічної та інформаційної ентропії при описі станів ідеального газу”. Виконано аналіз основних припущень і моделей, пов'язаних з визначенням термодинамічної та інформаційної ентропії станів фізичної системи. Показано особливості й відмінності залежностей для визначення ентропії в обох випадках. Запропоновано шукати взаємозв'язок інформаційної ентропії не з статистичною ентропією в уявленнях Больцмана-Планка, а з термодинамічною ентропією в уявленнях Клаузіуса. Сформульовано загальний підхід до визначення різних видів ентропії, виходячи з існування різних емпіричних мір для комплексної характеристики станів фізичної системи та прийняття гіпотези про польове представлення області спостережуваних станів в багатовимірному просторі властивостей системи. Для загального випадку отримані залежності для ентропії, виходячи з опису поля емпіричної міри за допомогою мультиплікативних моделей щодо параметрів властивостей системи. На прикладі ідеального газу та на основі існуючих дослідних даних встановлено взаємозв'язок між термодинамічною та інформаційною ентропією та визначено параметри рівнянь щодо різних ідеальних газів.

Ключові слова: термодинамічна та інформаційна ентропія, загальна модель ентропії, ідеальний газ, взаємозв'язок залежностей для визначення ентропії.

Averin G.V., Zviagintseva A.V. “The relationship of the thermodynamic and information entropy in the description of the ideal gas states”. The paper carries out the analysis of the key assumptions and models related to the definition of information and thermodynamic entropy of a physical system states. The paper also shows the peculiarities of similarities and differences of dependencies for determining the entropy in both cases. It is suggested to seek dependence of information entropy not between the statistical entropy in Boltzmann-Planck representations but between the thermodynamic entropy in Clausius representations. Common approach is formulated for determining different kinds of entropy based on the existence of different empirical measures for the complex characteristics of a physical system states and the acceptance of the hypothesis of the field representation of the observed states in a region from a multidimensional space properties of the system. Dependencies for the entropy are obtained for the general case based on the description of the empirical measure field using multiplicative models with respect to the parameters of the system properties. For an ideal gas and on the basis of existing experimental data revealed a relationship between thermodynamic and informational entropy and parameters of equations for different ideal gases.

Keywords: thermodynamic and information entropy, common entropy model, ideal gas, relationship of dependencies for entropy determination.

Статья поступила в редакцию 14.02.2014
Рекомендована к публикации д-ром техн. наук Ф.В. Недопекиным

Раздел 2

Прикладной системный анализ и моделирование

Компьютерный анализ свойств решений ряда задач

Андрюхин А.И.

Донецкий национальный технический университет

alexandruckin@ramber.ru

Андрюхин А.И. «Компьютерный анализ свойств решений ряда задач». В данной работе рассматриваются свойства решений ряда известных задач с варьируемыми параметрами. Выполнен анализ устойчивости конкретной системы управления. Построены оценки параметров ее областей устойчивости. Показано сложное строение областей значений полинома при вариации его коэффициентов. Это негативно влияет на определение его кратных корней и обуславливает необоснованные решения об устойчивости соответствующей системы управления. Выполнена оценка параметрической устойчивости и чувствительности решений краевой задачи и задачи Коши. Визуальный компьютерный анализ их корректности показал необходимость тщательного анализа каждой конкретной проблемы. Рассмотрена известная методика идентификации квазипериодической последовательности и показаны ее недостатки. Приведены численные расчеты для анализируемых задач.

Ключевые слова: устойчивость, компьютерный анализ, система, управление, идентификация, квазипериодические

Введение

В статье рассматривается известная проблема определения устойчивости и корректности решений задач с варьируемыми параметрами и начальными значениями. Отметим, что для таких задач, основными математическими моделями которых являются обыкновенные дифференциальные уравнения, системы линейных уравнений и т.п., известны результаты в [1 – 5].

Так, современные сложные компьютерные системы управления представляются математическими моделями, которые используют многие дифференциальные уравнения разных порядков. При их решении мы предварительно приводим их к канонической форме уравнений первого порядка (пространство состояний). Используя эквивалентные преобразования (при которых решения исходной системы совпадают с решениями конечной преобразованной системы), мы при вариации параметров не можем гарантировать совпадения окрестностей этих решений. Поэтому происходит потеря устойчивости решений при малых вариациях параметров, что наиболее ярко отражается в задачах теории оптимального управления.

При анализе различных приложений, одной из наиболее часто встречающихся задач является вычисление корней полинома n -степени:

$$F(x) = x^n + a_1x^{n-1} + a_2x^{n-2} + \dots + a_n = 0.$$

Эта задача является давно решенной в вычислительной математике, однако на практике коэффициенты полинома обычно известны с некоторой погрешностью: $|a_i - a_{0i}| < \varepsilon_i$, $i = 1, n$, где a_{0i} , (ε_i) – истинные значения коэффициентов (погрешности их измерения) соответственно.

В приложениях чрезвычайно важно оценивать ситуации, когда малые вариации коэф-

фициентов полинома влекут большие изменения в значениях корней.

Так, для определения устойчивости решения системы дифференциальных уравнений, которая является математической моделью для многих поставленных задач, необходимо рассматривать корни характеристического полинома.

Известно, что если среди этих корней есть пара весьма близких действительных корней, либо комплексные корни, у которых мнимая часть мала по отношению к действительной части, то это есть признак некорректности или плохой обусловленности решаемой проблемы.

Целью исследования является оценка параметрической устойчивости решений задач, которые требуют анализа свойств характеристического полинома матрицы коэффициентов системы уравнений различного типа. Это позволит более точно оценивать проектное решение по отношению к реальным возмущениям.

Задачами исследования является анализ свойств решений известных задач, таких как устойчивость решений задач управления, устойчивость и корректность решений краевых задач и связанная с предыдущими задачами проблема вычисления кратных корней характеристического полинома. Отдельно рассматривается задача идентификации квазипериодических последовательностей.

Анализ параметрической устойчивости систем управления

Для линейных систем управления, которые описаны матричной моделью $x' = Ax + Bu$ оптимальным по минимуму квадратичного критерия является линейный регулятор $u = kx$ (здесь x и u – векторы состояния и управления) [1].

В реальности некоторые скалярные переменные вектора состояния x являются неизмеримыми.

Пример.

Рассмотрим двумерную замкнутую линейную систему управления с линейным регулятором $u=kx$ и тогда мы сможем получить для устойчивого состояния следующие соотношения:

$$\begin{aligned} a_{11}x_1 + a_{12}x_2 + b_1u &= 0 \\ a_{21}x_1 + a_{22}x_2 + b_2u &= 0 \\ k_1x_1 + k_2x_2 + u &= 0 \end{aligned} \quad (1)$$

с уже заданным управлением:

$$k_1x_1 + k_2x_2 + u = 0.$$

Зафиксируем коэффициенты b_1, b_2, k_1, k_2 , установив их равными 1, 2, 1, 2 соответственно.

Определим устойчивость системы (1), вычислив значения собственных чисел матрицы коэффициентов системы. Мы можем упростить визуализацию областей устойчивости, предположив $a_{11}=0$.

Тогда единственное в этом случае собственное число λ определяется выражением $\lambda = -2a_{12} - 2a_{21} + a_{12}a_{21} + a_{22}$. При $\lambda < 0$ мы имеем область устойчивости, вид которой представлен на рисунках 1 и 2.

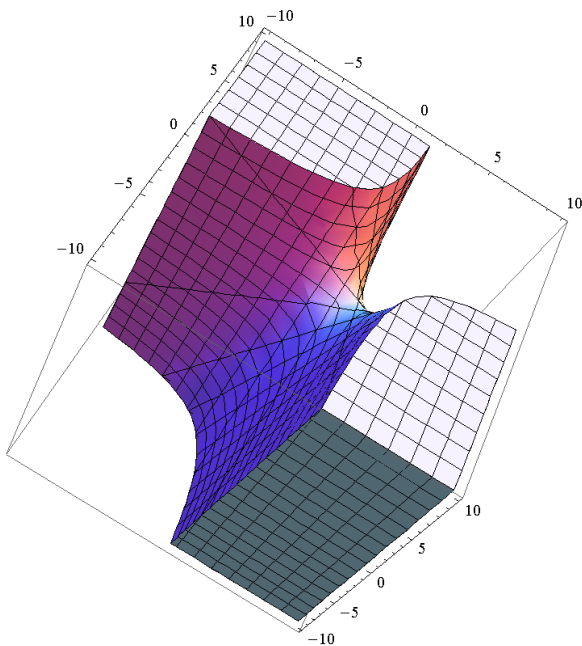


Рисунок 1. – Область устойчивости $\lambda < 0$

Использование компьютера при расчетах всегда подразумевает огрубление идеальных математических представлений, которые мы используем при описании и исследовании определенных моделей. В нашем случае мы попытаемся наложить определенную сетку погрешности расчета на исследуемые области устойчивости полиномов.

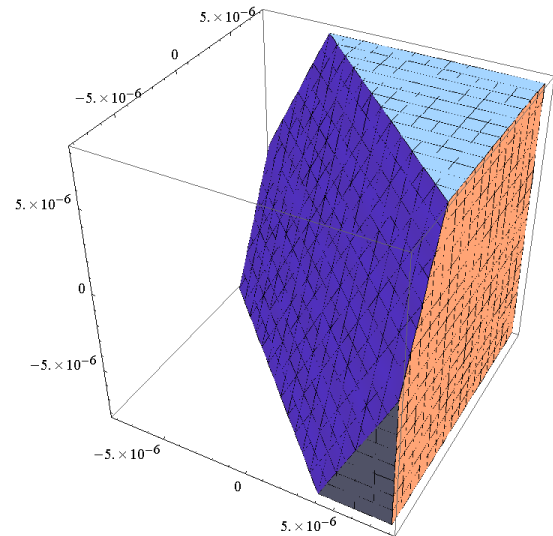


Рисунок 2. – Область устойчивости $\lambda < 0$

Задав малое $\varepsilon > 0$, мы можем исследовать «подозрительную» область $|\lambda| < \varepsilon$, представленную на рисунке 3 (здесь и далее необходимо обращать внимание на масштаб области).

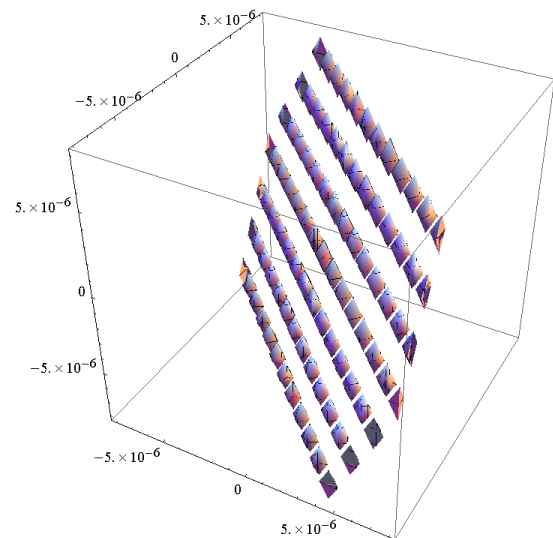


Рисунок 3. – Область $|\lambda| < \varepsilon$

Для этого необходимо выполнение следующих условий:

$$-\varepsilon + 2a_{12} + 2a_{21} - a_{12}a_{21} < a_{22},$$

$$a_{22} < \varepsilon + 2a_{12} + 2a_{21} - a_{12}a_{21}.$$

Условие $\lambda = -2a_{12} - 2a_{21} + a_{12}a_{21} + a_{22} < 0$ определяет область устойчивости $\lambda < 0$, представленную на рисунке 4.

Приведенные рассуждения показывают сложную структуру областей устойчивости даже для полиномов небольшой степени при простых упрощающих предположениях относительно вариации коэффициентов рассматриваемых многочленов.

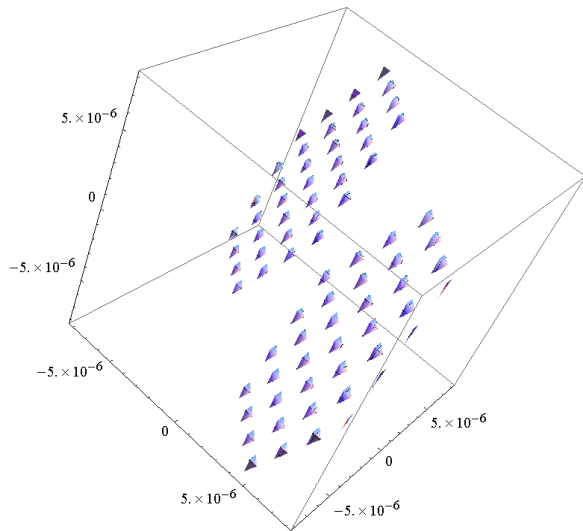


Рисунок 4. – Область устойчивости $\lambda < 0$ и $|\lambda| < \varepsilon$

Проблемы вычисления корней полинома

Если полином имеет кратные вещественные корни, то задача их определения является некорректной [1].

При вычислении корней полинома $F(x)$ на компьютере мы в силу дискретности выполняемых операций задаем δ -точность вычисляемого корня x_i и тем самым ε -погрешность вычисления $|F(x_i)| < \varepsilon$. В сущности для δ и ε можно записать $\varepsilon \approx M\delta$, где $M = a_{n-1}$ – коэффициент в $F(x)$.

На рисунках 5 – 8 представлены области решений при вычислении кратных корней полиномов $L(x)$ при одинаковом условии. Эти полиномы $L(x)$ имеют по два кратных корня, равных $1,1$ и 1 , и рисунки показывают строение областей значений этих полиномов при различных вариациях их представления.

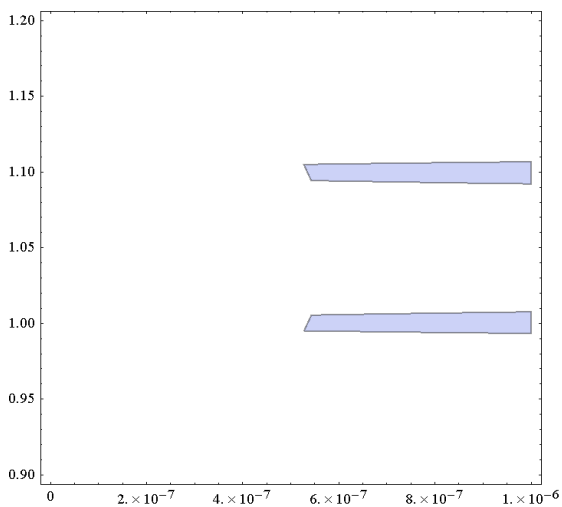


Рисунок 5. – Область $|L(x)| < \varepsilon$

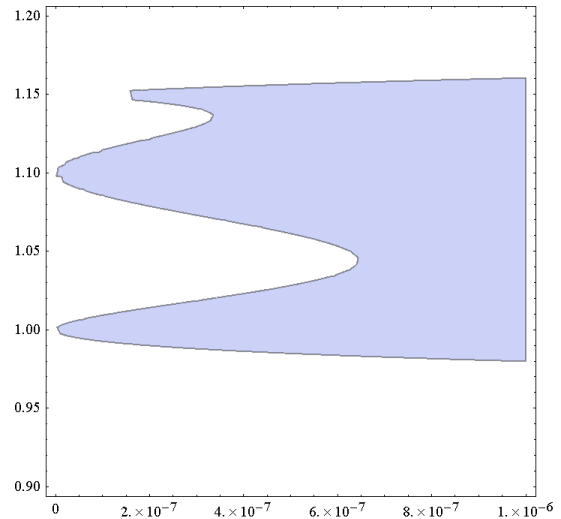


Рисунок 6. – Область $|L(x)(x-1.15)| < \varepsilon$

Рисунки 7, 8 иллюстрируют строение областей полинома при вариации его коэффициентов.

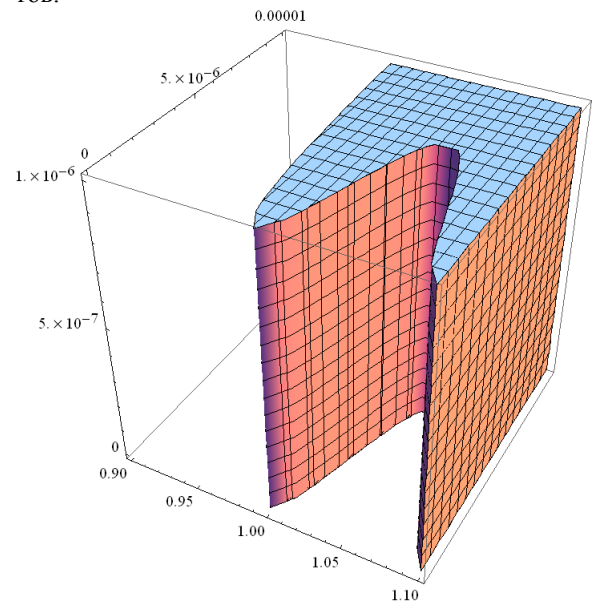


Рисунок 7. – Область $|L(x)| < \varepsilon$

Основная проблема вычисления кратных корней уравнения $F(x)=0$ состоит в том, что вычислив с определенной точностью x_1 , мы должны вычислять второй кратный корень из уравнения $F(x)/(x-x_1)=0$ либо $F'(x)=0$.

Но его вычисление выполняется в другом окружении и ясно, что нет абсолютной уверенности в том, что корни кратные, так как коэффициенты $F(x)$ в реальности известны с какой-то точностью.

Для рисунка 9 мы видим достаточно сложное соотношение областей значений полинома $G(x)=x^2-0,02x+0,0001-10^{-6}$.

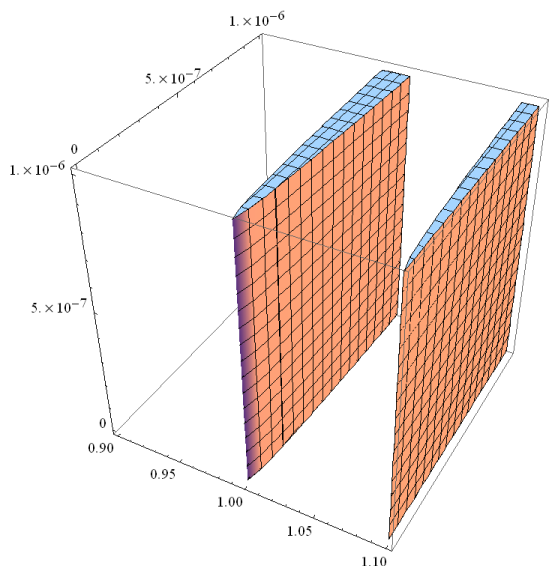


Рисунок 8. – Область $|L(x)| < \varepsilon/10$

Так $|G(x)| < \varepsilon$ при $0 \leq \varepsilon \leq 10^{-6}$ и нескольких диапазонах изменения x ($-0.02 < x < 0.01 - 0.001(1+10^6\varepsilon)^{1,2}$, $0.01 < x < 0.01 - 0.001(1-10^6\varepsilon)^{1,2}$, $0.02 > x > 0.01 + 0.001(1+10^6\varepsilon)^{1,2}$).

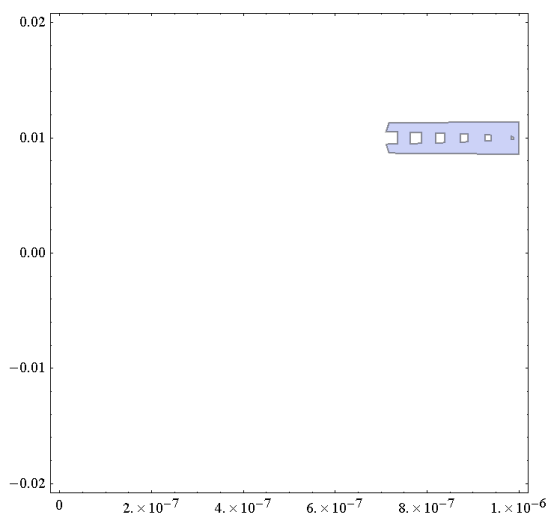


Рисунок 9. – Области значений $|G(x)| < \varepsilon$

Устойчивость решений краевых задач

Известно, что решения краевых задач, в отличие от решений задачи Коши (для которых выполняется условие Липшица), могут не иметь непрерывной зависимости от краевых условий. Краевая задача может быть некорректной или плохо обусловленной в зависимости от значений краевых условий. Это старая теоретическая проблема, но при выполнении компьютерных расчетов она по-прежнему интересна и актуальна.

На практике проверка корректности сводится к повторению расчетов при модифицированных начальных краевых условиях.

Пример. Рассмотрим ОДУ следующего вида $F(x, y(x), y'(x), y''(x)) = 0$ с краевыми условиями $y(x_0) = y_0$, $y(x_1) = y_1$, а более конкретно выполним анализ задачи:

$$y''(x) + (1 + \varepsilon p)y(x) = 0 \text{ с краевыми условиями } y(0) = 0.001 + \varepsilon, y(\pi) = 0.1 + \varepsilon.$$

Здесь ε , εp – вариации параметров.

Аналитическое решение представляется следующей формулой:

$$y(x) = -\varepsilon \operatorname{Ctg}((1 + \varepsilon p)^{1/2} \pi) + (1 + \varepsilon) \operatorname{Cosec}((1 + \varepsilon p)^{1/2} \pi) \operatorname{Sin}((1 + \varepsilon p)^{1/2} x) + \operatorname{Cos}((1 + \varepsilon p)^{1/2} x) \varepsilon.$$

На рисунке 10 показаны графики решений: с максимальной амплитудой ($d = 0.1$, $\varepsilon p = 0.01$), с минимальной амплитудой ($d = 0.1$, $\varepsilon p = 0.0$) и со средней по величине амплитудой ($d = 0.0$, $\varepsilon p = 0.01$).

На рисунках 11, 12 представлены значения решений большие, чем d^{-1} и $d^{-2,9}$ при x на интервале $(-4, 4)$, $d \in (10^{-9}, 10^{-5})$, $\varepsilon \in (-10^{-5}, 10^{-5})$. Получаем, что малые изменения параметров для простой краевой задачи влекут большие изменения в ее решении.

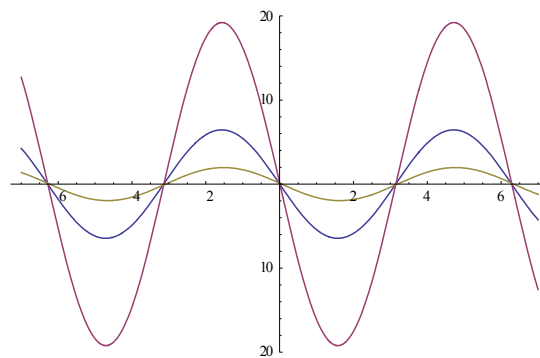


Рисунок 10. – Сравнение решений

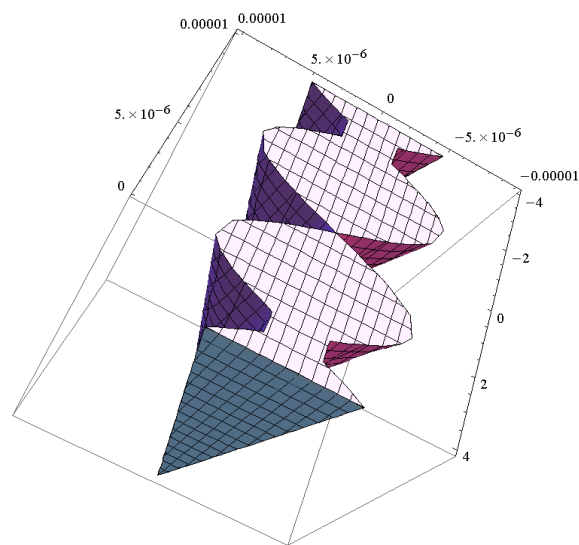


Рисунок 11. – Строение области значений решений большие, чем d^{-1}

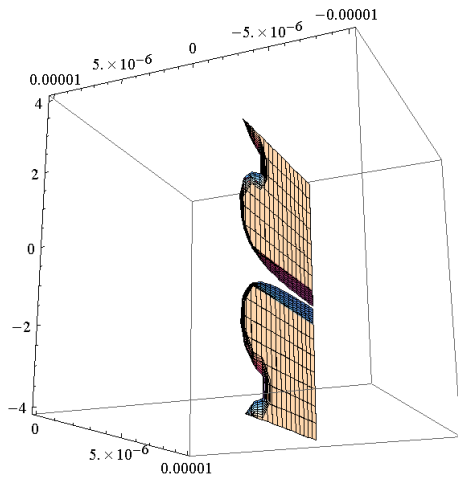


Рисунок 12. – Строение области значений решений большие, чем $d^{-2.9}$

Устойчивость решений задач Коши

Ранее упоминалось, что решения задачи Коши (для которых выполняется условие Липшица) имеют непрерывную зависимость от начальных условий. Однако изменение коэффициентов уравнения могут обуславливать резкое изменение вида решений. Это относится к задачам Коши, у которых характеристический полином при вариациях коэффициентов имеет кратные нулевые корни.

Пример. Рассмотрим группы задачи Коши с вариациями коэффициентов. Начальные условия одинаковы для всех задач $x[0]=x'[0]=x''[0]=x'''[0]=1$ и $\epsilon=0.01$.

Группа I. а) исходная задача $x^{(4)}+2x^{(3)}+x^{(2)}=0$ с 4 корнями характеристического полинома $(-1, -1, 0, 0)$.

б) задача $x^{(4)}+(2+\epsilon)x^{(3)}+(1+\epsilon)x^{(2)}=0$ с 4 корнями характеристического полинома $(-1.01, -1, 0, 0)$. Решения этой группы задач имеют вид согласно рисунка 13.

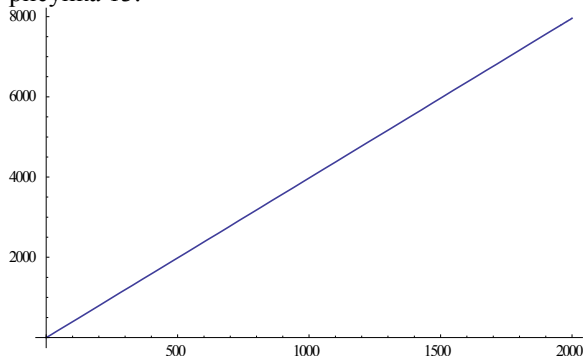


Рисунок 13. – Типичный вид решений I

Группа II. а) задача $x^{(4)}+(2+\epsilon)x^{(3)}+(1+\epsilon)x^{(2)}+\epsilon x^{(1)}=0$ с корнями характеристического полинома $(-1.10046, -0.899439, -0.0101031, 0)$.

б) задача $x^{(4)}+2x^{(3)}+x^{(2)}+\epsilon x^{(1)}=0$ с корнями характеристического полинома $(-1.09554,$

$-0.894253, -0.0102073, 0)$. Решения этой группы задач имеют вид, представленный на рисунке 14.

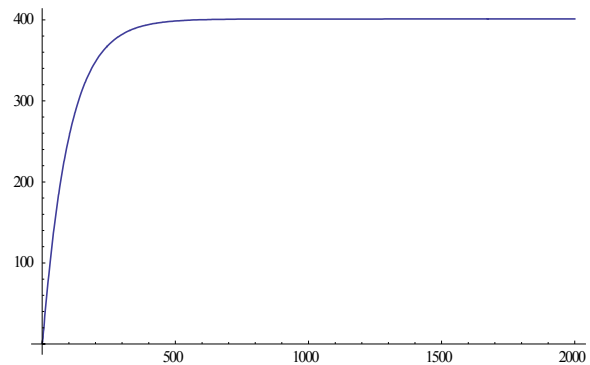


Рисунок 14. – Типичный вид решений II

Группа III. а) задача $x^{(4)}+2x^{(3)}+x^{(2)}+\epsilon x^{(1)}+\epsilon x+\epsilon=0$ с корнями характеристического полинома $(-1.00981, -1, 0.00490336-0.0993924i, 0.00490336+0.0993924i)$;

б) задача $x^{(4)}+(2+\epsilon)x^{(3)}+(1+\epsilon)x^{(2)}+\epsilon x^{(1)}+\epsilon x+\epsilon=0$ с корнями характеристического полинома $(-1.01962, -1.0, 0.00480944-0.0989164i, 0.00480944+0.0989164i)$. Решения этой группы задач имеют вид согласно рисунка 15.

Как и в предыдущем случае, получаем неприятный для практики результат, заключающийся в том, что малые изменения параметров для простой задачи Коши влекут большие изменения в ее решении.

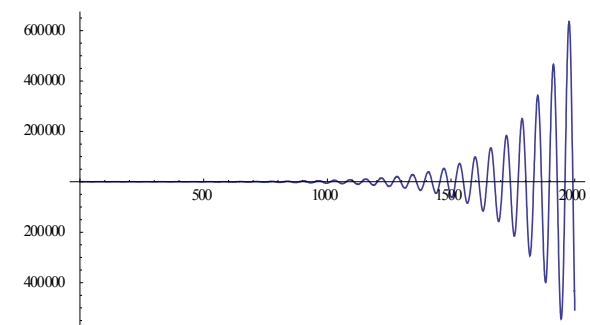


Рисунок 15. – Типичный вид решений III

Согласно приведенным графикам, соответствующие решения совершенно различны (конечность или неограниченность значений, монотонность или имеют осцилляции).

Идентификация квазипериодических последовательностей

Задача идентификации квазипериодических последовательностей требует тщательного анализа и хорошего понимания проблемной области, в которой мы пытаемся построить модель для наблюдаемых квазипериодических данных (финансовые индексы, числа Вольфа и т.п.). Так, с помощью метода наименьших квадратов зачастую выделяют основную периодическую

компоненту и далее последовательно определяют характеристики следующих по важности периодических составляющих, для которых исходными данными является временной ряд, получаемый из исходной последовательности путем вычитания найденных ранее компонент.

Однако простой пример показывает недостатки использования этого подхода. Так, рассматривая сумму двух периодических последовательностей $\sin(x)+\sin(x/\sqrt{3})$ на рисунке 16, мы можем сказать, что она является квазипериодической, но не периодической [5, с. 219].

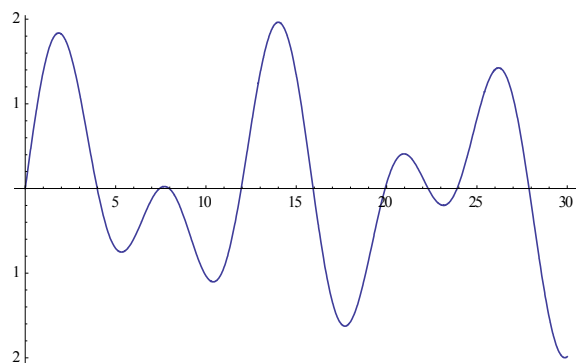


Рисунок 16. – $Y(x)=\sin(x)+\sin(x/\sqrt{3})$

Если мы попытаемся определить ряд значений функции $Y(x)=\sin(x)+\sin(x/\sqrt{3})$ при $x=1,30$ моделью $Y1(x)=A+B\cos(wx)+C\sin(wx)$, получим следующие результаты $A=0.0416901$, $B=1.0068$, $C=-0.37931$, $w=1.02416$ и дисперсия равна 14.5888. Находим далее для ряда значений последовательности $Y(x)-Y1(x)$ параметры ее модели $Y2(x)=A2+B2\cos(w2x)+C2\sin(w2x)$. Имеем следующие результаты $A2=0.000368494$, $B2=0.174093$, $C2=-0.022069$, $w2=1.2198$ и дисперсия равна 14.1123. График ошибки идентификации $Y(x)-Y1(x)-Y2(x)$ представлен на рисунке 17.

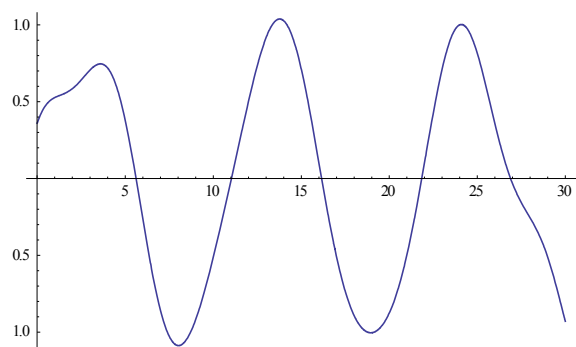


Рисунок 17. – Ошибка $Y(x)-Y1(x)-Y2(x)$

Заметим, что частоты исходной последовательности равны 1 и 0.57735, а следуя последовательной методике, мы получили 1.02416 и 1.2198. Основной вывод анализа этого примера

заключается в том, что, следуя указанному выше подходу, мы не получим точных значений частот для подобного рода последовательностей (это возможно только для подобранных специальным образом данных).

Если мы сразу находим с дополнительным ограничением $w>w_2$ параметры модели $A+B\cos(wx)+C\sin(wx)+B2\cos(w2x)+C2\sin(w2x)$, то получаем почти идеальные значения $A=-3.25763\cdot 10^{-11}$, $B=1.0$, $C=5.2498\cdot 10^{-10}$, $w=1.0$, $B2=1.0$, $C2=-5.31027\cdot 10^{-9}$, $w2=0.57735$ и дисперсия равна $1.74939\cdot 10^{-16}$. График ошибки идентификации представлен на рисунке 18.

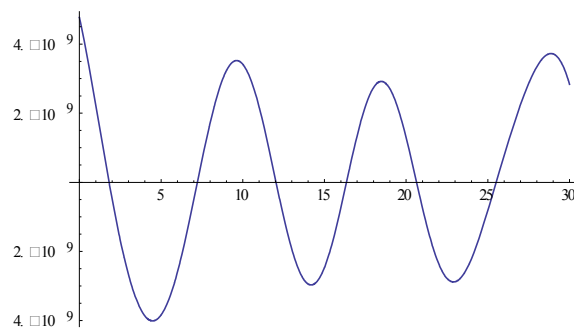


Рисунок 18. – Ошибка идентификации

В случае, когда для различения компонент с частотами w, w_2 используем ограничение по амплитудам $B^2+C^2>B1^2+C1^2$ для определения параметров модели $A+B\cos(wx)+C\sin(wx)+B2\cos(w2x)+C2\sin(w2x)$, сразу приведем сравнение ошибок идентификации на рисунке 19, согласно которому различие результатов не так существенно.

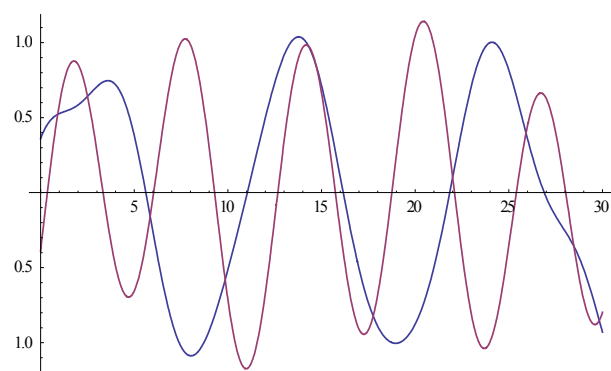


Рисунок 19. – Сравнение ошибок

Вышеизложенное указывает на то, что использование методики последовательного выделения периодических составляющих возможно при хорошем знании специфики проблемной области.

Результаты

Основной вывод работы заключается в необходимости тщательного анализа каждой

конкретной проблемы с целью оценки параметрической устойчивости и чувствительности ее решения.

К примеру, понижение степени характеристического полинома может быть причиной потери устойчивости решений системы дифференциальных уравнений при вариации ее коэффициентов.

Этот факт чрезвычайно важен при проектировании и анализе устойчивости систем управления.

Аналогичные компьютерные эксперименты с вариацией проблемных параметров показывают резкое изменение свойств решений краевой задачи и задачи Коши.

Анализ примера использования методики последовательного выделения периодических составляющих также подтверждает основной

вывод статьи. Расчеты производились в среде Математика 9.

Литература

1. Петров Ю.П. Новые главы теории управления и компьютерных вычислений. – С.-Пб.: БХВ-Петербург, 2004.
2. Петров Ю.П., Петров Л.Ю. Неожиданное в математике и его связь с авариями и катастрофами. – С.-Пб.: БХВ-Петербург, 2005.
3. Тихонов А.Н., Арсенин В.Я. Методы решения некорректных задач. – М.: Наука, 1979. – 276 с.
4. Шарый С.П. Конечномерный интервальный анализ, 2013. – 613 с. – Электр. ресурс, URL: <http://www.nsc.ru/interval> (20.11.2013).
5. Гелбаум Б., Олмстед Дж. Контрпримеры в анализе. – М.: Мир. – 1967.

Андрюхін О.І. “Комп'ютерний аналіз властивостей рішень ряду завдань”. У даній роботі розглядаються властивості рішень низки відомих задач зі змінними параметрами. Виконано аналіз стійкості конкретної системи управління та побудовано оцінки параметрів її областей стійкості. Показано складну будову областей значень полінома, що негативно відбивається при знаходженні його кратних коренів при варіації його коефіцієнтів. Це тягне необґрунтовані рішення щодо стійкості відповідної системи управління. Візуальний комп'ютерний аналіз класичних проблем коректності крайових задач та задачі Коші показав необхідність ретельного аналізу кожної конкретної проблеми з метою оцінки параметричної стійкості та чутливості їхніх рішень. Розглянута відома методика ідентифікації квазіперіодичної послідовності та показано її недоліки. Наведено чисельні розрахунки для розглянутих завдань.

Ключові слова: стійкість, комп'ютерний аналіз, система, управління, квазіперіодичні, ідентифікація.

Andruckin A.I. “Computer analysis of the properties of solutions of some problems”. The well-known problem of determining the stability and correctness of the solutions of tasks with variable parameters and initial values considered in the article. The objectives of the study was to analyze the properties of solutions of known problems, such as stability control solutions, stability and accuracy of the solution. These problems are connected with the problem of the calculation of multiple roots of the characteristic polynomial. Option with characteristic polynomial coefficients of variation at a multiple zero roots is especially important. Computer experiments with variation of problem parameters showed a strong change in the properties of solutions of boundary value problem and the Cauchy problem. Analysis of the stability control system is produced. Estimates of the parameters of its stability regions are constructed. Complex structure of the ranges of the polynomial in the variation of the coefficients is shown. It has a negative effect on the determination of its multiple roots and causes unreasonable decisions on the stability of the respective control system. Parametric estimation of stability and sensitivity of solutions of the boundary value problem and the Cauchy problem has been performed. Visual computer analysis of their correctness showed the need for careful analysis of each specific problem. The known method of identification of quasi-periodic sequence is considered. Her advantages and disadvantages were shown. The main conclusion of this study is the need for a thorough analysis of each specific problem to assess the parametric stability and sensitivity of the solution. This conclusion is extremely important in the design and analysis of the stability control systems. Numerical calculations are presented for the analyzed problems.

Keywords: stability, computer analysis, system management, quasi-periodic, identification.

Статья поступила в редакцию 25.12.2013
Рекомендована к публикации канд. техн. наук А.В. Григорьевым

Стратегическая оценка статуса Украины в современном мире по данным международных организаций

Часть 2: Примеры анализа и результаты

Звягинцева А.В., Аверин Г.В.

Донецкий национальный технический университет

anna_zv@ukr.net, averin.gennadiy@gmail.com

Звягинцева А.В., Аверин Г.В. «Стратегическая оценка статуса Украины в современном мире по данным международных организаций. Часть 2: Примеры анализа и результаты». Показано, что поиск связей и закономерностей в базе данных показателей развития стран может осуществляться не между показателями, характеризующими состояния объектов (страны мира), а между вероятностями совместных событий, связанных с наблюдением нескольких показателей развития стран. Предложена методика оценки человеческого развития, которая использует объективный подход и основана на определении статистических вероятностей совместных событий, характеризующих состояния объектов. Дан пример комплексной оценки развития стран на основе использования баз данных Программы развития ООН за 2008 и 2013 годы. Определен статус Украины в современном мире в сравнении с другими странами. Выполнена оценка рангов стран по уровню и темпам развития. Данная методика является альтернативой известной методике расчета индекса человеческого развития ПРООН, которая отличается использованием экспертных подходов.

Ключевые слова: методы системной динамики, оценка развития стран, статус Украины в современном мире, ранги стран мира по уровню и темпам развития

Введение

Считают, что будущее наступает неизбежно, но не предопределено. Оно формируется в прошлом и настоящем, и каким будет будущее зависит от тех, кто принимает те или иные решения. Это создает обманчивое впечатление, что можно экспертным путем формировать различные стратегии развития социально-экономических систем и волевыми решениями достигать самых разных целей.

Исходя из этого, политики, ситуативно ориентируясь на избирателей, очень часто ставят заведомо не достижимые цели. Причем, такие цели ставятся и на самом высоком политическом уровне. Например, в 2010 году Президент Украины В.Ф. Янукович в предвыборной программе «Украина для людей» на десять лет сформулировал несколько очень актуальных и амбициозных целей:

- 1) увеличение населения Украины до 50 миллионов граждан уже к 2020 году;
- 2) Украина в числе 20-ти наиболее экономически развитых стран мира;
- 3) Украина в списке 10-ти стран с максимальной свободой ведения бизнеса и т.д.

В свою очередь, Президент Украины П.А. Порошенко в положениях программы развития «Стратегия 2020» на ближайшие шесть лет озвучил следующие ключевые показатели развития страны:

- 4) увеличение к 2020 году ВВП на душу населения по ППС до 16000 \$ США;

5) вхождение Украины в Топ-20 стран по легкости ведения бизнеса;

6) рост средней продолжительности жизни в Украине на три года до 74 лет и т.д.

Понятно, что не Президенты, а их окружение готовит подобные документы, которые должны положительно восприниматься избирателем. Плохо, когда в программные документы попадают заведомо нереальные цели и ключевые показатели. Тем более, что цели программ должны быть достижимыми, т.к. могут определять стратегию развития страны на ближайшую перспективу. Однако прогнозы приведенных выше показателей слабо обоснованы и во многом ошибочны, поэтому, исходя из этих ключевых показателей, стратегии развития также будут эфемерны. Совсем плохо, если указанные выше программные цели были просто продекларированы и выполнять их никто не собирался, исходя из принципа, что – «Через десять лет или султан умрет, или осел сдохнет».

Первый прогноз из документа «Украина для людей» самый простой. Здесь даже не надо прогнозировать, достаточно открыть ДРЧ-2013 на стр. 195, чтобы увидеть, что международные эксперты прогнозируют население Украины в 2030 году на уровне 35,5 млн. человек [1]. Можно спорить об этой цифре, но разница между 50,0 и 35,5 млн. человек говорит сама за себя. Если принять во внимание катастрофические для страны события 2013 –

2014 годов, которые в перспективе окажут крайне негативное влияние на демографические и миграционные процессы, то можно уже вполне говорить о цифре, не превышающей 30 млн. человек.

Вторая цель ставит планку достижения удельного ВВП (номинал) страны на уровне 43000 долларов США на душу населения. Это показатель Франции, которая в 2013 году занимала 20 место среди всех стран мира согласно рейтинга МВФ. Украина в этом же году была на 104 месте и имела удельный ВВП (номинал) в размере 3862 \$. Таким образом, Украине, чтобы попасть в двадцатку экономически развитых стран, надо увеличить ВВП в 11 раз, что совсем уж из области фантастики. В свою очередь, чтобы достичь показателя ВВП на душу населения по паритету покупательной способности (ППС) в 16000 \$, Украине необходимо за шесть лет переместиться с 104 места в мире (8651 \$) на 72 место (Барбадос, 16000 \$), а это тоже невозможно.

Что касается легкости ведения бизнеса, то сегодня по этому показателю (Doing Business) Украина находится на 96 месте из 189 тестируемых стран. Как стране, хотя бы к 2025 году, проскочить 75 – 85 пунктов, не подскажет никто. Более того, военные события только существенно ухудшат рейтинг страны.

В заключение этой краткой оценки отметим, что средняя продолжительность жизни является очень консервативным показателем. Развитые страны мира (Япония, Швейцария, Швеция) смогли обеспечить рост средней продолжительности жизни на три года в среднем за 15 лет. Этот показатель по данным Госкомстата Украины отличается от данных международных организаций почти на два года. В 2011 году оценки Госкомстата составляют для продолжительности жизни в Украине 71 год, а по данным ряда международных организаций около 69 лет. Повысить продолжительность жизни в Украине на три года за шесть лет можно только декларативно, но это никак не скажется на реальной жизни. В связи с постепенным обнищанием страны продолжительность жизни в Украине в ближайшие годы не будет расти.

Таким образом, следует отметить, что делать достоверные прогнозы мы не умеем. Повышение качества прогнозов при программно-целевом планировании развития стран – это сегодня одна из самых актуальных задач прогностики. Без качественных прогнозов невозможно сформулировать достижимые стратегические цели развития. В вопросах стратегического планирования нет смысла ориентироваться на желанные для политиков цели и высокую «управляемость» социально-

экономических систем. При прогнозировании следует придерживаться образа, что любая страна – это тот же «паровоз». Можно строить сценарии и модели его движения по автомагистралям, дорогам и тротуарам, а двигаться он будет только по рельсам, которые не всегда могут просматриваться даже в близкой перспективе, если нет достоверной информации. Поэтому любое аналитическое исследование должно начинаться с получения достоверных данных.

Существует принцип системного анализа, согласно которому сделать среднесрочный или долгосрочный прогноз развития системы «изнутри» очень сложно, скорее всего, и невозможно; прогнозирование следует вести «извне», основываясь на данных для всего класса объектов, который в нашем случае называется «страны мира». Именно, исходя из этого принципа, и будем формировать методику объективной оценки развития стран мира.

Пример комплексной оценки развития стран

В первой части данной работы [2] авторами был предложен объективный метод оценки развития стран мира. Особенностью применения метода является необходимость использования показателей, которые общепризнаны научным сообществом и в обязательном порядке имеют количественное измерение. При этом высказана идея, что для всесторонней характеристики какого-либо общественного явления, объекта или процесса необходимо применять показатели, которые дают количественную характеристику явления в единстве с его качественной определенностью. С этой целью предлагалось использовать многокомпонентные функции в виде вероятностных распределений [3], которые определяют состояние системы не только по факту наблюдаемых показателей развития стран, но и по факту наблюдения характерных событий. Каждому компоненту такой функции соответствуют распределения вероятностей некоторых событий, которые качественно характеризуют развитие системы. Это могут быть как отдельные характерные события, так и разные сочетания нескольких таких событий, представляющих собой одно сложное событие, например, совместное событие наблюдения трех или четырех показателей развития стран.

Подобные распределения отражают в совокупности качественные и количественные характеристики системы на фоне множества параметров свойств системы. При этом считается, что параметры свойств системы наблюдаемы, подвержены медленным изменениям и формируются под действием внешних условий в конкретный момент

времени. При формировании баз статистических данных, отражающих развитие стран мира, данные условия выполняются. Однако, так как данных обычно достаточно много, применить такой метод оценки развития стран можно только в комплексе с вычислительными алгоритмами для определения вероятностей состояния системы и апробированными статистическими методами. Как результат мы приходим к необходимости разработки методов феноменологического анализа, которые бы учитывали вероятностные закономерности распределения индикативных данных, отражающих состояние и развитие изучаемых систем. Применение подобных подходов в науках о природе и обществе имеет большое значение, так как позволяет предложить объективные методы исследования систем n -мерной размерности, к которым относятся все общественные, экономические, экологические и глобальные системы.

Использование метода, предложенного в статье [2], проиллюстрируем на примере разработки методики оценки человеческого развития, альтернативной методике расчета индекса человеческого развития Программы развития ООН [4 – 6].

В 2010 году методика ПРООН для расчета индекса человеческого развития была изменена [5]. Во-первых, изменены основные расчетные зависимости, которые построены экспертным путем. Во-вторых, в качестве атрибутивных переменных для расчета индекса стали использоваться следующие показатели: средняя продолжительность обучения (ρ_1), лет; ожидаемая продолжительность обучения (ρ_2), лет; валовый национальный доход (ВНД) на душу населения в пересчете по паритету покупательной способности (ППС) в долларах США (ρ_3); ожидаемая продолжительность жизни (ρ_4), лет. Будем также считать данные величины атрибутивными переменными. Для решения задачи воспользуемся базами данных Докладов развития человека ПРООН за 2010 и 2014 годы [5, 6], которые охватывают данные по странам мира с 2008 по 2013 годы.

На основе атрибутивных переменных $\rho_1, \rho_2, \rho_3, \rho_4$ сформируем четырехмерное пространство координат $\{\rho_1, \rho_2, \rho_3, \rho_4\}$, в котором возможные состояния системы теоретически образуют некоторую область Ω_4 , охватывающую все наблюдаемые точки баз данных. Область Ω_4 определена минимально и максимально наблюдаемыми значениями показателей $\rho_1, \rho_2, \rho_3, \rho_4$, которые входят в базы данных [5, 6]. В этом случае состояние каждой страны в четырехмерном пространстве может быть представлено многомерной точкой

$M(\rho_1, \rho_2, \rho_3, \rho_4)$, а процессы изменения состояния стран – многомерными линиями. Предположим непрерывность области Ω_4 . Это означает, что в пространстве состояний Ω_4 существует бесконечное множество состояний для некоторой генеральной совокупности объектов и точки состояний $M(\rho_1, \rho_2, \rho_3, \rho_4)$ непрерывно заполняют это пространство. Будем также считать, что опытные точки из баз данных являются ограниченной выборкой наблюдений из данной генеральной совокупности.

Рассмотрим сложное совместное событие одновременного наблюдения указанных выше четырех показателей и определим, что состояние каждой страны мира будет определяться данным наблюдаемым событием. Найдем статистическую вероятность этого события на основе данных, которые имеются в базах данных ПРООН [5, 6], с использованием алгоритмов перебора, группировки и подсчета частот благоприятных событий [3, стр. 185]. Назовем данную статистическую вероятность вероятностью состояния изучаемой системы. Статистические вероятности для совместного события наблюдения четырех показателей находились в четырехмерном пространстве согласно следующей зависимости:

$$w_\lambda = P(\rho_1 < \rho_{1p}, \dots, \rho_4 < \rho_{4g}) = \frac{I_\lambda}{N}, \quad (1)$$

где I_λ – число всех опытных точек, для которых совместно выполняется приведенное в формуле (1) неравенство ($\rho_1 < \rho_{1p}, \dots, \rho_4 < \rho_{4g}$) и которые находятся в четырехмерном параллелепипеде, представляющем собой некоторую λ -область группирования; p, \dots, g – текущие номера интервалов группирования для атрибутивных величин; N – общее число точек (опытных данных в выборке).

Алгоритмы подсчета частот благоприятных событий [2, 3] дают возможность найти значение вероятности состояния системы, исходя из имеющегося массива опытных данных. Статистическая вероятность w подсчитывается во всей группе объектов (169 стран мира).

Для того, чтобы разработать систему оценки развития стран мира необходимо иметь возможность определять положение каждой страны в пространстве состояний $\{\rho_1, \rho_2, \rho_3, \rho_4\}$ относительно всех остальных стран. Аналогичным образом в пространстве $\{\rho_1, \rho_2, \rho_3, \rho_4\}$ следует иметь возможность оценки процессов развития каждой страны относительно процессов развития остальных стран. Другими словами, мы должны уметь взаимно «измерять» как состояния объектов, так

и процессы, осуществляемые этими объектами. С этой целью можно использовать широко распространенный в естественных науках принцип соответственных состояний.

В физике и химии данный принцип является обобщением эмпирического положения, что для объектов одного класса многие свойства тесно связаны с некоторыми характерными (опорными) свойствами для всех объектов приблизительно одинаково. При реализации этого принципа в процессе построения моделей параметры состояний некоторых объектов выбираются в качестве опорных и все остальные свойства объектов соотносятся с этой точкой в изучаемом пространстве свойств.

Для поиска нелинейных связей между переменными воспользуемся методом пробит-анализа. Свяжем полученную вероятность w с распределениями атрибутивных переменных в массиве опытных данных, в результате чего будем иметь следующую регрессионную зависимость вероятности от энтропии состояния системы:

$$\text{Pr ob} = -3,6717 + s; \quad w = \frac{1}{\sqrt{2 \cdot \pi}} \int_{-\infty}^{\text{Pr ob}} \exp\left(-\frac{t^2}{2}\right) dt;$$

$$s = 0,6525 \cdot \ln\left(\frac{\rho_1}{\rho_{10}}\right) + 0,9291 \cdot \ln\left(\frac{\rho_2}{\rho_{20}}\right) + \dots$$

$$\dots + 0,0245 \cdot \ln\left(\frac{\rho_3}{\rho_{30}}\right) + 2,2575 \cdot \ln\left(\frac{\rho_4}{\rho_{40}}\right). \quad (2)$$

Коэффициент корреляции зависимости (2) составил 0,90, результаты обработки данных приведены на рисунке 1. Атрибутивные переменные относились к значениям $\rho_{10}, \rho_{20}, \rho_{30}, \rho_{40}$, которые соответствуют выбранному опорному состоянию. В качестве опорного состояния были приняты показатели развития страны Нигер в 2008 году, как одной из самых слаборазвитых стран, которые, в частности, равны: $\rho_{10} = 1,4$ лет; $\rho_{20} = 4,3$ лет; $\rho_{30} = 675$ \$; $\rho_{40} = 52,5$ лет.

Методы нелинейной регрессии позволяют находить различные уравнения связи между вероятностью w и величинами $\rho_1, \rho_2, \rho_3, \rho_4$. Например, логарифмическое уравнение связи с коэффициентом корреляции 0,89 имеет вид:

$$s = 0,796 \cdot \ln W; \quad W = \frac{w}{0,000858};$$

$$s = 0,9751 \cdot \ln\left(\frac{\rho_1}{\rho_{10}}\right) + 1,4908 \cdot \ln\left(\frac{\rho_2}{\rho_{20}}\right) + \dots$$

$$\dots + 0,0196 \cdot \ln\left(\frac{\rho_3}{\rho_{30}}\right) + 3,3488 \cdot \ln\left(\frac{\rho_4}{\rho_{40}}\right). \quad (3)$$

Данное уравнение является аналогом уравнения Больцмана в физике $s = k \cdot \ln W$ применительно к изучаемой задаче. Однако, при обработке данных зависимость (3) имеет существенно большую среднеквадратичную ошибку аппроксимации, нежели зависимость (2), несмотря на почти одинаковые коэффициенты корреляции.

Алгоритм подсчета вероятности состояния системы для области Ω_4 является однозначным, поэтому всегда существует функциональная зависимость вероятности w от атрибутивных переменных, которая представляется в табличном виде.

Как видно из рисунка 1, путем преобразования координат нелинейную функциональную зависимость вероятности состояния системы от атрибутивных переменных можно представить с определенной степенью точности многомерной плоскостью. Это будет существенно упрощать процесс построения моделей.

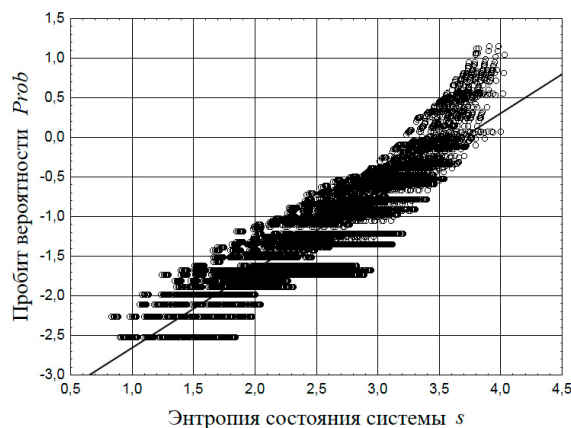


Рисунок 1. – Зависимость статистической вероятности состояния w от энтропии состояния системы s для распределения совместно наблюдаемых значений атрибутивных переменных $\rho_1, \rho_2, \rho_3, \rho_4$

Если обратить внимание на полученную зависимость (2), то можно видеть, что в многомерной области Ω_4 может быть построен комплексный индекс состояния системы $T = T(\rho_1, \rho_2, \rho_3, \rho_4)$, который может стать основой шкалы для сравнения стран мира:

$$T = a \cdot \left(\frac{\rho_1}{\rho_{10}}\right)^{0,653} \left(\frac{\rho_2}{\rho_{20}}\right)^{0,929} \left(\frac{\rho_3}{\rho_{30}}\right)^{0,025} \left(\frac{\rho_4}{\rho_{40}}\right)^{2,258}, \quad (4)$$

где a – постоянная шкалирования, которая пока принимается равной единице. Данная постоянная дает возможность стандартизировать единицу измерения для величины T . Однако, пока на этом останавливаться не будем.

Значения индекса T в области Ω_4 образуют скалярное поле, с которым может

быть связана некоторая система комплексной оценки состояния каждого объекта. Также видно, что параметры состояния каждого объекта соотносятся с параметрами опорного объекта, в данном случае, страны Нигер, исходя из уровня его развития в 2008 году. Таким образом, использование уравнения (4) позволяет построить систему оценки состояний объектов, своего рода некоторый аналог «температуры» применительно к странам мира, а также осуществить поиск различных уравнений состояния применительно к странам мира. Также задание скалярного поля величины T дает возможность получить определенную среду моделирования для решения задач анализа стран мира.

В свою очередь, для построения системы оценки интенсивности процессов развития стран воспользуемся возможностью численного определения вероятности состояния объектов. С этой целью сделаем предположение, что в области Ω_4 процессы развития стран мира с течением времени описываются многомерными непрерывными кривыми, соединяющими между собой различные состояния. Естественно, что процессы развития некоторой страны, которые могут осуществляться между наблюдаемым состоянием M и любым другим возможным состоянием в области Ω_4 , будут отличаться между собой по интенсивности взаимодействия объекта с глобальным социальным, экономическим, биосферным, информационным и другим окружением, т.е. с глобальной окружающей средой. Будем комплексно характеризовать взаимодействие объекта с окружающей средой при осуществлении процессов его развития с помощью оценки изменения вероятности состояния этого объекта при переходе из состояния 1 в состояние 2. Для этого мы должны иметь возможность оценивать вероятность состояния объекта в группе всех наблюдаемых объектов, причем данная вероятность должна быть функционально связана с некоторой ограниченной областью, куда попадает каждая страна в пространстве состояний Ω_4 , а также характеризовать изменение состояния объекта в процессе его развития. Для этой цели можно воспользоваться понятиями геометрической или статистической вероятности применительно к каждой опытной точке. В первом случае вероятность равна отношению объема k -того четырехмерного параллелепипеда, для которого значения опытных данных $\rho_1, \rho_2, \rho_3, \rho_4$ формируют грани параллелепипеда, к общему объему всего пространства Ω_4 , представленного также в виде четырехмерного параллелепипеда. Здесь k – номер произвольно выбранного наблюдаемого объекта. Во втором случае вероятность равна

отношению количества опытных точек, которые попадают в k -тый четырехмерный параллелепипед, к общему числу всех наблюдаемых точек. В данном случае для оценки вероятностей состояния объектов использовался второй способ. Соответствующий скрипт для определения вероятности состояния системы приведен в статье [2].

Возможность оценки интенсивности процессов через изменение вероятности состояний и использование шкалы для сравнения состояний объектов на основе уравнения (4), позволяет установить феноменологические константы, которые характеризуют процессы развития для каждой страны мира. Также как и в работах [2, 3], постулируя для любого процесса развития страны l существование связи вида $dw = c_l \cdot dT$ между величинами w и T , можно найти величины c_l . В работе [3] величина c_l определена как темпоральность процессов, которая характеризует особенности процессов развития, порожденные динамикой их движения. Для процессов развития стран в период с 2008 по 2013 годы результаты оценки представлены на рисунке 2 и в таблице 1.

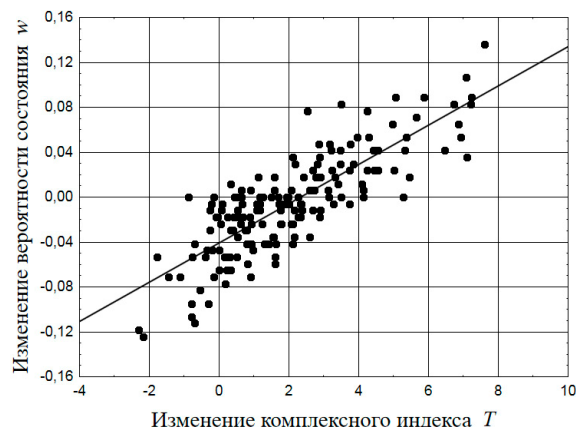


Рисунок 2. – Зависимость изменения вероятности состояния Δw от изменения комплексного индекса ΔT для 169 стран мира в период с 2008 по 2013 годы

Регрессионная зависимость для величин Δw и ΔT на интервале времени $\Delta \tau = 5$ лет имеет вид:

$$\Delta w = -0,0423 + 0,0183 \cdot \Delta T. \quad (5)$$

Коэффициент корреляции зависимости (5) составил 0,82.

В области Ω_4 зависимость изменения вероятности состояния Δw от изменения комплексного индекса ΔT можно определить для любого процесса развития. Например, найдем зависимость, связывающую эти величины $\Delta w = f(\Delta T)$ для гипотетического процесса l_{08-13} , характеризующего переход

Украины из состояния, которое наблюдалось в 2008 году, к состоянию, в котором в 2013 году находилась каждая k -тая страна. Естественно, что время перехода в новое состояние в каждом конкретном случае будет свое. Результаты представлены на рисунке 3, а соответствующая зависимость с коэффициентом корреляции 0,99 имеет вид:

$$\Delta w = 0,0322 + 0,0194 \cdot \Delta T. \quad (6)$$

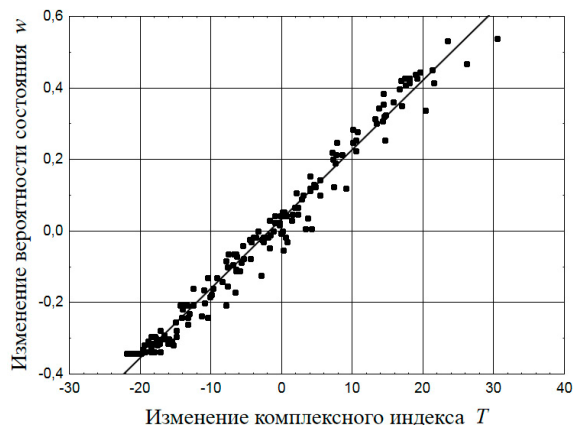


Рисунок 3. – Зависимость величины $\Delta w = w - 0,3491$ от изменения комплексного индекса $\Delta T = T - 23,52$; в 2013 году для Украины $w_{ua} = 0,3491$ и $T_{ua} = 23,52$

Таким образом, для всех стран мира и для любых процессов могут быть определены уравнения вида $\Delta w = a + b \cdot \Delta T$, из которых находятся феноменологические постоянные a и b , характеризующие процессы развития стран. При обработке для различных стран мира аналогичных спектров по 169 процессам получено, что коэффициент b имеет постоянное значение для всех стран, а разброс значений коэффициента a относительно не велик. Это указывает на то, что для обработки данных можно использовать ранее приведенную простую зависимость $dw = c_l \cdot dT$, где величина c_l определяет характер и направление процесса.

При известных значениях величин Δw и ΔT уравнение взаимосвязи $dw = c_l \cdot dT$ для любой страны и для любого процесса ее развития $l_{08,13}$ может быть получено в виде:

$$\Delta w = c_{08,13} \cdot \Delta T. \quad (7)$$

Величины темпоральности процессов $c_{08,13}$ приведены в таблице 1. Данные величины определены для случаев перехода Украины и России из состояний, которые наблюдались в 2008 году, к состоянию, в котором в 2013 году находилась каждая k -тая страна. Из данных таблицы видно, что значения темпоральности процессов имеют не очень большой разброс.

Таблица 1. – Характеристики процессов развития стран по четырем атрибутивным показателям $\rho_1, \rho_2, \rho_3, \rho_4$

Страна	c_l	$c_{08,13}^{ua}$	$c_{08,13}^{ru}$
Норвегия	-0,0229	0,0227	0,0200
Швейцария	0,0126	0,0231	0,0198
США	-0,0025	0,0236	0,0200
Германия	0,0029	0,0227	0,0195
Канада	-0,0114	0,0238	0,0202
Сингапур	0,0150	0,0224	0,0183
Швеция	0,0001	0,0248	0,0208
Англия	0,0179	0,0245	0,0206
Гонконг	0,0047	0,0216	0,0178
Япония	-0,0443	0,0206	0,0175
Франция	-0,0134	0,0228	0,0190
Чехия	0,0085	0,0268	0,0218
Греция	-0,3033	0,0238	0,0192
Катар	0,0123	0,0288	0,0174
Эстония	-0,0025	0,0214	0,0168
Польша	0,0052	0,0281	0,0212
Литва	0,0000	0,0129	0,0107
Словакия	-0,0677	0,0318	0,0223
Венгрия	-0,0894	0,0277	0,0193
Латвия	-0,0330	0,0183	0,0128
Беларусь	0,0033	0,0096	0,0078
Румыния	0,1380	0,0332	0,0169
Россия	0,0052	0,0542	0,0052
Болгария	-0,0164	0,0309	0,0157
Турция	0,0115	-0,0443	0,0190
Казахстан	0,0158	0,0285	-0,0059
Азербайджан	0,1366	0,0116	0,0000
Бразилия	-0,0136	0,0074	0,0058
Грузия	0,0019	0,0018	0,0044
Украина	-0,0371	-0,0371	0,0000
Армения	-0,0102	0,0001	0,0062
Китай	0,0035	0,0000	0,0225
Египет	0,0023	0,0086	0,0123
Молдова	-4,6983	0,0190	0,0668
Узбекистан	-0,2855	0,0174	0,0458
Индия	-0,0067	0,0149	0,0192
Нигерия	-0,0109	0,0172	0,0209
Эфиопия	-0,0030	0,0175	0,0210
Нигер	0,0000	0,0157	0,0182

Здесь c_l – темпоральность процессов развития стран в период с 2008 по 2013 годы; $c_{08,13}^{ua}$, $c_{08,13}^{ru}$ – темпоральности перехода Украины и России из состояния 2008 года, к состоянию, в котором в 2013 году находилась каждая k -тая страна.

Выполненные исследования позволяют устанавливать связи распределений вероятности для совместных событий одновременного наблюдения четырех атрибутивных показателей с распределениями вероятностей других событий. На рисунках 4 и 5 показаны зависимости вероятности состояния системы w с вероятностями событий, связанных с младенческой смертностью и количеством интернет-пользователей в различных странах мира.

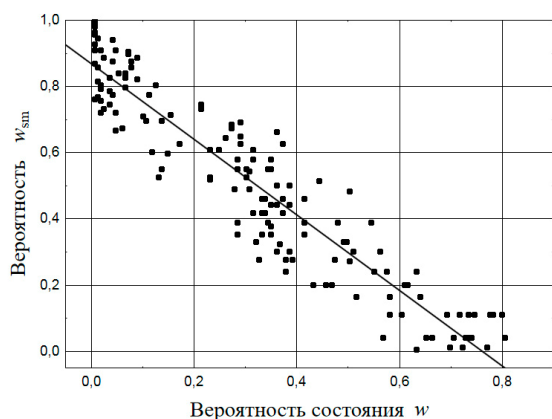


Рисунок 4. – Зависимость вероятности событий w_{sm} , связанных с младенческой смертностью в странах мира, от вероятности состояния системы w

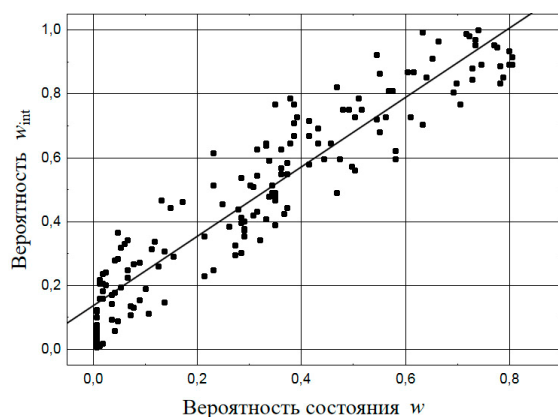


Рисунок 5. – Зависимость вероятности событий w_{int} , связанных с количеством интернет-пользователей в странах мира, от вероятности состояния системы w

Систематизация и классификация распределений и установление вероятностных закономерностей между ними может представлять собой целый раздел науки, связанной с таксономией событий. Причем подобная классификация должна строиться не только на ограниченном перечне модельных распределений, как это принято сейчас в теории вероятности, но и на системных особенностях и причинно-следственных закономерностях для множества эмпирических распределений событий различных классов.

Оценка статуса стран мира в период 2008 – 2013 годов

Полученные результаты позволяют предложить объективный метод оценки развития стран мира и построить систему прогнозирования их показателей. В целом суть метода основывается на гипотезе существования комплексного индекса $T = T(\rho_1, \rho_2, \rho_3, \rho_4)$ и связи скалярного поля этого индекса с распределением статистической вероятности состояния системы. При справедливости этой гипотезы в пространстве наблюдаемых состояний системы Ω_4 можно построить криволинейные координаты, которые определяют некоторое поле направлений, отражающее среднестатистические тенденции в развитии всего класса объектов. Все это позволяет предложить методику оценки человеческого развития, как альтернативу известной методике ПРООН. Особенностью предлагаемой методики является использование объективного подхода и отсутствие применения экспертных зависимостей для оценки. Данный подход позволяет ввести в пространстве $\{\rho_1, \rho_2, \rho_3, \rho_4\}$ функции состояния – энтропию s и потенциал P . Данные величины могут быть приняты в качестве критериев для комплексной оценки состояния системы в многомерном пространстве, причем изменение данных функций зависит только от начального и конечного состояния объекта и не зависит от пути перехода между этими состояниями.

Для рассматриваемого случая энтропия s определяется выражением (2), а потенциал P имеет вид [2, 3]:

$$P = \frac{\xi_1^2 - 1}{c_1} + \frac{\xi_2^2 - 1}{c_2} + \frac{\xi_3^2 - 1}{c_3} + \frac{\xi_4^2 - 1}{c_4}, \quad (8)$$

где $\xi_i = \rho_i / \rho_{i0}$, $c_1 = 0,6525$, $c_2 = 0,9291$, $c_3 = 0,0245$, $c_4 = 2,2575$, а значение потенциала P равно нулю для опорного состояния.

Функции состояния определяют многомерные криволинейные координаты в пространстве $\{\rho_1, \rho_2, \rho_3, \rho_4\}$, при этом каждая страна в процессе своего развития будет занимать некоторое положение относительно этих координат. Это позволяет объективно определить ранг страны в иерархическом множестве других стран. Энтропия будет определять направление процесса развития страны в поле направлений развития системы в целом, потенциал – принадлежность точки некоторой поверхности уровня, ортогональной линиям энтропии, при условии определенной вероятности состояния системы (постоянной энтропии). Потенциал является наиболее удобной величиной для определения ранга страны при ее развитии.

На основе полученных данных, исходя из вероятностной оценки сложных совместных событий, связанных с наблюдением показателей $\rho_1, \rho_2, \rho_3, \rho_4$, были определены энтропия и потенциал развития для каждой страны мира. Результаты ранжирования стран мира для данного случая приведены в таблице 2.

К первым десяти странам, имеющим самый высокий уровень развития в 2013 году, относятся: Катар, Лихтенштейн, Кувейт, Сингапур, Бруней, Норвегия, Люксембург, ОАЭ, Швейцария и Гонконг. Видно, что из Большой двадцатки стран мира (G20) в списке нет ни одной страны, а из ЕС – только Люксембург. По темпам развития в 2008 – 2013 годах к десятке быстро развивающихся стран относятся: Катар, Кувейт, Сингапур, Бруней, Саудовская Аравия, Швейцария, Лихтенштейн, Люксембург, Гонконг и Исландия.

К десяти странам, имеющим самый низкий уровень развития, относятся Эфиопия, Того, Гвинея, Гвинея-Бисау, Мозамбик, Нигер, Либерия, Малави, Бурунди и ЦАР. Все эти страны находятся в Африке. По темпам развития в 2008 – 2013 годах самыми отстающими странами были: Уганда, Нигер, ЦАР, Малави, Соломоновы острова, Англия, Экваториальная Гвинея, Греция, Багамские Острова и Барбадос.

Видно, что в списке присутствуют Англия и Греция, входящие в группу стран ЕС. Англия и Греция – это две единственные европейские страны, у которых в 2008 – 2013 годах произошло снижение удельного ВВП.

Украина в рейтинге по уровню развития в 2013 году занимала 97 место, в свою очередь: Россия – 44, Казахстан – 53, Белоруссия – 62 место. По темпам развития в 2008 – 2013 годах Украина находилась на 95 месте, Россия на 24, Казахстан на 25, а Белоруссия на 52 месте. За этот период Украина в темпах развития отставала от России и Казахстана, а также стран бывшего СССР. Более низкие темпы, чем у Украины наблюдались в Грузии, Узбекистане, Молдове, Кыргызстане и Таджикистане.

Военные действия в Украине окажут крайне неблагоприятное влияние на рейтинг развития страны. Если в ближайшем будущем ВВП страны снизится на 15 – 20 процентов, на что указывает ряд экспертов, то страна по уровню развития в рейтинге стран опустится на 8 – 10 пунктов и попадет в группу стран, куда входят Грузия, Марокко и Гватемала.

Рейтинги стран мира по уровню развития ($R_{оон}$), определенные по методике расчета индекса человеческого развития ПРООН, существенно отличаются от аналогичного рейтинга (R), рассчитанного по данной методике. Результаты сравнения даны на рисунке 6.

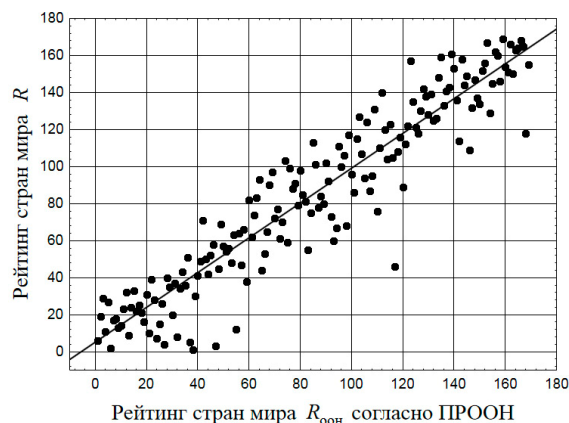


Рисунок 6. – Сравнение рейтингов стран мира по уровню развития по различным методикам оценки

Для большинства развитых стран методика ПРООН дает завышенные рейтинги уровня развития, а для многих развивающихся стран – заниженные рейтинги. Среди стран, которые по потенциалу развития P попали в первую десятку, только Сингапур, Норвегия и Швейцария имеются в рейтинге Топ-10 Программы развития ООН.

Выводы

Данная методика оценки развития стран может быть применена к любой совокупности исходных показателей, однако с увеличением числа показателей свыше 5 – 7, резко возрастает трудоемкость и время расчетов, а также возникают проблемы с линейным преобразованием координат и получением в многомерном пространстве функций вида (2).

Если разработать методы определения величин c_k , исходя не из среднестатистических тенденций развития системы, а непосредственно для каждой страны мира, то вполне возможно создать точную теорию прогнозирования развития стран. Данная задача определяет важное направление исследований в глобалистике.

В целом трудоемкость метода определяется необходимостью построения множества моделей для оценки вероятностей самых разных событий. Если база данных ПРООН содержит несколько десятков показателей, требующих анализа, то база данных Всемирного банка – это уже более тысячи показателей почти для 200 стран мира. Исходя из этого, видна явная необходимость автоматизации процесса вычислений.

Крайне важным фактором является также выбор наиболее обоснованных атрибутивных переменных, которые адекватно отражают состояние и развитие стран мира. Перечень атрибутивных показателей, предложенных Программой развития ООН, не является оптимальным и не отражает всей сложности проблемы анализа данных.

Таблица 2. – Значения потенциала (P), его изменение (ΔP) и рейтинги стран в процессах развития стран мира в 2008 – 2013 годах

Страны мира	Потенциал страны P (2013 г.)	Изменение потенциала ΔP (2008 – 2013 гг.)	Ранги стран согласно предложенной методики		Ранги стран по ИЧР согласно методике ПРООН (2013 г.)
			уровень развития (2013 г.)	темпы развития (2008–2013 гг.)	
Норвегия	365995	56065	6	11	1
Швейцария	259015	116708	9	6	3
США	245219	46445	11	13	5
Германия	166119	54351	14	12	6
Канада	157264	23242	18	26	8
Сингапур	469250	255069	4	3	9
Швеция	167274	44982	13	15	12
Исландия	110534	63424	25	10	13
Англия	109843	-485,4	26	165	14
Гонконг	245864	63685	10	9	15
Япония	121041	13151	23	41	17
Франция	120260	14557	24	38	20
Италия	95662	17025	28	33	26
Чехия	54018	7856	40	59	28
Греция	54522	-13679	39	167	29
Катар	1269241	704098	1	1	31
Эстония	49085	22596	43	27	33
Польша	41441	12999	49	43	35
Литва	50583	30832	42	18	35
Словакия	57580	15484	37	36	37
Венгрия	40482	13057	51	42	43
Латвия	44168	29103	45	20	48
Беларусь	24179	9174	62	52	53
Румыния	27282	12446	57	45	54
Россия	45899	25014	44	24	57
Болгария	21306	10146	66	50	58
Турция	30315	14329	55	39	69
Казахстан	33911	24475	53	25	70
Азербайджан	22215	15313	65	37	76
Бразилия	18266	8178	70	56	79
Грузия	4334	2101	103	99	79
Украина	6115	2220	97	95	83
Армения	5723	2961	99	90	87
Китай	11812	7084	80	62	91
Египет	9688	6584	86	63	110
Молдова	2317	1389	117	105	114
Узбекистан	2490	1595	115	104	116
Индия	2356	1380	116	106	135
Пакистан	1917	1295	121	109	146
Нигерия	2551	2153	114	98	152
Эфиопия	118,0	67,0	160	151	173
Нигер	28,6	28,2	165	161	187

Таким образом, базы данных показателей в комплексе с методами комплексной оценки и численными алгоритмами определения вероятностей событий позволяют установить закономерности развития стран мира. Все это говорит о возможности создания феноменологической теории развития стран по логике построения аналогичной той, которая применяется сегодня в термодинамике.

Литература

1. Доклад о человеческом развитии 2013. «Возвышение Юга: человеческий прогресс в многообразном мире» / Пер. с англ.; ПРООН. – М.: Весь Мир, 2013. – 216 с. – Электр. рес. URL: http://hdr.undp.org/sites/default/files/hdr_2013_ru.pdf (20.12.2013).
2. Аверин Г.В., Звягинцева А.В. Стратегическая оценка статуса Украины в современном мире по данным международных организаций. Часть 1: Теория и методика оценки // Труды ДонНТУ: Системный анализ и информационные технологии в науках о природе и обществе. – 2012. – № 1 (2) – 2(3). – С. 75 – 92.
3. Аверин Г.В. Системодинамика. – Донецк: Донбасс, 2014. – 405 с. – Электр. рес. URL: <http://www.chronos.msu.ru/ru/news/item/sistemodinamika> (04.02.14).
4. Доклады о человеческом развитии (1990 – 2012 гг.). – Электр. рес. URL: <http://hdr.undp.org/en/reports/> (25.09.2013).
5. Доклад о человеческом развитии 2010. «Реальное богатство народов: пути к развитию человека» / Пер. с англ.; ПРООН. – М.: Весь Мир, 2010. – 228 с. – Электр. рес. URL: <http://hdr.undp.org/sites/default/files/hdr10-summary-ru.pdf> (15.02.2013).
6. Доклад о человеческом развитии 2014. «Обеспечение устойчивого прогресса человечества: уменьшение уязвимости и формирование жизнестойкости» / Пер. с англ.; ПРООН. – М.: Весь Мир, 2014. – 280 с. – Электр. рес. URL: <http://hdr.undp.org/sites/default/files/hdr14-summary-ru.pdf>.

Звягинцева Г.В., Аверин Г.В. “Стратегічна оцінка статусу України у сучасному світі за даними міжнародних організацій. Частина 2: Приклади аналізу та результати”. Показано, що пошук зв'язків і закономірностей у базі даних показників розвитку країн може здійснюватися не між показниками, які характеризують стан об'єктів (країн світу), а між ймовірністю спільних подій, пов'язаних з наглядом декількох показників розвитку країн. Запропоновано методіку оцінки людського розвитку, яка використовує об'єктивний підхід і заснована на визначенні статистичних ймовірностей сумісних подій, що характеризують стан об'єктів. Надано приклад комплексної оцінки розвитку країн на основі використання баз даних Програми розвитку ООН за 2008 і 2013 роки. Визначено статус України в сучасному світі в порівнянні з іншими країнами. Виконано оцінку рангів країн за рівнем і темпами розвитку. Ця методика є альтернативою відомій методиці розрахунку індексу людського розвитку ПРООН, яка відрізняється використанням суб'єктивних експертних методів.

Ключові слова: методи системної динаміки, оцінка розвитку країн, статус України в сучасному світі, ранги країн світу за рівнем та темпами розвитку

A.V. Zviagintseva, G.V. Averin “Strategic Assessment of the status of Ukraine in the modern world according to the data of international organizations. Part 2: Examples of analysis and results”. It is shown that the search for relationships and patterns in countries development database may be carried out not between the indicators of the state of objects (countries of the world), but between the probabilities of joint events related to the observation of several countries development indicators. The paper proposes the method for evaluation of human development, which uses an objective approach and is based on the definition of the statistical probability of joint events characterizing the state of the objects. We build a comprehensive to assess the state of objects and identify phenomenological quantities that characterize the relationship between changes in that index and changes in probabilities of states of the objects. We also give an example of a comprehensive assessment of the development of countries using UNDP databases for 2008 and 2013. The status of Ukraine in the modern world is determined in comparison with other countries. The estimation of rank levels and countries development rates are carried out. This technique can be an alternative to the well-known method of calculating the UNDP Human Development Index which, unlike the proposed method, uses subjective expert methods.

Keywords: methods of system dynamics, countries development assessment, status of Ukraine in the modern world, level and pace of development ranks of the world countries

Статья поступила в редакцию 20.02.2014

Рекомендована к публикации д-ром техн. наук Ф.В. Недопекиным

Один подход к интервальному решению систем линейных уравнений низкой размерности

Смирнов А.Н., Беловодский В.Н.

Донецкий национальный технический университет
city_17@inbox.ru, v.belovodskiy@gmail.com

Смирнов А.Н., Беловодский В.Н. «Один подход к интервальному решению систем линейных уравнений низкой размерности». В статье описан новый подход к реализации интервального решения системы двух линейных уравнений методом бисекции и проведен анализ возникающих при этом проблем. Дело в том, что простая интервальная оценка не даёт достаточной информации о наличии решений в исследуемом бруске. В связи с этим предложены дополнительные вычислительные процедуры для оценки взаимного расположения линий уравнений системы в бруске решений, которые позволяют полностью исключить наличие ошибочных заключений в итоговом результате. Выполнено тестирование и анализ реализации предложенного метода, на примере плохо обусловленной системы уравнений. Произведен сравнительный анализ временных затрат на выполнение предложенных процедур со стандартными методами решения. Отмечены основные направления их развития для возможного применения к линейным системам более высокой размерности, а также для нелинейных систем.

Ключевые слова: интервальный метод, система линейных уравнений, метод бисекций, прямая.

Введение

При решении систем нелинейных уравнений нередко возникает вопрос о нахождении всего множества их решений. В настоящее время это осуществляется или с использованием метода мультистарта [1], или методов гомотопии [2, 3], или интервальных подходов [4]. В первом случае множество решений устанавливается путем многократного решения системы уравнений при различных начальных условиях, которые обычно выбираются случайным или равномерным образом в R^n в зоне поиска. Во втором случае – на базе исходного уравнения $f(x) = 0$ формируется некоторая дополнительная функция $H(t, x)$ – гомотопия, зависящая от некоторого параметра $t \in [0; 1]$ и для которой уравнение $H(t, x) = 0$ при $t = 0$ имеет известное решение, а при $t = 1$ гомотопия совпадает с $f(x)$, т.е. $H(t, x) = f(x)$. Тогда, путем последовательного изменения параметра t от 0 до 1 и последующего решения уравнения $H(t, x) = 0$ определяются и корни исходного уравнения. Следует отметить, что получение надежного результата при переборе начальных условий требует достаточно большого их объема и, в конечном счете, полученный результат не имеет гарантированного характера, а при втором подходе успешное решение исходного уравнения определяется удачным выбором гомотопии и успех на этом пути определяется удачей и искусством исследователя. По сравнению с этим интервальный подход, который первоначально возник в связи с

установлением границ расположения решений уравнения или системы уравнений при неточных исходных данных, позволяет нередко получать гарантированные заключения о множестве решений системы и их расположении. Его идея заключается в том, что на базе исходного уравнения $f(x) = 0$ или системы уравнений формируются их интервальные расширения $f(x)$, оперирующие не с простыми переменными, а с интервалами, и интервальное значение такой функции, в идеальном случае, совпадает с областью значений самой функции $f(x)$, $x \in X$. Тогда, например, при использовании метода бисекции, который можно рассматривать как обобщение метода половинного деления на случай пространств размерности $n > 1$, путем последовательного деления области поиска пополам, проверки теста существования решения в каждой из полученных частей и удаления той из них, для которой результат теста отрицательный, постепенно формируются наборы «интервалов» заданного размера, содержащие решения рассматриваемой системы. Однако следует отметить, что одна из существенных проблем интервального подхода заключается в том, что в ряде случаев ответ о наличии решений может оказаться лишь предположительным, в результате чего формируется некоторый набор кубов заданного размера, предположительно содержащий искомые решения. Отчасти, данное обстоятельство обусловлено несовпадением областей значений функций, формирующих систему, с их интервальными оценками. Одним

из классов рациональных функций, для которых это соблюдается [5], являются линейные системы уравнений. Однако и здесь могут появиться свои особенности, связанные с плохой обусловленностью систем. Учитывая широту области их использования, а также, надеясь на обобщение разрабатываемых подходов в дальнейшем, ниже рассматриваются системы двух линейных уравнений и формулируются способы, полностью устраняющие неопределенность при их интервальном анализе. Предложенные вычислительные процедуры реализованы программно и иллюстрируются решением конкретных систем.

Описание проблемы, постановка задачи

Рассматриваемая система имеет вид:

$$\begin{cases} a_1x + b_1y = c_1 \\ a_2x + b_2y = c_2 \end{cases} \quad (1)$$

Концептуально, ее решение интервальным методом заключается в том, что изначально задается прямоугольник $[I_x, I_y]$, где $x \in I_x = [a, b]$, $y \in I_y = [c, d]$, называемый брусом, и осуществляется поиск ее решения в этом брусе. Для этого для уравнений системы (1) составляются их интервальные расширения [5]

$$\begin{cases} F_1(xi, yi) = a_1 \cdot xi + b_1 \cdot yi - c_1 \\ F_2(xi, yi) = a_2 \cdot xi + b_2 \cdot yi - c_2 \end{cases}, \quad (2)$$

в которых присутствующие арифметические операции уже являются интервальными, а аргументы – интервалами. Далее, для каждой из функций, входящих в систему (2), на брусе $[I_x, I_y]$ определяются их интервальные оценки F_1, F_2 . Если обе из них содержат ноль, то решение системы на брусе $[I_x, I_y]$, возможно, есть. Если же хотя бы одна из интервальных оценок не содержит ноль, то решения в этом брусе или его потомке нет, и он исключается из дальнейшего рассмотрения. В соответствии с методом бисекций, брусок, который предположительно содержит решение, делится по одной из размерностей на две равные части, – два подбруса. Для каждого из этих двух подбрусов повторяются указанные выше действия, которые продолжают до тех пор, пока размер очередного поколения подбрусов не уменьшится до заданной величины 2Δ . Тогда в качестве ответов, имеющих погрешность Δ , принимаются центры полученных брусов.

Без изменений этот метод даёт гарантированно верное решение только для линейной системы с одной неизвестной. В

случае системы более высокой размерности можно столкнуться с проблемой появления «лишних» интервалов в их окончательном наборе. Может оказаться, что интервальная оценка некоторого подбруса содержит ноль, но при этом система точного решения в нем не имеет. Дело здесь в том, что интервальная оценка функции, вообще говоря, не совпадает с ее множеством значений [6]. В простых системах ошибочных решений может быть несколько, а в более сложных системах – сотни.

Проиллюстрируем появление таких решений на примере следующей системы

$$\begin{cases} 0.5x + y = 1 \\ x + 0.5y = 1 \end{cases} \quad (3)$$

интервальное решение которой будем искать в брусе $X = [-5, 5]$, $Y = [-5, 5]$ и возьмем значение $2\Delta = 0.01$. Отметим, что точное решение данной системы равно $x = 2/3$, $y = 2/3$, ее собственные значения равны $\text{eig}(A) = (-0.5; 1.0)$, а коэффициент Тогда [7], характеризующий степень обусловленности системы, равен 2. Каждое из уравнений системы описывает некоторую прямую на плоскости, а точка их пересечения является решением системы. Данное обстоятельство позволяет визуально представить процесс решения.

Система (3) имеет единственное решение и, решая её методом бисекций, брусок, не содержащий пересечения прямых, должен быть отброшен при дальнейших вычислениях. Ответом должен послужить брусок со стороны, равной 2Δ и для линейной системы он должен быть только один. Однако в силу вышеизложенной проблемы результат является несколько иным. На рисунке 1 показан результат решения системы (3) методом бисекций. Закрашенные участки в центре определены как, предположительно, содержащие решение. Но из рисунка видно, что из трёх закрашенных областей, пересечение содержится только в одной из них.

При более детальном анализе процесса решения становится ясно, что если обе прямые пересекают рассматриваемый брусок, то интервальная оценка функций, формирующих систему уравнений, содержит ноль, даже если сами прямые не пересекаются.

Таким образом, применив данный метод к системе (3) получаем три интервальных решения, два из которых являются ошибочными, а третье, – действительно содержит решение системы.

Рассмотрим теперь почти вырожденную плохо обусловленную систему

$$\begin{cases} 0.780x + 0.563y = 0.217 \\ 0.913x + 0.659y = 0.254 \end{cases} \quad (4)$$

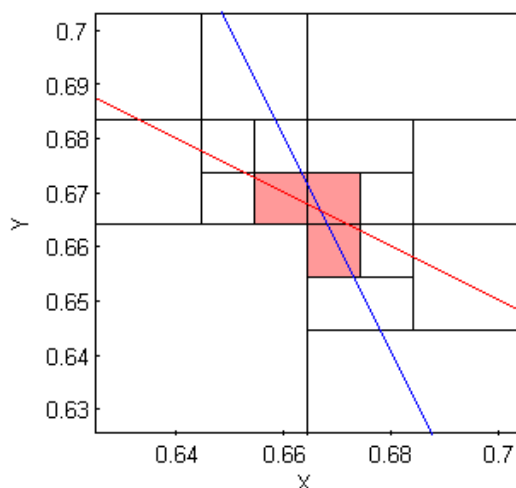


Рисунок 1. – Визуализация решения системы (1) методом бисекций

решение которой равно (1,-1). Ее определитель $\det(A) = 1.0000e-006$, собственные значения $\text{eig}(A) = (1.4389993; 0.0000007)$, а коэффициент Тодда, соответственно, равен $2.0557e+006$. Малость определителя матрицы влечет практическую пропорциональность элементов ее строк. А это, в свою очередь, означает, что прямые, описываемые каждым из уравнений системы, практически параллельны.

Визуализация решения системы (4) методом бисекций представлена на рисунке 2.

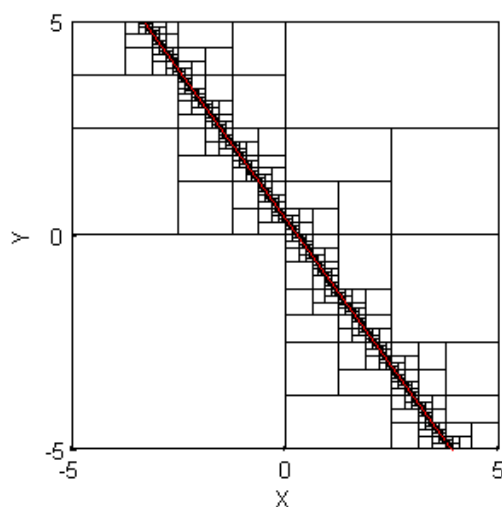


Рисунок 2. – Визуализация решения системы (4)

Угол между линиями мал (0.0025 рад.) и поэтому визуально они совпадают. Интервальное решение системы (4) методом бисекций при прежних параметрах $2\Delta, X, Y$ даёт 1764 интервальных решения, из которых только одно является верным. Вместе с тем, если модифицировать критерии проверки и последующего отбора получаемых частей, то удастся полностью исключить неопределенность в окончательном решении. Перейдем к изложению предложенных процедур.

Методология решения проблемы

Очевидный недостаток первоначальной процедуры заключается в том, что она не учитывает взаимного расположения линий функций в исследуемом бруске, т.е. проводимый тест не осуществляет проверки пересечения линий в данном бруске, а это и приводит к появлению ошибочных решений. Поэтому для получения исчерпывающего ответа необходимо выполнять дополнительные процедуры, связанные с анализом взаимного расположения линий системы. И это может быть сделано путём анализа точек пересечения прямых с граничными линиями бруса.

Каждый брусок представляет собой прямоугольник того или иного размера и число вариантов расположения в нем прямых достаточно объемно. Определить границу (верхняя, нижняя, правая, левая) бруса, которую пересекает линия системы, можно интервальным методом, получив интервальную оценку одномерного бруса для каждой из сторон исходного.

Можно предложить следующую классификацию взаимного расположения прямых. Общее число таких вариантов равно 21 с учетом того, что перестановка линий значения не имеет (рис. 3). Эти варианты можно разделить на три группы в зависимости от особенностей их анализа. Первая группа (рис. 3, а) не требует дополнительных проверок, так как при таком расположении можно однозначно утверждать пересекаются линии или нет и в ней всего три варианта. Вторая группа требует дополнительной проверки относительного расположения точек пересечения линий с одной из границ (рис. 3, б). В этой группе содержится 12 вариантов. Третья группа также требует проверки, но на двух границах бруса (рис. 3, в) и содержит шесть вариантов расположения.

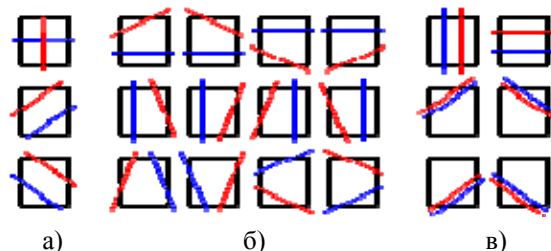


Рисунок 3. – Возможные варианты взаимного расположения прямых в плоском бруске

Проверка относительного расположения двух точек выполняется интервальным методом. При этом интервал, в котором расположена каждая из двух точек, находится с точностью, достаточной для того, чтобы можно было судить об их взаимном расположении. Например, как показано на рисунке 4, если точка m_1 расположена выше m_2 , то линии пересекаются, если ниже, то нет.

Указанную проверку логично производить в следующем порядке:

- определить номера границ, которые пересекает линия графика;
- определить группу относительного расположения;
- сравнить более детально точки, лежащие на одной стороне границы;
- сделать вывод о наличии пересечения.

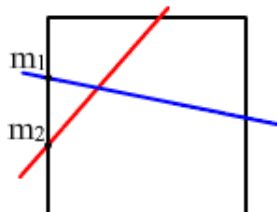


Рисунок 4. – Критерий пересечения прямых: точка m1 расположена выше точки m2

Изначально мы не знаем, как расположены прямые. Интервальная оценка даёт лишь информацию о присутствии прямых в бруске. А последующий анализ обеспечивает нахождение точек пересечения прямых с границами бруса, что позволяет установить и наличие в бруске их точки пересечения. Таким образом, применив изложенную проверку при решении системы, мы сможем отсеять сомнительные случаи и получить одно решение за исключением особых ситуаций, о которых пойдёт речь ниже.

Результаты экспериментов

В данной программной реализации операции умножения и деления интервальной арифметики выполнены классическим образом, а именно:

$$a \cdot b = [\min(\underline{a} \cdot \underline{b}, \underline{a} \cdot \bar{b}, \bar{a} \cdot \underline{b}, \bar{a} \cdot \bar{b}), \max(\underline{a} \cdot \underline{b}, \underline{a} \cdot \bar{b}, \bar{a} \cdot \underline{b}, \bar{a} \cdot \bar{b})]'$$

$$a / b = [\min(\underline{a} / \underline{b}, \underline{a} / \bar{b}, \bar{a} / \underline{b}, \bar{a} / \bar{b}), \max(\underline{a} / \underline{b}, \underline{a} / \bar{b}, \bar{a} / \underline{b}, \bar{a} / \bar{b})]'$$

в то время как сложение и вычитание выполнялись так:

$$a + b = [\min(\underline{a} + \underline{b}, \underline{a} + \bar{b}, \bar{a} + \underline{b}, \bar{a} + \bar{b}), \max(\underline{a} + \underline{b}, \underline{a} + \bar{b}, \bar{a} + \underline{b}, \bar{a} + \bar{b})]'$$

$$a - b = [\min(\underline{a} - \underline{b}, \underline{a} - \bar{b}, \bar{a} - \underline{b}, \bar{a} - \bar{b}), \max(\underline{a} - \underline{b}, \underline{a} - \bar{b}, \bar{a} - \underline{b}, \bar{a} - \bar{b})]'$$

Такой вариант требует больших вычислительных затрат, но является более удобным с точки зрения программирования.

Метод бисекций реализован стандартным образом, т.е. брусок делится на две равные части по каждой размерности по очереди до тех пор, пока каждая из его сторон не станет меньше

заданной малой величины. Тогда середина полученного бруса, т.е. точка пересечения его диагоналей, и принимается в качестве решения системы.

Вычисления проводились в среде Matlab на компьютере с процессором Intel Pentium Dual Core 2.2 ГГц, оперативной памятью 2 Гб. На рисунке 5 показано решение систем (3), (4) с применением предложенных методов.

На них видно, что решение интервальным методом с применением дополнительной проверки, даёт корректный результат. Результаты решения системы (3): $x = 0.6641$; $y = 0.6641$. Результаты решения системы (4): $x = 0.9766$; $y = -0.9766$. Погрешность решения $\Delta = 0,005$.

В таблице 1 представлены временные затраты в секундах на решение рассматриваемых систем. Для сравнения, в таблице приведено также время решения систем с использованием стандартной процедуры Matlab. В порядке анализа отметим существенное снижение времени расчетов при использовании предложенных процедур для решения плохо обусловленной системы.

Таблица 1. – Временные затраты решения систем различными методами

Методы решения	Система (3)	Система (4)
Интервальный, без дополнительной проверки, с	0,043	3,459
Интервальный, с дополнительной проверкой, с	0,062	0,449
Процедура Matlab, с	0,002	0,001

Особые случаи

Остановимся на некоторых «неудобных» случаях, которые могут возникнуть при проведении расчетов.

Случай 1. Исходная система является вырожденной, т.е. ее оба уравнения совпадают. В этом случае она имеет бесчисленное множество решений, и оно представляет собой множество точек, расположенных на прямой, описываемой любым ее уравнением. В результате решения такой системы интервальным методом, мы получим множество дискретных точек, количество которых зависит от заданной точности вычислений (рис. 6, а).

Случай 2. Решение системы расположено на границе бруса. Данное обстоятельство вызывает трудности при отделении его части, содержащей решение. В этом случае могут возникнуть ситуации, когда решение будет принадлежать одновременно двум или четырём его частям (рис. 6, б).

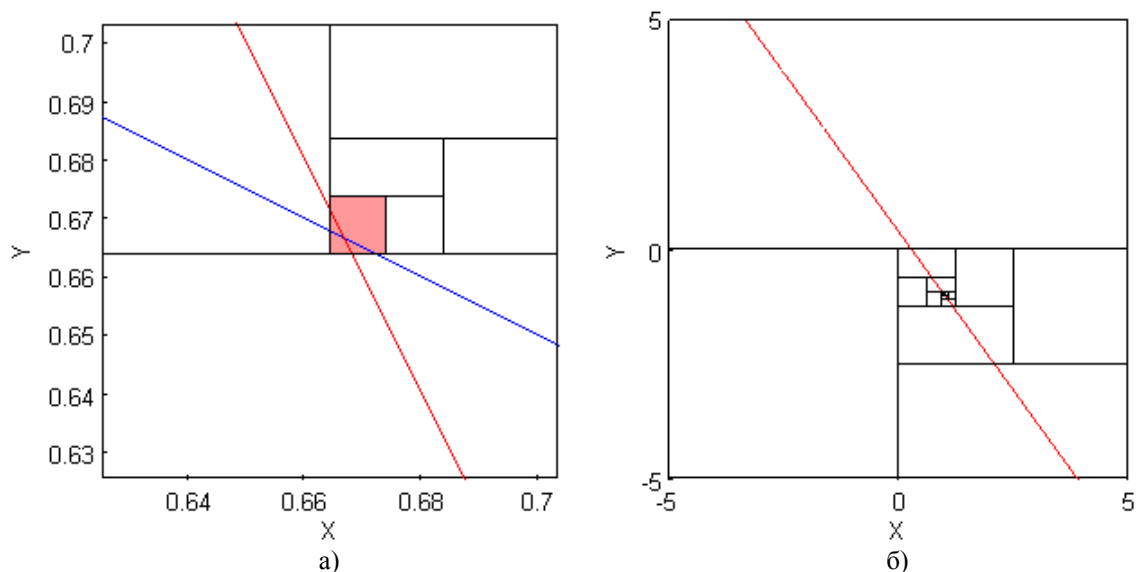


Рисунок 5. – Визуальное представление решения систем с применением дополнительной проверки:
а) система (3), б) система (4)

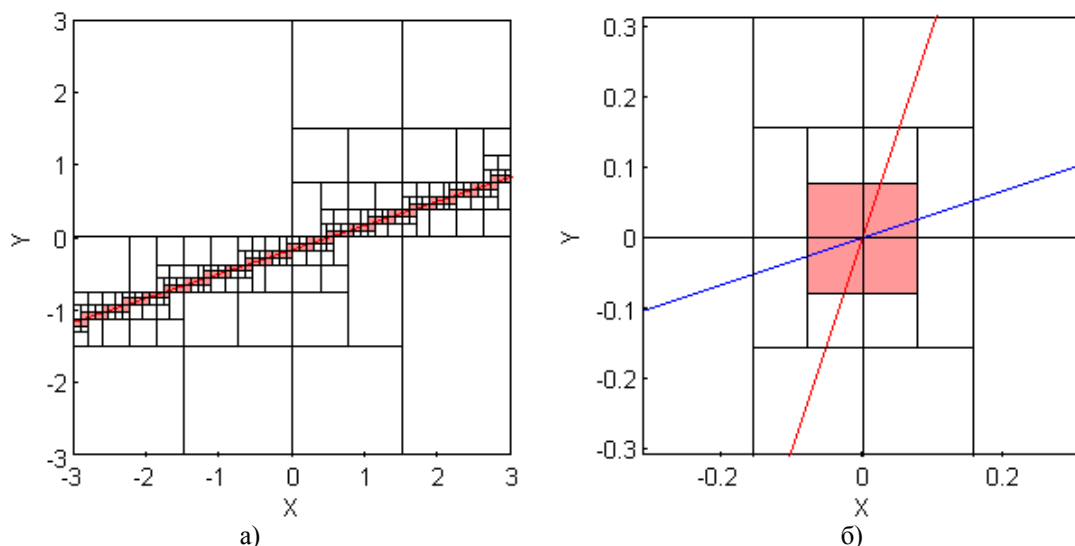


Рисунок 6. – Особые случаи решения:
а) вырожденная система; б) линии бисекции пересекают точку решения

Случай 3. Граница бруса совпадает с одной из линий системы. В этом случае возникают трудности при определении точек их пересечения с границами бруса.

Можно предложить следующие варианты действий при появлении таких случаев.

Если линии системы совпадают, то можно считать ее решением или каждую точку, полученную при решении, или только одну, любую из полученных. Для этого необходимо внести некоторые изменения в реализацию метода бисекций. А именно, при очередном делении и последующем анализе его «половинок» вторая часть не анализируется, если первая содержит решение. Здесь мы исходим из того, что невырожденная линейная система имеет единственное решение.

Аналогичные действия подходят и для второго случая, и только один подбрус будет определен, как содержащий решение. В последнем случае, все же необходимо делать дополнительные проверки при определении точек пересечения сторон. Этот вопрос, в принципе, разрешим и зависит от реализации алгоритма, однако и там, также, может возникнуть несколько альтернатив.

Заключение

Предложенный метод показал свою работоспособность и надёжность при выполнении расчетов. Он базируется на том, что решение системы с двумя интервальными неизвестными заменяется решением нескольких систем с одной такой же неизвестной. В целом,

он не может конкурировать с классическими методами по причине своего более низкого быстродействия, однако, безусловно, является альтернативным при решении плохо обусловленных систем.

В принципиальном плане, данный подход может быть применён и к системам более высокой размерности. Однако, например, в случае линейных систем третьего порядка необходимо уже выполнять анализ взаимного расположения плоскостей, а для этого требуется устанавливать точки их пересечения с ребрами трёхмерного бруса. И при дальнейшем увеличении размерности системы, трудоёмкость ее решения безусловно возрастает.

Следует отметить, что при соответствующей модификации предложенные критерии существования могут быть применены и к решению нелинейных систем уравнений при малой величине брусков, т.е. в тех случаях, когда замена криволинейных участков отрезками прямых вполне правомерна.

Литература

1. Rinney Kan A.H.G., Timmer G.T. Stochastic Global Optimization Methods // Mathematical Programming, 39, 1987. – pp. 27 – 78.
2. Быков А.А., Цыбенкова С.Б. Реализация метода продолжения по параметру для системы двух уравнений // Вычислительные технологии. 2002. Т. 7. № 5. С. 21 – 28.
3. Rohimian S.K., Jalali F., Seader J.D., White R.E. A New Homotopy for Seeking All Roots of a Nonlinear equation // Computers and Chemical Engineering, 35, 2011. – pp. 403 – 411.
4. Шарый С.П. Конечномерный интервальный анализ // Институт вычислительных технологий СО РАН. Новосибирск: XYZ. 2012. – 604 с.
5. Добронев Б.С. Интервальная математика: Уч. пос. Красноярск, Краснояр. гос. ун-т, 2004. – 216 с.
6. Алефельд Г., Херцбергер Ю. Введение в интервальные вычисления. – М.: Мир, 1987. – 361 с.
7. Фаддеев Д. К., Фаддеева В. Н. Вычислительные методы линейной алгебры. – СПб.: Лань, 2002. – 736 с.

Смирнов О.М., Беловодський В.М. “Один підхід до інтервального рішення систем лінійних рівнянь низької розмірності”. У статті описано новий підхід до реалізації інтервального рішення системи двох лінійних рівнянь методом бісекції та проведено аналіз виникаючих при цьому проблем. Проста інтервальна оцінка не дає достатньої інформації про те, що рішення міститься в досліджуваному брусі. У зв'язку з цим запропоновано додаткові обчислювальні процедури для оцінки взаємного розташування ліній рівнянь системи в брусі рішень, які дозволяють повністю виключити наявність помилкових включень у підсумковому результаті. Виконано тестування та аналіз реалізації запропонованого методу, на прикладі погано обумовленої системи рівнянь. Зроблено аналіз і порівняння часових витрат на виконання запропонованих процедур зі стандартними методами рішення. Відзначено основні напрямки розвитку запропонованого методу щодо застосування до систем більш високої розмірності, а також для нелінійних систем.

Ключові слова: інтервальний метод, система лінійних рівнянь, метод бісекції, пряма.

Smirnov A.N., Belovodskiy V.N. “One approach to the interval solution of linear systems of low dimensionality”. This article describes a new approach to the implementation of interval solution of a system of two linear equations by bisection method and the analysis of the arising problems. The matter is that a simple interval evaluation does not give sufficient information about the presence of solutions in the test beam. This feature can be explained by the fact that interval expansions of the functions on a beam do not coincide, as a rule, with their ranges on it. As a result of this the use of bisection method, for example, for solving systems of equations gives an answer in the form of a collection of “intervals” which only potentially may contain an exact solution. In view of this the paper suggests some measures which strengthen and improve the criterion for the existence of solutions. Additional computational procedures for assessing of mutual location of the straight lines in the beam were proposed that allow to completely exclude the presence of erroneous conclusions in the final result. Testing and analysis of the implementation of the proposed method were fulfilled, the example of an ill-conditioned system of equations was considered. A comparative analysis of the time spent on the implementation of the proposed procedures and standard methods of solution was conducted. There were marked the main directions of development of the proposed method for possible application to linear systems of higher dimension, as well as for non-linear systems.

Key words: interval method, system of linear equations, bisection method, straight line.

Статья поступила в редакцию 17.01.2014

Рекомендована к публикации д-ром техн. наук Г.В. Авериньм

Комплексная оценка природно-антропогенных систем: предложения по развитию методологии

Звягинцева А.В.

Донецкий национальный технический университет

anna_zv@ukr.net

Звягинцева А.В. «Комплексная оценка природно-антропогенных систем: предложения по развитию методологии». Обобщены имеющиеся сведения по анализу исследований в области комплексной оценки природно-антропогенных систем. Показано, что в данной научной области существует ряд нерешенных методологических проблем. Основным недостатком существующей методологии связан с тем, что при комплексной оценке природно-антропогенных систем используются преимущественно экспертные методы и подходы. Поэтому в большинстве случаев исследования носят субъективный характер. Отмечается, что перспективы развития методологии комплексной оценки природно-антропогенных систем могут быть связаны с конвергенцией методов системной динамики и феноменологических методов физики сплошных сред и термодинамики. В этом плане предлагается разработка новых методов и средств комплексной оценки природно-антропогенных систем на основе использования таблично-временных баз данных. Изложены научные идеи, направленные на развитие методологии комплексной оценки, заключающиеся в принятии нескольких гипотез феноменологического характера. Сделаны выводы, что для совершенствования систем оценки опасностей и рисков при воздействиях на природную среду и человека необходимо применение в исследованиях природно-антропогенных систем методов, использующих феноменологические подходы анализа и описания фактических данных.

Ключевые слова: методология, гипотезы, комплексная оценка, природно-антропогенные системы, феноменологические подходы, базы данных показателей.

Введение

Методология комплексной оценки природно-антропогенных систем (ПАС) в настоящее время использует преимущественно экспертные методы и подходы. Это приводит к тому, что большинство исследований в данной области носит субъективный характер, так как результаты комплексной оценки существенно зависят от мнения, уровня подготовки экспертов и специфики экспертных методов.

Сегодня одна из фундаментальных проблем науки связана с применением в исследованиях экологических, антропогенных, техногенных и биологических процессов и явлений естественнонаучных методов, которые используют феноменологические подходы анализа и описания фактических данных. Подобные методы получили широкое распространение в физике сплошных сред и термодинамике. Данное научное направление имеет большое значение, так как позволяет предложить теоретические подходы к исследованию природно-антропогенных систем. Это позволит предложить объективные методы анализа объектов, процессов и явлений, что качественно отличает их от экспертных методов.

Основная гипотеза, которая направлена на развитие методологии комплексной оценки,

связана с возможностью создания на основе баз данных показателей и индикаторов природно-антропогенных систем множества моделей в виде феноменологических описаний природных, экологических и антропогенных процессов. Данные модели отличаются использованием закономерностей, которые существуют между вероятностями различных наблюдаемых событий, свойственных изучаемой базе данных. Предполагается, что для природно-антропогенных систем могут быть составлены уравнения, в которые входят параметры и функции, комплексно характеризующие эти системы, и которые могут быть получены на основе обработки данных статистических наблюдений. Для группы однотипных объектов ПАС определенного класса данная гипотеза может быть принята или отвергнута на основе обработки имеющихся фактических данных. Наиболее адекватные модели могут быть выбраны из множества моделей с использованием статистических подходов, которые позволяют оценить вероятности сложных событий, характеризующих состояние природно-антропогенных систем. Все это даст возможность развить методологию и теорию комплексной оценки природно-антропогенных систем на основе использования

феноменологических подходов при анализе и описании фактических данных.

Таким образом, цель данной статьи – предложить новые методологические подходы к комплексной оценке ПАС на основе применения методов феноменологического анализа данных о состоянии природных и антропогенных сред для совершенствования систем оценки опасностей и рисков при воздействиях на природную среду и человека.

Состояние исследований в области комплексной оценки систем

В экологической безопасности чаще всего, говоря о состоянии природно-антропогенных систем, подразумевают загрязнение природных сред, наблюдаемый уровень антропогенного воздействия на природу и человека, а также различные экологические и антропогенные характеристики и видовое биоразнообразие, свойственные таким системам. Различные виды ПАС обычно включают в себя множество однотипных объектов, которые можно считать объектами одного класса.

Например, в урбанистике основными объектами природно-антропогенных систем выступают города, в глобалистике – страны мира, в регионалистике в качестве объектов рассматривают области, штаты и другие административные единицы различных стран или крупные регионы континентов. В экологических исследованиях объектами ПАС выступают однотипные экосистемы, природные зоны и территории, при изучении биоразнообразия – биотопы с определенными биоценозами и т.д.

Обычно под природно-антропогенной системой понимают совокупность природных и искусственных объектов, функционирующих как единое целое. Такие системы формируются в результате строительства и эксплуатации на природной территории различных сооружений и технических средств, которые взаимодействуют с природными объектами. В ПАС большую роль играют не только естественные, но и антропогенные и техногенные процессы. К основным видам ПАС относятся разнообразные городские и сельские поселения, сельскохозяйственные системы, отдельные крупные промышленные предприятия и индустриальные зоны, транспортные территории и транспортные коммуникации, энергетические природно-технические комплексы, горнорудные предприятия вместе с зонами их влияния, рекреационные системы и др.

Природно-антропогенные системы отличаются дуализмом, как это видно из самого термина. С одной стороны, первоначальные природные особенности таких систем в

значительной степени изменены и состояния систем определяются воздействующей антропогенной нагрузкой. С другой стороны, основные особенности их функционирования во многом зависят от природных условий, в которых эти системы существуют. Основные компоненты ландшафта, геологическое строение, климат, воздушная среда, водные объекты, лесные массивы или зеленые зоны могут быть изменены, однако сохраняют свои основные особенности в пределах природно-антропогенных систем. Таким образом, природно-антропогенная среда таких систем состоит из частично измененных человеческой деятельностью природных систем, которые развиваются под постоянным воздействием человека. Наиболее изменены природные процессы и окружающая среда в городах. Реймес среди природно-антропогенных систем особо выделял урбанистические системы (урбосистемы) – «неустойчивые природно-антропогенные системы, состоящие из архитектурно-строительных объектов и резко нарушенных естественных экосистем».

В любой момент времени природно-антропогенная система находится в определенном состоянии. Под состоянием системы следует понимать совокупность ее показателей, характеризующих структуру и процессы функционирования систем в заданный момент времени. Каждый объект в природном, антропогенном и биологическом отношении может характеризоваться множеством показателей, свойственным только данному виду природно-антропогенных систем. Для характеристики самых разных аспектов ПАС в мировой практике разработаны комплексы показателей и индикаторов, которые приняты к использованию научным сообществом [1 – 10].

Основные направления и тенденции исследований в данной области связаны с накоплением и созданием все более обширных баз данных показателей состояния, изменения и развития природно-антропогенных систем, применением новых методов визуализации и оценки данных, использованием математических методов анализа данных, созданием информационно-аналитических систем хранения, обработки и представления данных, развитием методов комплексной оценки, теории оценки рисков и методов системной динамики [11 – 24, 34].

Комплексная оценка состояния природно-антропогенных систем обычно представляет собой очень трудоемкую процедуру из-за наличия большого количества показателей, требующих анализа и отражающих самые разные аспекты систем. В таких исследованиях обычно применяются три подхода. Первый подход связан с разработкой

обширных докладов о состоянии и предполагаемом изменении и развитии систем [25 – 29, 33]. Второй подход, с целью упрощения процедуры анализа, основывается на индикаторном методе, когда для оценки состояния и изменения систем вводятся в рассмотрение самые различные индексы, которые интегрируют несколько показателей [30 – 35]. Третье теоретическое направление комплексной оценки связано с методологией оценки рисков [16 – 23] и теорией системной динамики [36 – 40].

Сегодня комплексная оценка природно-антропогенных систем проводится на основе самых разных индексов, которые отличаются как способами их определения, так и методологическими принципами их построения. Существуют сотни достаточно известных индексов и мер в области социально-экономического развития стран и регионов, в области охраны окружающей среды, экологии и биоразнообразия. Гипотезы, которые положены в основу моделей, обычно носят частный и субъективный характер и не могут служить основой для надежных количественных методов оценки хотя бы потому, что биологические, экологические и социальные системы нельзя оценивать по одному, хотя и комплексному показателю. Для построения количественных моделей необходима разработка шкал измерения показателей состояния систем, которые бы не являлись в своей основе субъективными. Пока в биологии и экологии подобных систем количественной оценки не существует.

Анализ исследований в области комплексной оценки природно-антропогенных систем выполнен в известных работах [41 – 47]. Обобщая имеющиеся данные по анализу состояния вопроса, можно отметить, что в данной области существует целый ряд нерешенных методологических проблем:

- существующие методы комплексной оценки в значительной мере некорректны и субъективны, в первую очередь потому, что повсеместно используют методологию экспертных методов и никак не учитывают фундаментальные закономерности природно-антропогенных систем. Все исследования практически сводятся или к множественным пространственным описаниям различных аспектов и компонентов систем или к использованию индексов, построенных по «соглашению» на принципе аддитивности индикаторов и с учетом весов показателей, а также последующему сравнению систем на основе этих индексов;
- множество комплексных индексов и мер, которые построены с использованием гипотетических и экспертных методов, не

адаптированы к данным наблюдений, обладают слабой устойчивостью к изменениям данных, отличаются сильной взаимозависимостью показателей, которые используются для оценки;

- теоретические работы по оценке рисков в области экологических наук часто сводятся к гипотезам и обобщениям, оторванным от реальной статистической базы и систематического изучения опытных данных. Несмотря на явную связь теории оценки рисков с теорией вероятности, методология оценки рисков не получила достаточного теоретического базиса;
- модели для комплексной оценки пока основаны на весьма частных и узких гипотезах и не могут служить фундаментом для формально строгих теорий. При изучении природно-антропогенных систем практически не применяются и не проверяются на опытных данных фундаментальные гипотезы, которые получили широкое распространение в естественных науках: различные общесистемные принципы, уравнения состояния систем, законы сохранения, предположения и допущения, которые бы давали возможность на основе опытных данных получить феноменологические описания и т.д.;
- приходится констатировать, что сколь-нибудь строгих методов комплексной оценки, которые бы отличались высокой обоснованностью и формализмом теории, до настоящего времени не выработано. Многие методы комплексной оценки при применении к одному объекту исследования вообще могут давать несопоставимые результаты, что указывает на нарушение основного принципа науки о воспроизводимости результатов.

Отметим, что наиболее существенные научные проблемы лежат в области теории комплексной оценки. Именно в области теоретических исследований существует несколько проблем, которые не позволяют многочисленным научным идеям превратиться в общепринятые теории. Во-первых, часто изначально формулируются качественные теоретические концепции, которые практически невозможно формализовать и для которых нельзя получить количественные соотношения. Во-вторых, очень часто теоретические гипотезы высказываются на основе поверхностного обобщения данных без проверки адекватности моделей. Все это приводит к большому количеству частных моделей, которые чаще всего несут в себе субъективное и экспертное содержание. В-третьих, при построении моделей не используются большие базы данных

показателей о состоянии систем, в связи со сложностью сбора информации и необходимостью работы с многомерными массивами данных.

Как следствие, на фоне громадного количества аналитических докладов широко известных моделей природно-антропогенных систем и комплексных оценок их состояния и развития очень мало. Сегодня научное направление комплексной оценки систем формируется в большей степени как описательная наука. По утверждению авторов статьи [15] за последние 30 лет не появилось ни одной сколько-нибудь заметной публикации, вносящей что-то новое в основные концепции или фундаментальные законы экологических наук. По их словам экологический мир на пороге научной революции, связанной с развитием теории, но новая парадигма еще не проникла в умы естествоиспытателей.

Однако последние годы быстро развивается область междисциплинарных исследований, основанная на применении естественнонаучных методов в биологических и экологических науках. В этом плане следует отметить феноменологические методы системной динамики, очень тесно связанные со структурно-логической схемой построения моделей, принятой в термодинамике, и естественнонаучные методы, используемые в теории сплошных сред. В 1986 году А. Гухманом была высказана идея, что модели энтропии в термодинамике могут быть распространены на взаимодействия любого рода и системы самой различной природы [48]. В работе [39] данное направление было развито, что позволило внести вклад в теорию моделирования сложных социально-экономических систем и построение моделей биологических систем. Считаем, что именно данное направление моделирования систем наиболее актуально, так как позволяет применить феноменологические методы для описания живой природы.

В области мониторинга природных и антропогенных систем накоплены большие базы данных, которые позволяют вести речь о поиске и установлении феноменологических закономерностей и разработке комплексных моделей систем и объектов. Данное направление исследований уже вполне позволяет поставить задачу оценки вероятностей состояний систем, исходя из сложных событий одновременного наблюдения нескольких показателей, использующих информацию баз данных и характеризующих различные природно-антропогенные системы [49 – 54]. Автором в некоторых работах было показано, что данное направление может привести к научным результатам, которые будут отличаться несомненной новизной [55 – 62].

Предлагаемые новые подходы, гипотезы и методы

Перспективы развития методологии комплексной оценки ПАС могут быть связаны с использованием методов теории систем, системной динамики и феноменологических методов физики сплошных сред и термодинамики [36 – 40, 48]. В этом плане предполагается разработка новых методов и средств комплексной оценки природно-антропогенных систем на основе использования баз данных показателей, представленных в виде таблично-временных баз данных. Подобные базы данных имеют структуру таблиц в виде матриц «объекты – показатели», причем множество таблиц (q) упорядочено по времени, например, по годам, месяцам и т.д.

В качестве объектов исследования различных видов природно-антропогенных систем могут выступать страны, области, районы, города, природно-промышленные комплексы, отдельные территории (например, природно-заповедные зоны), крупные промышленные и энергетические предприятия и т.д. В качестве показателей и индикаторов природно-антропогенных систем могут быть самые различные величины. Например, в группе показателей, характеризующих загрязнение природных сред и наблюдаемый уровень антропогенного воздействия на природную среду и человека это могут быть концентрации вредных веществ в атмосферном воздухе, поверхностных водах и почвах, объемы выбросов и сбросов загрязняющих веществ, выбросы парниковых газов, количество используемых пестицидов, объемы использованной свежей и оборотной воды, площади сельскохозяйственных и орошаемых земель, количество накопленных отходов, объемы добычи полезных ископаемых, объемы потребления и производства энергии, площади нарушенных земель и т.д. (обычно до 30 – 40 основных показателей). В качестве антропогенных характеристик природно-антропогенных систем могут выступать социально-экономические величины: численность населения, показатели ВВП, ВНП и ВНД, доля городского населения, показатели структуры экономики и промышленности, расходы домашних хозяйств, уровень безработицы и миграции, младенческая и детская смертность, число убийств и тяжких преступлений, число заболеваний туберкулезом и т.д. Количество основных социально-экономических показателей может достигать до сотни величин. Для природно-антропогенных систем в качестве показателей и индикаторов биологического разнообразия могут выступать характеристики окружающей среды, показатели, характеризующие распространения видов, доля

охраняемых территорий, лесных и лесопокрытых территорий, количество основных и доминантных видов, индексы биоразнообразия и т.д. (обычно до 10 – 15 показателей).

Для k объектов и m показателей такие таблицы данных могут быть отражены в n -мерном пространстве некоторых показателей p точками $M(z_1, z_2, \dots, z_n)$, где $p = k \cdot q$; M – состояние системы в данный момент времени; z_1, z_2, \dots, z_n – показатели (параметры) системы. Причем n показателей выбираются из общего числа m всех статистических показателей. Здесь n – это количество атрибутивных показателей ($n < m$), которые характеризуют базовые свойства изучаемой природно-антропогенной системы. Каждая наблюдаемая точка соответствует состоянию некоторого объекта, которое изменяется с течением времени. Все состояния одного объекта лежат на некоторой многомерной кривой, которая представляет в многомерном пространстве процесс изменения и развития этого объекта и охватывает все точки состояний данного объекта, находящиеся в различных таблицах базы данных. Таким образом, все k объектов характеризуются спектром многомерных кривых. Каждой n -мерной точке $M(z_1, z_2, \dots, z_n)$ дополнительно может быть поставлена в соответствие статистическая вероятность наблюдения некоторого простого или сложного события, например, наблюдения одного показателя (индикатора, события) или одновременного совместного наблюдения двух и более показателей, которые не являются атрибутивными величинами. Аналогичным образом могут быть рассмотрены простые или сложные события наблюдения атрибутивных показателей. Количество таблиц, объектов и показателей в таблицах не ограничивается. Перечень атрибутивных показателей определяется сложившимися в научном сообществе представлениями о поведении изучаемой системы, корреляционным анализом данных или другими методами установления наиболее значимых переменных.

Научные идеи, связанные с развитием методологии комплексной оценки, заключаются в принятии нескольких гипотез, которые носят феноменологический характер и могут подтверждаться или опровергаться для данного вида природно-антропогенной системы на основе имеющихся опытных данных.

В соответствии с работами [39, 57], первый фундаментальный аспект методологии комплексной оценки заключается в поиске связей и закономерностей не между показателями и индикаторами, а между

вероятностями наблюдения различных событий, свойственных изучаемой базе данных. Это предполагается делать путем установления зависимостей между статистической вероятностью сложных событий (совместные события наблюдения двух и более показателей, события наблюдения отдельных актуальных показателей) и функциями распределения одномерных случайных величин – атрибутивных показателей. В первом случае, статистическая вероятность определяется с использованием алгоритмов перебора, группировки и подсчета частот благоприятных событий на основе данных, которые имеются в базе данных и получены опытным путем в результате наблюдения. Во втором случае, для одномерной случайной величины функция распределения для каждого атрибутивного показателя находится как вероятность попадания в заданный интервал равномерно распределенной случайной величины. Все это позволяет построить вероятностную среду моделирования в виде многомерного пространства координат H_n , где координатные оси соответствуют шкалам атрибутивных переменных $\{z_1, z_2, \dots, z_n\}$ для таблиц изучаемой базы данных, а вероятности сложных и простых событий представляются скалярными величинами в данном пространстве H_n . При таком подходе основной объект моделирования – это состояние каждого объекта природно-антропогенной системы в пространстве H_n , которое отображается n -мерной точкой и которое выражается через параметры атрибутивных переменных $\{z_1, z_2, \dots, z_n\}$, а также вероятность этого состояния – вероятность сложного события совместного наблюдения атрибутивных величин. Кроме того, каждой наблюдаемой n -мерной точке может быть поставлено в соответствие множество наблюдаемых событий и их вероятностей. Это позволяет искать связи между вероятностью состояния системы и вероятностями различных других событий. Для поиска зависимостей между вероятностями событий предполагается использовать методы пробит-анализа данных, методы логистического анализа или другие методы нелинейной регрессии.

Второй фундаментальный аспект методологии заключается в том, что с целью построения теории комплексной оценки природно-антропогенных систем как специфического вида теории сплошных сред вводятся следующие гипотезы:

- в n -мерном пространстве переменных возможные состояния природно-антропогенной системы теоретически образуют некоторую область Ω_n , которая

охватывает все наблюдаемые n -мерные точки (всего p точек). Данная область представляет собой многомерный параллелепипед, размеры сторон которого определяются минимальными и максимальными значениями переменных: $z_{1,\min} \leq z_1 \leq z_{1,\max}$; $z_{2,\min} \leq z_2 \leq z_{2,\max}$; \dots ; $z_{n,\min} \leq z_n \leq z_{n,\max}$. Данную область по аналогии с [39, 57] назовем пространством наблюдаемых состояний системы;

- в пространстве состояний Ω_n существует бесконечное множество состояний для некоторой генеральной совокупности объектов. Многомерные точки состояний непрерывно заполняют пространство. Наблюдаемые точки M в количестве p являются ограниченной выборкой наблюдений из данной генеральной совокупности;
- в многомерной области Ω_n может быть построен комплексный индекс состояния системы вида $T = T(z_1, z_2, \dots, z_n)$. Это означает, что все точки в многомерном пространстве $(n+1)$ -ой переменной $\{z_1, z_2, \dots, z_n, T\}$, изображающие состояние системы в разные моменты времени, должны лежать на некоторой гиперповерхности; соответствующие многомерные кривые, отражающие изменения состояний для каждого объекта, также будут лежать на этой поверхности. Таким образом, индекс в пространстве Ω_n образует скалярное поле и будет отражать некоторую систему измерения состояния объекта;
- в пространстве состояний Ω_n существует некоторая общая мера, характеризующая процессы изменения состояний природно-антропогенных систем $W = W(M)$. По аналогии с [39, 57], данную меру будем называть количеством воздействия $W = W(M)$. Считаем, что данная величина может быть связана с вероятностями наблюдаемых событий, характерных для изучаемой природно-антропогенной системы;
- между величинами $T = T(z_1, z_2, \dots, z_n)$ и $W = W(z_1, z_2, \dots, z_n)$ в пространстве Ω_n при осуществлении любого процесса развития ПАС существует связь вида: $dW = \lambda_i \cdot dT$, где величины $dW = \lambda_i \cdot dT$ являются феноменологическими переменными, которые определяются из данных статистических наблюдений.

Все это позволяет по аналогии с [57], при комплексной оценке природно-антропогенных систем гипотетически ввести в рассмотрение две величины, характеризующие состояния объектов в каждой элементарной области пространства H_n : количество воздействия $W = W(M)$ и комплексный индекс $T = T(M)$.

Количество воздействия $W = W(M)$ – величина, характеризующая интенсивность процессов изменения состояния однотипных объектов природно-антропогенной системы и отражающая результат опыта, которая представляется в виде феноменологических описаний относительно атрибутивных параметров системы.

Комплексный индекс – скалярная величина, характеризующая состояния данного класса объектов и отражающая результат моделирования, которая представляется в виде математических зависимостей, построенных на основе тех или иных предположений и допущений о виде функции $T = T(z_1, z_2, \dots, z_n)$.

Введение комплексного индекса $T = T(z_1, z_2, \dots, z_n)$ необходимо для построения теории описания данных (состояний) и построения их моделей для определенного вида природно-антропогенной системы. В свою очередь, для того, чтобы иметь возможность описать процессы изменения состояний системы, наблюдаемые с течением времени, необходимо введение понятия количества воздействия $W = W(M)$, непосредственно связанного с опытными данными. Для обоснования возможности оценки величины W делается предположение, о котором говорилось выше, что эта величина может быть связана со статистическими вероятностями наблюдаемых состояний системы (или вероятностями некоторых характерных событий). Это дает возможность построить систему измерений величины W .

В процессе исследований предполагается использовать так называемый принцип соответственных состояний, который широко применяется в естественных науках. В физике и химии данный принцип является обобщением эмпирического положения, что для объектов одного класса многие свойства тесно связаны с некоторыми характерными (опорными) свойствами для всех объектов приблизительно одинаково. При реализации этого принципа в процессе построения моделей показатели состояний некоторых объектов выбираются в качестве опорных и все остальные свойства объектов соотносятся с этой точкой в изучаемом пространстве свойств. Теория соответственных состояний – это своего рода теория подобия признаков и свойств объектов одного класса.

Таким образом, для начальной таблицы данных следует найти (предложить) некоторый объект в виде опорной точки $M_0(z_{10}, z_{20}, \dots, z_{n0})$ и на основе проведения вычислительных экспериментов искать вероятностные модели данных вида:

$$\psi(w, w_0) = F\left(\frac{z_1}{z_{10}}, \frac{z_2}{z_{20}}, \dots, \frac{z_n}{z_{n0}}\right). \quad (1)$$

Здесь $M_0(z_{10}, z_{20}, \dots, z_{n0})$ – состояние некоторого опорного объекта для изучаемой таблицы базы данных; w, w_0 – соответственно вероятность наблюдаемого и опорного состояния. Количество воздействия линейно связывается со значениями статистических вероятностей характерных событий w , т.е. $W = \alpha \cdot (w - w_0)$. Статистическая вероятность w может быть определена как для событий, связанных с наблюдаемыми значениями только одной выбранной величины, так и для событий, которые отражают факт одновременного наблюдения значений нескольких величин (показателей или индикаторов). Вероятностные модели находятся методом пробит-анализа или другими методами нелинейной регрессии. Все это дает возможность предложить систему оценки (измерения) величины W для таблиц базы данных.

В свою очередь, комплексный индекс $T = T(z_1, z_2, \dots, z_n)$ в области H_n представляется в виде функциональных зависимостей относительно атрибутивных показателей. Данный индекс может быть выбран эмпирически, например, в виде мультипликативных, мультипликативно-степенных или иных зависимостей или определен из критериев наилучшего описания данных, которые имеются в таблицах. Другими словами, данный индекс определяется или на основе выбранного класса функциональных зависимостей, например, как многомерная геометрическая вероятность, или как мультипликативная степенная функция относительно показателей z_1, z_2, \dots, z_n , или из геометрических представлений однородности пространства Ω_n , т.е. соответственно в виде:

$$T = \beta \cdot \frac{z_1}{z_{10}} \cdot \frac{z_2}{z_{20}} \cdot \dots \cdot \frac{z_n}{z_{n0}}; \quad (2)$$

$$T = \beta \cdot \left(\frac{z_1}{z_{10}}\right)^{\alpha_1} \cdot \left(\frac{z_2}{z_{20}}\right)^{\alpha_2} \cdot \dots \cdot \left(\frac{z_n}{z_{n0}}\right)^{\alpha_n}; \quad (3)$$

$$T = (z_1 - z_{10})^2 + (z_2 - z_{20})^2 + \dots + (z_n - z_{n0})^2. \quad (4)$$

Основная гипотеза о функциональном виде комплексного индекса $T = T(z_1, z_2, \dots, z_n)$ должна выбираться, исходя из изучения множества вероятностных моделей данных

$$\psi(w, w_0) = F\left(\frac{z_1}{z_{10}}, \frac{z_2}{z_{20}}, \dots, \frac{z_n}{z_{n0}}\right) \quad \text{на предмет}$$

возможности введения комплексных индексов.

Таким образом, одна из основных научных целей комплексной оценки состоит в определении содержания величин T и W , как комплексных характеристик для описания состояний и возможных процессов изменения и развития природно-антропогенных систем, и разработке методов оценки этих величин по опытным данным.

При разработанных способах измерения (оценки) величин T и W изложение теории комплексной оценки может быть основано на постулировании существования многомерных и непрерывных полей величин T и W и описании состояний систем и процессов изменения этих состояний через связь количества воздействия с комплексным индексом системы: $dW = \lambda_l \cdot dT$, где величины λ_l определяются по имеющимся данным таблиц базы данных.

Таким образом, предлагаемый метод комплексной оценки тесно связан с логикой построения теории термодинамики и системодинамики [39, 48], так как изначально в теорию вводятся феноменологически определяемые величины λ_l , характеризующие состояние объектов. Множество данных величин для каждой элементарной области пространства Ω_n определяется из соотношений $dW = \lambda_l \cdot dT$ при условии, что могут быть предложены системы измерения величины количества воздействия W и комплексного индекса T .

Особенность предложенного подхода заключается в том, что гипотеза существования величин λ_l может быть принята или отвергнута на основе обработки имеющихся опытных данных. Кроме того, предложенная методология комплексной оценки отличается использованием естественнонаучных методов, т.к. основывается на феноменологических закономерностях, а не на гипотетических или экспертных методах оценки состояния объектов. Это также положительно характеризует степень новизны предлагаемого подхода.

В процессе выполнения работ по построению моделей необходимо провести существенный объем вычислительных работ по выбору оптимальных моделей среди множества возможных вариантов. Это связано с необходимостью перебора различных модельных функций для описания комплексного индекса, потребностями изучения множества вариантов совместных событий и связи этих событий с величиной количества

воздействия, поиском оптимальных опорных состояний и вероятностных моделей для описания соответствующих состояний, выполнением определенного набора однотипных расчетов для каждой таблицы базы данных.

В целом методика поиска зависимостей для комплексной оценки ПАС включает следующие этапы:

- составляется база данных показателей для определенного вида природно-антропогенной системы;
- формулируются принципы и теоретические основы комплексной оценки, суть которых в общих чертах была приведена выше;
- разрабатываются методы определения комплексного индекса $T = T(z_1, z_2, \dots, z_n)$ на основе известных значений атрибутивных показателей, входящих в базу данных изучаемого вида природно-антропогенной системы. Для этого индекс выбирается эмпирически в виде мультипликативных, мультипликативно-степенных и иных зависимостей;
- разрабатываются методы оценки величины количества воздействия и устанавливаются регрессионные нелинейные зависимости, характеризующие связь этой величины с вероятностями состояния системы и атрибутивными показателями. Ищутся зависимости, определяющие связь вероятности состояния системы с вероятностями различных событий, свойственных изучаемой базе данных;
- после разработки методов оценки комплексного индекса и величины количества воздействия находятся феноменологические константы, характеризующие данный вид природно-антропогенной системы;
- формулируются практические методы комплексной оценки природно-антропогенных систем. Определяются функции состояния, которые как показано в работах [39, 57] представляют собой многомерные поверхности уровня и векторные линии в вероятностном пространстве Ω_n , свойственном изучаемой базе данных;
- осуществляются практические расчеты для тестовых примеров, разрабатываются модели комплексной оценки для отдельных видов природно-антропогенных систем, устанавливаются закономерности и особенностей опасных событий и процессов в таких системах, оценивается риск таких событий и процессов, исходя из вероятности определения соответствующих сложных событий;

- создается практическая методика комплексной оценки природно-антропогенных систем на основе анализа данных о состоянии природных и антропогенных сред.

Разработку методов комплексной оценки природно-антропогенных систем следует сделать для нескольких тестовых задач, например: изучение уровня загрязнения атмосферного воздуха городов и построение комплексных индексов для оценки состояния загрязнения и изменения экологической обстановки в городах; исследование экологических процессов в странах мира и построение систем комплексной оценки их устойчивого развития; изучение состояния природно-антропогенных систем по показателям биоразнообразия и т.п. Для данных ПАС в экологических науках имеются обширные базы данных показателей и индикаторов.

Например, при изучении загрязнения воздуха в городах – это данные Украинского гидрометеоцентра и Гидрометеоцентра России, а также базы данных индикаторов развития городов [8].

База данных Украинского гидрометеоцентра включает статистические таблицы данных по 53 городам Украины на 163 стационарных, двух маршрутных постах наблюдений и двух станциях трансграничного переноса в период с 2000 по 2014 гг. по всем контролируемым вредным веществам. Обычно в базе данных представлена информация о концентрациях следующих основных загрязняющих веществ: пыль (по 53 городам), диоксид азота (по 53 городам), диоксид серы (по 53 городам), оксид углерода (в 48 городах), формальдегид (в 43 городах), тяжелые металлы и бенз(а)пирен. Также имеется соответствующая информация о концентрациях фенола и аммиака в 23 городах, фтористого водорода в 14 городах, сероводорода в 16 городах, хлористого водорода в 11 городах, сажи в 6 городах, растворенных сульфатов в 19 городах, серной кислоты, бензола, толуола, этилбензола и ксилола в 2 городах, а также анилина в 1 городе. В настоящее время в базу данных городов Украины заносится содержание 31 вредной примеси в атмосферном воздухе.

При изучении развития стран мира для тестовой задачи может быть использована база данных Программы развития ООН, база данных индикаторов развития стран мира Всемирного банка, база данных международного Интернет-ресурса Trading Economics, экологическая база данных стран Европы и т.д. Сегодня эти базы данных (БД) присутствуют в открытом доступе сети Internet соответственно по адресам:

- база данных Программы развития ООН [49]: <http://hdr.undp.org/en/data>;
- база данных индикаторов развития стран мира Всемирного банка [50]: <http://data.worldbank.org/>;
- международный Интернет-ресурс о развитии стран мира [51]: <http://www.tradingeconomics.com/>;
- база данных Стран Европы [29].

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 – 2013 годов. Эта база данных содержит около 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 Программы развития ООН. Эта база данных включает в себя 21 компонент и аспект развития стран мира, в которые сведены более 1200 индикаторов ретроспективой за 50 лет.

База данных ресурса Trading economics содержит статистические таблицы данных 300 000 показателей и индикаторов по 196 странам с глубокой ретроспективой. База данных доступна для исследователей и экспертов с 2008 года.

База данных стран Европы [29] содержит социально-экономические, экологические, демографические и другие данные для 55 стран Европы (70 показателей состояния и развития стран).

При изучении процессов биоразнообразия природно-антропогенных систем могут быть использованы следующие базы данных:

- глобальная база данных по биоразнообразию – GBIF. – Электр. ресурс. URL: <http://data.gbif.org/welcome.htm/>;
- AnAge: The Animal Ageing and Longevity Database. – Электр. ресурс. URL: <http://genomics.senescence.info/species/>;
- базы данных проекта «Биоразнообразие России». – Электр. ресурс. URL: http://www.zin.ru/BioDiv/bd_dbas.htm/;
- база данных «Биоразнообразие Белоруссии». – Электр. ресурс. URL: <http://florafauna.by/page/about/>.

Таким образом, основные подходы, идеи и рабочие гипотезы, которые могут быть основой развития методологии комплексной оценки кратко формулируются в виде:

- интеграция и использование различных баз данных для различных видов природно-антропогенных систем, а также определение статистических вероятностей состояний объектов на основе опытных данных

позволит установить феноменологические закономерности, характерные для природно-антропогенных систем;

- поиск связей и закономерностей в базе данных показателей природно-антропогенных систем осуществляется не между показателями, характеризующими состояния объектов, а между вероятностями событий наблюдения этих величин;
- на основе агрегированной информации для природно-антропогенных систем возможна проверка гипотезы о существовании комплексного индекса и величины количества воздействия, характеризующих состояние таких систем. Статистический анализ данных позволит определить многомерные функции распределения вероятностей состояний объектов, исходя из реализации сложных совместных событий одновременного наблюдения нескольких показателей или индикаторов;
- для каждой элементарной окрестности пространства состояний системы Ω_n можно предложить систему измерения (оценки) комплексного индекса T и количества воздействия W , основанную соответственно на задании (определении) зависимостей из выбранного класса функций (индекс T) и определении значений статистических вероятностей характерных событий (величина W). Для этого предполагается использовать методы пробит-анализа и нелинейной регрессии, методы системной динамики, теорию сплошных сред и принцип соответственных состояний. Все это позволит установить на основе имеющихся опытных данных множество феноменологических величин, характеризующих состояние объектов в каждой элементарной области пространства состояний Ω_n ;
- комплексная оценка природно-антропогенных систем возможна по совокупности значений параметров и индикаторов объектов в таблицах «объекты – показатели», которые упорядочены во времени. Оценка проводится в многомерном вероятностном пространстве путем определения функций состояния, которые являются многомерными поверхностями уровня и векторными линиями в вероятностном пространстве Ω_n , свойственном изучаемой базе данных. Это позволяет оценить статус объекта в иерархическом множестве объектов одного класса (например, среди стран, областей, территорий, городов);

– ранее в статьях автора для некоторых тестовых задач в качестве примеров была показана возможность комплексной оценки природно-антропогенных систем в вероятностном пространстве многих переменных [55 – 62]. Это указывает на перспективность данного направления исследований.

Предложенные подходы отличаются новизной. Ряд гипотез, методов и средств решения поставленных задач в фундаментальной области исследований предлагается впервые.

Выводы

Таким образом, методологические и теоретические подходы для комплексной оценки природно-антропогенных систем на основе феноменологического анализа данных о состоянии природных и антропогенных сред. Подобные методы комплексной оценки предложены впервые.

Фундаментальность и оригинальность данного подхода заключается в применении естественнонаучных и математических методов при исследовании экологических проблем. Новизна путей совершенствования методологии комплексной оценки состоит в изучении возможности построения феноменологических описаний экологических систем, процессов и явлений. Также следует отметить междисциплинарный характер данного подхода, связанный с применением методов естественных наук в экологических исследованиях.

В результате исследований могут быть разработаны и установлены:

- новые принципы, теоретические методы и средства комплексной оценки природно-антропогенных систем;
- феноменологические модели данных и методика комплексной оценки природно-антропогенных систем;
- особенности и закономерности опасных процессов, а также вероятностных закономерностей неблагоприятных и опасных событий при антропогенных воздействиях на природную среду и человека;
- комплекс практических средств методического и информационного обеспечения для оценки опасностей и рисков при антропогенных воздействиях на природную среду и человека.

В настоящее время не существует аналогов, разрабатываемых методов анализа природно-антропогенных систем.

Литература

1. Environmental Health Indicators: Framework and Methodologies / Prepared by D. Briggs, Occupational and Environmental Health. – WHO, 1999.
2. Brink B.J.E. ten (2000). Biodiversity indicators for the OECD Environmental Outlook and Strategy: a feasibility study. RIVM (Bilthoven, The Netherlands). RIVM report 402001014.
3. Indicators of Sustainable Development: Guidelines and Methodologies. – United Nations, New York, 2001.
4. World Development Indicators (issued annually). World Bank. – Электр. ресурс, URL: www.worldbank.org/ (10.03.10).
5. UNEP/CBD (1997). Recommendation for a core set of indicators of biological diversity. (Convention of Biological Diversity, Montreal). UNEP/CBD/SBSTTA/3/9 and inf. 13, inf. 14.
6. Руководство по разработке и использованию национальных индикаторов биоразнообразия / UNEP: Всемирный Центр Мониторинга Сохранения, Кембридж, Великобритания, 2011. – 40 с.
7. Руководящие указания по применению экологических показателей в странах восточной Европы, Кавказа и Центральной Азии. – Женева. 2006. – 105 с.
8. European Green City Index. Assessing the environmental impact of Europe's major cities. A research project conducted by the Economist Intelligence Unit, sponsored by Siemens. Munich, Germany: Siemens AG, 2009. – 100 p. – Электр. ресурс. URL: www.siemens.com/greencityindex (29.10.2012).
9. Dale, V.H. & Beyeler, S.C. Challenges in the development and use of ecological indicators. *Ecological Indicators*, 1, 2001. – pp. 3 – 10.
10. Справочное пособие по экологической оценке. Том 1 – 3. – World Bank, Washington, 1991.
11. Згуровский М.З. Глобальное моделирование процессов устойчивого развития в контексте качества и безопасности жизни людей (2005 – 2007/2008 годы). – К.: Политехника, 2008. – 331 с.
12. Глобальная экологическая перспектива: ГЕО4 окружающая среда для развития. // Программа Организации Объединенных Наций по окружающей среде, 2007. – 572 с.
13. Глобальная перспектива в области биоразнообразия 4. Промежуточная оценка прогресса в осуществлении стратегического плана в области сохранения и устойчивого использования биоразнообразия на 2011 – 2020 годы. Секретариат Конвенции о биологическом разнообразии Монреаль, 2014. – 155 с. – Электр. ресурс. URL: www.cbd.int/GBO4 (25.10.2013).

14. Оценка экосистем на пороге тысячелетия. Экосистемы и благосостояние человека: биоразнообразии // Институт мировых ресурсов, Вашингтон, округ Колумбия, 2005. – 86 с.
15. Розенберг Г.С., Шитиков В.К. О соотношении математики и биологии в экологии // Количественные методы экологии и гидробиологии / Отв. ред. чл.-корр. РАН Г.С. Розенберг. – Тольятти: СамНЦ РАН, 2005. – С. 228 – 233.
16. Toxicology and Risk Assessment. Principles, Methods, and Applications. Anna M. Fan, Louis W. Chang. 1996.
17. Risk Assessment Methods. Approaches for Assessing Health and Environmental Risks. Vincent T. Covvello, Miley W. Merkhofer. Plenum Press, 1993.
18. Guidelines for Ecological Risk Assessment // U.S. Environmental Protection Agency. – Washington, DC, 1998. – 114 p. – Электр. ресурс. URL: <http://cfpub.epa.gov/ncea/cfm/recorddisplay.cfm?deid=12460> (21.10.2013).
19. Сафонов В.С., Одишария Г.Э., Швыряев А.А. Теория и практика анализа риска в газовой промышленности. – М.: НУМЦ Минприроды России, 1996. – 207 с.
20. Киселев А.В., Фридман К.Б. Оценка риска здоровью. Подходы к использованию в медико-экологических исследованиях и практика управления качеством окружающей среды. – С.-Пб.: Дейта, 1997. – 100 с.
21. Куценко С.А. Основы токсикологии. – С.-Пб., 2002. – 395 с.
22. Cockerham L.G., Shane B.S. (Ed.). Basic Environmental Toxicology. – Boca Raton, FL: CRC Press, 1994. – 627 p.
23. Cairns, J. Jr., McCormick, P.V. Developing an ecosystem-based capability for ecological risk assessments. *Eviron. Profession* 14, 1992. – pp. 186 – 196.
24. Шитиков В.К., Розенберг Г.С. Оценка биоразнообразия: попытка формального обобщения // Количественные методы экологии и гидробиологии / Отв. ред. чл.-корр. РАН Г.С. Розенберг. – Тольятти: СамНЦ РАН, 2005. – С. 91 – 129.
25. Доклады о человеческом развитии (1990 – 2013 гг.). – Электр. ресурс. URL: <http://hdr.undp.org/en/reports/> (25.09.2013).
26. Доклад «Живая планета» / Всемирный фонд дикой природы. Пер. с англ. 2006, 2008, 2010, 2012. – Электр. ресурс. URL: <http://www.wwf.ru/resources/publ/book/436>, <http://www.wwf.ru/resources/publ/book/584> (10.11.12).
27. Планета-сад. Глобальный экологический отчет 2012 года. Пристальный взгляд на зеленые насаждения в городах мира Husqvarna group. – 60 с. – Электр. ресурс. URL: www.husqvarnagroup.com (20.09.2013).
28. Доклад о мировом развитии. Пер. с англ. публикации Всемирного банка: 2000 – 2012. М.: Весь мир. – Электр. ресурс. URL: <http://www.vesmirbooks.ru/books/reports/wdr/>, www.worldbank.org (15.09.2013).
29. Защита окружающей среды Европы – Четвертая оценка. Европейское агентство по окружающей среде, Копенгаген. Дания: Schultz Grafisk, 2007. – 452 с. – Электр. ресурс. URL: eea.europa.eu (13.05.2013).
30. Украина в мире. Обзор международных индексов. Фонд «Эффективное управление». – 64 с. – Электр. ресурс. URL: www.feg.org.ua, www.competitiveukraine.org (20.10.2013).
31. Отчет о конкурентоспособности регионов Украины 2013. Навстречу экономическому росту и процветанию. Фонд «Эффективное управление», Украина. 2013. – 236 с. – Электр. ресурс. URL: www.feg.org.ua/uploadfiles/ckfinder/files/reports/2013/FEG_report_2013_body_rus.pdf (21.11.2013).
32. Методика вимірювання людського розвитку регіонів України. К.: Державний комітет статистики України, Національна академія наук України, Рада по вивченню продуктивних сил України, 2001. – 34 с.
33. Ukraine human development report. United nations developmen programme Kyiv, Ukraine. United Nations Development Programme. 2001, 2003, 2008. – Электр. ресурс. URL: <http://www.un.kiev.ua>, www.un.kiev.ua/ua/NHDR/index.php (12.03.2013).
34. Колдобская Н.А. Методические подходы к оценке антропогенного воздействия на урбанизированные территории на примере Московской области // Экология и промышленность России. – 2013. – № ноябрь 2013. – С. 28 – 33.
35. Сравнение стран. Описание индексов. Рейтинг регионов. Проект фонда «Эффективное управление» – Электр. ресурс. URL: http://www.feg.org.ua/cms/opisanie_indeksov.html (25.10.2013).
36. Форрестер Д. Мировая динамика. – М.: АСТ, 2003. – 379 с.
37. Уиттекер Р. Сообщества и экосистемы. – М.: Прогресс, 1980. – 328 с.
38. Goodman, Michael. Study Notes in System Dynamics. Pegasus, 1989.
39. Аверин Г.В. Системодинамика: наука о закономерностях процессов изменения и развития систем во времени. – Palmarium Academic Publishing, 2014. – 488 с.

40. Бергаланфи Л. Общая теория систем: критический обзор // Исследования по общей теории систем. – М., 1969. – С. 23 – 82.
41. Смольянинов В.М., Русинов П.С., Панков Д.Н. Комплексная оценка антропогенного воздействия на природную среду при обосновании природоохранных мероприятий. Воронеж: ВГАУ, 1996. – 126 с.
42. Артюхов В.В. Общая теория систем: самоорганизация, устойчивость, разнообразие, кризисы. М.: Книжный дом «Либроком», 2009.
43. Мусихина Е.А. Методологический аспект технологии комплексной оценки экологической емкости территорий. Издательство «Академия Естествознания», 2009. – Электр. ресурс. URL: <http://www.monographies.ru/31> (05.11.2013).
44. Артюхов В.В., Мартынов А.С. Системная методология оценки устойчивости природно-антропогенных комплексов: теория, алгоритмы, количественные оценки. 2013. – 142 с. – Электр. ресурс, URL: <http://www.sci.aha.ru/ots/Metodology.pdf>, www.sci.aha.ru (07.11.2013).
45. Бочаров В.Л. Мониторинг природно-технических экосистем / В.Л. Бочаров, Ю.М. Зинюков, Л.А. Смоляницкий. Воронеж: Истоки, 2000. – 226 с.
46. Смольянинов В.М., Русинов П.С., Панков Д.Н. Комплексная оценка антропогенного воздействия на природную среду при обосновании природоохранных мероприятий. Воронеж: Воронежский госагроуниверситет, 1996.
47. Кузнецов В.И. Возможность проведения прикладной комплексной оценки экологического состояния территории города // Комплексная экологическая оценка. С.-Пб., 1994.
48. Гухман А.А. Об основаниях термодинамики. М.: Энергоатомиздат, 1986. – 383 с.
49. База данных Программы развития ООН. – Электр. ресурс, URL: <http://hdr.undp.org/en/data> (02.08.2013).
50. База данных индикаторов развития стран мира Всемирного банка. – Электр. ресурс. URL: <http://data.worldbank.org/> (02.08.2013).
51. Торговля. Экономика. Международный Интернет-ресурс о развитии стран мира. – Электр. ресурс. URL: <http://www.tradingeconomics.com/> (02.08.13).
52. Глобальная база данных по биоразнообразию – GBIF. – Электр. ресурс. URL: <http://data.gbif.org/welcome.htm/> (25.07.13).
53. AnAge: The Animal Ageing and Longevity Database. – Электр. ресурс, URL: <http://genomics.senescence.info/species/> (25.07.13).
54. Базы данных проекта «Биоразнообразие России». – Электр. ресурс. URL: http://www.zin.ru/BioDiv/bd_dbas.htm/ (25.07.13).
55. Аверин Г.В., Звягинцева А.В. Стратегическая оценка статуса Украины в современном мире по данным международных организаций. Часть 1: теория и методика оценки // Труды ДонНТУ: Системный анализ и информационные технологии в науках о природе и обществе. – 2012. – № 1 (2) – 2(3). – С. 75 – 92.
56. Аверин Г.В., Звягинцева А.В. Стратегическая оценка статуса Украины в современном мире по данным международных организаций. Часть 2: расчеты, анализ данных и результаты. // Труды ДонНТУ: Системный анализ и информационные технологии в науках о природе и обществе. – 2013. – № 1 (4) – 2(5).
57. Аверин Г.В., Звягинцева А.В. Применение методов интеллектуального анализа данных при оценке развития Украины. Міжвідомчий збірник наукових праць. Геотехнічна механіка. Випуск 112. Дніпропетровськ, 2013. С. 242 – 255.
58. Звягинцева А.В. Методы комплексного анализа информации в оценке уровня развития регионов Украины // Матеріали V наук.-практ. конференції «ДОНБАС-2020: Перспективи розвитку очима молодих вчених», Донецьк: ДонНТУ, 2010. – С. 573 – 577.
59. Zviagintseva A.V. Biological diversity: the problem of modeling the distribution of species on the Earth / Materialy IX mezinarodni vedecko – prakticka konference “Moderni vymoženosti vědy – 2013”. – Dil 59. Biologicke vědy: Praha. Publishing House “Education and Science” s.r.o. St. 12 – 20.
60. Звягинцева А.В., Аверин Г.В. Количественная оценка рисков в экологической безопасности. Часть 2. Практическое применение методики оценки риска при загрязнении атмосферы // Вісник Донецького університету. Серія А. Природничі науки. № 1/2007. С. 353 – 363.
61. Аверин Г.В., Звягинцева А.В. Закономерности формирования опасных процессов в сложных системах // Наукові праці Донецького національного технічного університету. Серія: Інформатика, кібернетика та обчислювальна техніка, випуск 9 (132). – Донецьк: ДонНТУ. 2008. – С. 221 – 232.
62. Звягинцева А.В. Оценка опасности загрязнения атмосферного воздуха промышленных городов Украины // Геотехнічна механіка. Випуск 109. Дніпропетровськ, 2013. – С. 233 – 243.

Звягинцева Г.В. “Комплексна оцінка природно-антропогенних систем: пропозиції щодо розвитку методології”. Узагальнено наявні відомості щодо аналізу досліджень в області комплексної оцінки природно-антропогенних систем. Показано, що у даній науковій області існує ціла низка невирішених методологічних проблем. Основний недолік існуючої методології пов'язано з тим, що при комплексній оцінці природно-антропогенних систем використовуються переважно експертні методи та підходи. Тому в більшості випадків дослідження носять суб'єктивний характер, бо не враховують фундаментальних закономірностей природно-антропогенних систем. Нині основні напрямки й тенденції в області комплексної оцінки пов'язано з накопиченням та створенням усе більш великих баз даних показників стану, зміни та розвитку природно-антропогенних систем, застосуванням нових методів візуалізації та оцінки даних, використанням математичних методів аналізу даних, створенням інформаційно-аналітичних систем зберігання, обробки й представлення даних, розвитком методів комплексної оцінки, теорії оцінки ризиків і методів системної динаміки. Відзначається, що перспективи розвитку методології комплексної оцінки в дослідженнях екологічних, антропогенних, техногенних і біологічних процесів і явищ можуть бути пов'язані з конвергенцією методів системної динаміки і феноменологічних методів фізики суцільних середовищ і термодинаміки. У цьому плані пропонується розробка нових методів і засобів комплексної оцінки природно-антропогенних систем на основі використання баз даних показників, представлених у вигляді таблично-часових баз даних різних розмірів. Викладено наукові ідеї, спрямовані на розвиток методології комплексної оцінки, які полягають у прийнятті кількох гіпотез, що носять феноменологічний характер і можуть підтверджуватись або спростовуватись для даного виду природно-антропогенної системи на основі наявних дослідних даних. Зроблено припущення, що на основі баз даних показників та індикаторів з урахуванням феноменологічних описів процесів може бути створено безліч моделей у вигляді ймовірнісних залежностей. Зроблено висновки, що для вдосконалення систем оцінки небезпек і ризиків при впливах на природне середовище та людину необхідно застосування в дослідженнях природно-антропогенних систем природничо-наукових методів, які використовують феноменологічні підходи аналізу та опису фактичних даних.

Ключові слова: методологія, гіпотези, комплексна оцінка, природно-антропогенні системи, феноменологічні підходи, бази даних показників.

Zviagintseva A.V. “Comprehensive assessment of natural and human systems: proposals for the development methodology”. The available information on the analysis of research in the field of integrated assessment of natural and human systems. It is shown that in this area of science, there are a number of unresolved methodological problems. The main drawback of the existing methodology stems from the fact that a comprehensive assessment of natural and human systems are used primarily expert methods and approaches. Therefore, in most cases, studies are subjective, since it ignores the fundamental laws of natural and human systems. Currently, the main directions and trends in integrated assessment associated with the accumulation and the creation of ever more extensive databases indicators, change and development of natural and human systems, the use of new imaging techniques and evaluation of data using mathematical methods of data analysis and the creation of information-analytical storage, processing and presentation of data, development of integrated assessment, risk assessment theory and methods of system dynamics. It is noted that the prospects for an integrated assessment methodology in the study of environmental, man-made, technological and biological processes and phenomena may be related to the convergence of the methods of system dynamics and phenomenological methods of continuum physics and thermodynamics. The plan proposed the development of new methods and tools for integrated assessment of natural and man-made systems based on the use of databases indicators presented in the form of a table-temporal databases of different sizes. Outlined the scientific ideas aimed at developing a methodology for integrated assessment is to take a few hypotheses that are phenomenological and can confirm or deny for this type of natural and anthropogenic systems on the available experimental data basis. It is suggested that, based on databases and indicators based on the phenomenological descriptions of processes can be created many models in the form of probabilistic dependencies. It is concluded that for the improvement of hazard and risk assessment at the impact on the environment and humans is necessary to use in studies of natural and human systems to natural methods that use phenomenological approaches to the analysis and description of the evidence.

Keywords: methodology, assumptions, integrated assessment, natural and human systems, phenomenological approaches, indicators database.

Статья поступила в редакцию 15.01.2014
Рекомендована к публикации д-ром техн. наук Г.В. Авериным

Оценка рефлексивных связей в вероятностной логике

Андрюхин А.И.

Донецкий национальный технический университет

alexandruckin@rambler.ru

Андрюхин А.И. «Оценка рефлексивных связей в вероятностной логике». В работе представлена система булевых уравнений, которая отражает рефлексивные представления агентов. На основании этой системы булевых уравнений построена системная модель рефлексивных связей. Рефлексивные связи рассматриваются, как обратные связи в нейроморфных сетях. Представлены основные концепты использования вероятностной логики для расчетов обратных связей в логических схемах. Рассмотрено множество базовых моделей для описания состояния последних. Представлены модели известных парадоксов. Анализ парадоксальных высказываний при применении вероятностной логики с ее более мощным алфавитом, нежели булева логика, приводит к исчезновению противоречивых свойств суждений. Приведены результаты расчетов для стационарных вероятностей рефлексивных связей.

Ключевые слова: вероятностная логика, рефлексия, парадоксы, системная модель

Введение

Модель считают рефлексивной, если в ней отражена способность строить модели себя и других систем и одновременно видеть себя строящими такие модели.

Рефлексия всегда привлекала внимание специалистов различных научных направлений, так как по мнению многих известных специалистов, человека отличает от животного уровень его развития. Поэтому выполнялись исследования рефлексии с различных точек зрения и в различных областях применения [1 – 10].

Известна математико-психологическая модель Лефевра, использующая функцию $X1 = F(x1, F(x2, x3))$. Функция $X2 = F(x2, x3)$ интерпретируется как образ себя, имеющийся у субъекта. Первая переменная этой функции, представляет перцептивный вход, а второй переменной соответствует ментальный образ себя.

Получен известный результат, что функциональное уравнение

$$\Phi(x1, \Phi(x2, x3)) = x1 + (1 - x1)(1 - x2)x3,$$

где $x1, x2, x3$ – числа из $[0,1]$ и все значения $\Phi(x, y)$ принадлежат $[0,1]$, имеет единственное решение $\Phi(x, y) = 1 - y + xy = F(x, y)$ [6].

Впервые вероятностная логика (ВЛ) для построения надежных технических систем использовалась в [4]. Активная роль вероятностной логики в исследованиях искусственного интеллекта [11].

В современной компьютерной индустрии известны аппаратные реализации PCMOS «вероятностных комплементарных металлоксидных полупроводников» (Probabilistic Complementary Metal-Oxide Semiconductor) [12]. В ней определение возможности события, ранее требовавшее множества транзисторов, сводится к операции в одном или нескольких вентилях, в которых ис-

ходные и выходной сигналы – вероятности (эти аспекты рассматриваются ниже).

Целью исследования является оценка возможностей синтетического направления, которое соединяет:

- а) известное направление построения надежных систем из ненадежных элементов [1];
- б) расширения булевой логики, в частности ВЛ и индуктивной логики;
- в) исследования рефлексивных связей как обратных связей в нейроморфных системах.

Задачей данного исследования является построение системной модели отображения рефлексивных связей и их вероятностных равновесных характеристиках в известных логических парадоксах.

Описание булевых связей между агентами

Набор определенных состояний внешней среды и элементов систем в каждый момент времени назовем ситуацией. Ситуация может быть описана множеством отношений R между объектами внешней среды и элементами систем S_i . На базе информации, поступающей из внешней среды и подсистем, система S_i может построить информационную модель ситуации A , которую мы обозначим $J_i(A)$ – информационная модель ситуации A для системы S_i . Само состояние модели $J_i(A)$ описывается путем указания истинности некоторых предикатов $P_{ij}(A)$. Эти предикаты соответствуют отношениям $r_{ij} \in R_i$, где R_i – множество отношений для системы S_i , которые определяются на основании ее данных наблюдений.

Рассмотрим коллектив из N агентов различных типов, каждый из которых может быть описан набором булевых переменных $a_i = (a_{i,1}, a_{i,2}, \dots, a_{i,n}), i=1, N$ [5 – 7]. Будем понимать под состоянием ситуации A в определенные моменты

времени $t_1, t_2, \dots, t_K, k=1, K$ значения компонентов a_i . Каждый агент a_i выполняет оценку ситуации A указанием истинности или ложности булево-значной функции $f_i(t_k, A)$, которые принадлежат Π . Считаем, что функционирование агентов представимо наиболее применяемой автоматной моделью для описания систем согласно рисунка 1.

Необходимо упомянуть, что в автоматной модели системы обычно определяют функцию выхода и функцию перехода. Так как мы считаем тип агента неизменным, то функцию перехода по состояниям можно не задавать, т.к. можно считать, что состояние единственно.

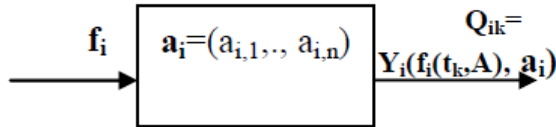


Рисунок 1. – Оценка значения воздействия $f_i(t_k, A)$ агентом a_i логическим значением Q_{ik}

Следовательно, информация, получаемая в моменты времени $t_k, k=1, K$, может быть выражена системой булевых уравнений:

$$i(f_i(t_k, A), a_i) \oplus Q_{ik} = 0, i=1, N, k=1, K, \quad (1)$$

где $Q_{ik} \in (True, False), \oplus (Exor)$ – операция сумма по модулю 2. Далее считаем, что значения $True (False)$ кодируются 1(0) соответственно.

Пусть $P1(A)$ и $P2(A)$ – булевозначные функции (предикаты, булевы функции). Определим булеву функцию $T(P1, P2)$ равную 1, если $P1=P2$ и 0 в противном случае. Тогда значение функции $T(P1, P2)$ можно вычислять согласно формуле (2), следуемой из ее таблицы истинности (табл. 1):

$$T(P1, P2) = \neg(P1 \oplus P2). \quad (2)$$

Легко показать, что для булевой переменной x $T(x, 0) = \bar{x}, T(x, 1) = x$.

Важно отметить, что система булевых уравнений (1) может не иметь решений для определенного момента времени t_k или определенного множества Π .

Примерами являются известные классические парадоксы, которые показывают ограниченность булевой логики для описания человеческого мышления, т.е. нет булевых решений для систем логических уравнений, которыми мы описываем парадоксы.

Таблица 1. – Таблица истинности $T(P1, P2)$

$P1$	$P2$	$T(P1, P2)$
0	0	1
0	1	0
1	0	0
1	1	1

1. Парадокс лжеца: «Я лгу».

2. Парадокс о Сократе и Платоне: Сократ: «То, что сказал Платон, есть ложь», Платон: «Сократ говорит только правду».

3. Парадокс Журдэна (эквивалент предыдущего парадокса):

«Второе предложение ложно. Первое предложение верно».

4. Парадокс Альберта Саксонского:

$Q1$: «Предложение $Q2$ ложно»;

$Q2$: «Предложение $Q3$ ложно»;

$Q3$: «Предложение $Q1$ ложно».

Для этих парадоксов нет булевых решений.

Рассмотрим парадокс лжеца. Обозначим через Q тип высказывающего человека.

Имеем уравнение $Q = T(Q, False) = T(Q, 0)$ и получаем противоречие:

$$Q = \bar{Q}.$$

Рассмотрим парадокс Журдэна. Учитывая кодировку $True(False)$ соответственно 1(0), получаем уравнения $Q1 = T(Q2, 0), Q2 = T(Q1, 1)$. Отсюда $Q1 = \bar{Q2}, Q1 = Q2$. Складывая их по модулю 2, получаем $Q1 \oplus Q1 = \bar{Q2} \oplus Q2$ или $0 = 1$.

Рассмотрим парадокс Альберта Саксонского. Имеем уравнения $Q1 = T(Q2, 0), Q2 = T(Q3, 0), Q3 = T(Q1, 0)$. Согласно (2) $Q1 = \bar{Q2}, Q2 = \bar{Q3}, Q3 = \bar{Q1}$. Складывая их по модулю 2, получаем $Q1 \oplus Q2 \oplus Q3 = \bar{Q1} \oplus \bar{Q2} \oplus \bar{Q3}$. Прибавляя к левым и правым частям $Q1 \oplus Q2 \oplus Q3$, получим $0 \oplus 0 \oplus 0 = 1 \oplus 1 \oplus 1$ или $0 = 1$.

Основные концепты вероятностной логики

Основными элементами вероятностной логики являются логические связки-операции ($\neg, \wedge, \vee, \leftrightarrow, \rightarrow$) с индексом p , с помощью которого мы указываем вероятностную оценку истинности определенной формулы [12 – 14]. Пример интерпретация вероятностного отрицания \neg_p представлен в таблице 2.

Таблица 2. – Вероятностное отрицание

Вход X	Выход $\neg_p X$	
	0	1
0	$1-p$	p
1	p	$1-p$

Нужно отметить, что ВЛ не является дистрибутивной и ассоциативной.

Общие сведения о свойствах и операциях ВЛ представлены в таблице 3, для которой справедливо $r = pq + (1-p)(1-q)$.

Таблица 3. – Свойства и операции ВЛ

1	Коммутативность	$X \vee_p Y \leftrightarrow Y \vee_p X$ $X \wedge_p Y \leftrightarrow Y \wedge_p X$
2	Двойное отрицание	$\neg_q(\neg_p X) \leftrightarrow \neg_p(\neg_q X)$ $\neg_p 0 \leftrightarrow \neg_1(\neg_p 1)$ $\neg_p 1 \leftrightarrow \neg_1(\neg_p 0)$
3	Операции с 1 и 0	$(0 \wedge_p Y) \leftrightarrow \neg_p 1$ $(1 \wedge_p Y) \leftrightarrow \neg_1(\neg_p Y)$ $(0 \vee_p Y) \leftrightarrow \neg_1(\neg_p Y)$ $(1 \vee_p Y) \leftrightarrow (\neg_p 0)$
4	Эквивалентность	$(Y \wedge_p Y) \leftrightarrow \neg_1(\neg_p Y)$ $(Y \vee_p Y) \leftrightarrow \neg_1(\neg_p Y)$
5	Вероятностная тавтология	$(Y \wedge_p(\neg_1 Y)) \leftrightarrow \neg_p 1$ $(Y \vee_p(\neg_1 Y)) \leftrightarrow \neg_p 0$
6	Вероятностная формула де Моргана	$\neg_q(X \vee_p Y) \leftrightarrow \neg_1 Y \wedge_r$ $\neg_1 X$ $\neg_q(X \wedge_p Y) \leftrightarrow \neg_1 Y \vee_r$ $\neg_1 X$

Применение ВЛ для описания функционирования PCMOS-схем можно проиллюстрировать, анализируя основные примитивы этой технологии, из которых мы рассмотрим инвертор на рисунке 2 с соответствующей таблицей 2.

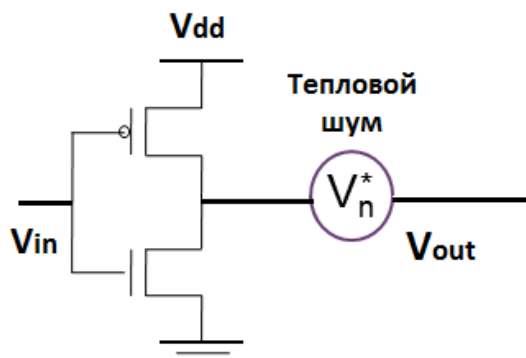


Рисунок 2. – Моп-инвертор

Согласно современным представлениям тепловой шум влияет на выходное значение инвертора согласно зависимости, представленной на рисунке 3.

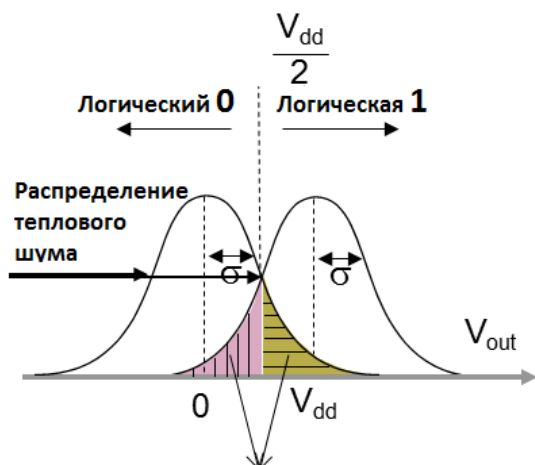


Рисунок 3. – Вероятностная модель инвертора

Вероятность правильной работы инвертора может быть определена выражением (*erf*-функция Лапласа):

$$P = (1 + \text{erf}(V_{dd}/(2/\sqrt{2}\sigma)))/2.$$

Для целей статьи, т.е. для обработки рефлексивных предложений, выполним упрощение рисунка 1 к виду, представленному на рисунке 4. Здесь *Pr*-вероятность правильной оценки воздействия *X* и соответствующего ответа *Y*.

Мы интерпретируем *X, Y* как вероятности. Изображенный узел является простейшим вероятностным преобразователем, который при *Pr*, близкому к 1, выполняет операцию $T(X, Pr)$ при $X=0$ или 1. Это означает, что если *Pr* булева переменная, а *X* – действительное число (вероятность), мы продолжаем функции $T(X, 0)$, $T(X, 1)$ на вещественный отрезок (0,1) функциями $1-X$ и X соответственно.

Подчеркнем, что $T(p, q) = r = pq + (1-p)(1-q)$.

Заметим, что предлагаемый преобразователь явно ассоциируется с «предложение есть речение, в котором что-нибудь утверждается или отрицается относительно чего-нибудь другого» [15, с.73].

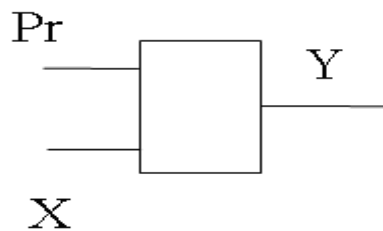


Рисунок 4. – Вероятностный преобразователь

Отметим, что в конкретной рассматриваемой ситуации (момент времени) преобразователь выполняет только одну из этих функций (отрицания или подтверждения).

Расчет для схем без обратных связей

При расчете выходных частот для логических схем мы используем методику из [16]. Для этого выполняем замену булевых выражений алгебраическими выражениями, согласно $X \vee Y = X + Y - XY$, $X \wedge Y = XY$, $\bar{X} = 1 - X$, $X \oplus Y = X + Y - 2XY$, где *X, Y* в правых частях равенств являются положительными действительными переменными не больше 1. Мы интерпретируем их как частоту появления 1 в двоичной случайной последовательности. Таким образом, мы просто находим распределение конкретной функции от случайных величин с известными распределениями.

На рисунках 5, 6, 7 приведены функции распределения для действительных выражений (соответствующих булевым) и *X, Y* имеют равномерное распределение на (0,1).

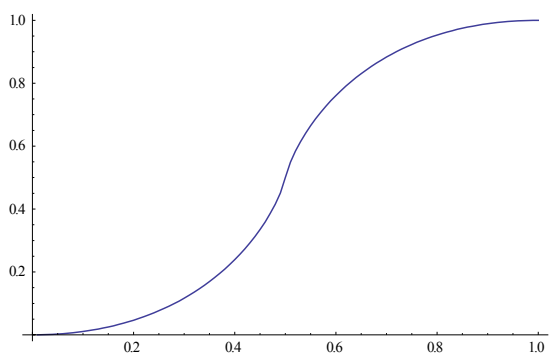


Рисунок 5. – Функция распределения $X+Y-2XY$

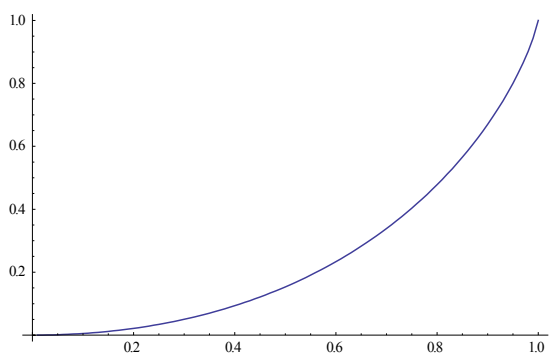


Рисунок 6. – Функция распределения $X+Y-XY$

Необходимо отметить, что для базовых элементов мы можем иногда построить аналитические выражения для функции распределения для конкретного распределения X, Y (равномерного, треугольного и т.п.), но для наших задач мы всегда можем построить эмпирическую функцию распределения, используя методы статистического моделирования.

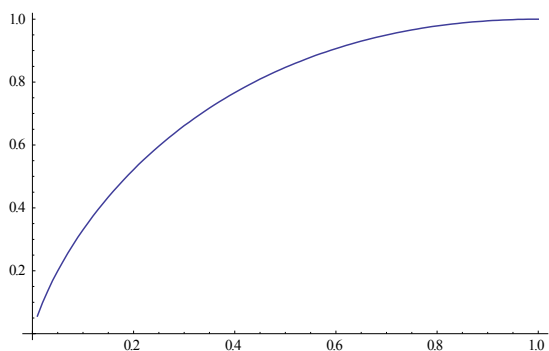


Рисунок 7. – Функция распределения XY

Так, кривую на рисунке 4 для $X+Y-XY$ (X, Y имеют равномерное распределение) мы можем описать выражением $t - (-1+t) \ln(1-t)$, где $t \in (0, 1)$.

Расчет для схем с обратными связями

При расчете значений выходных величин Y мы предполагаем их стационарность в установившемся режиме и, следовательно, мы решаем уравнения

$$Y = F(X, Y).$$

Решение существует, так как F есть сжимающее отображение (является суперпозицией функций соответствующих логическим операциям-связкам).

Так согласно этому предположению на рисунке 8 стационарная выходная частота Y равна $1/(1+X)$, 0.5 и 0.5 для примитивных операций И-НЕ, НЕ и отрицанию суммы по модулю 2 (исключающее ИЛИ) соответственно.

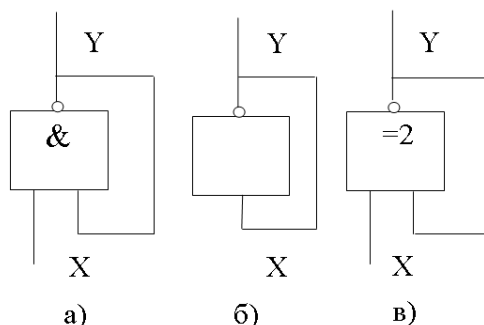


Рисунок 8. – Расчет параметров ОС для примитивов

Рассмотрим менее тривиальную схему, представленную на рисунке 9 и график функции ее выхода Y при различных P, Q на рисунке 10.

На основании вида этой функции распределения можно сделать вывод о достоверности логического утверждения Y .

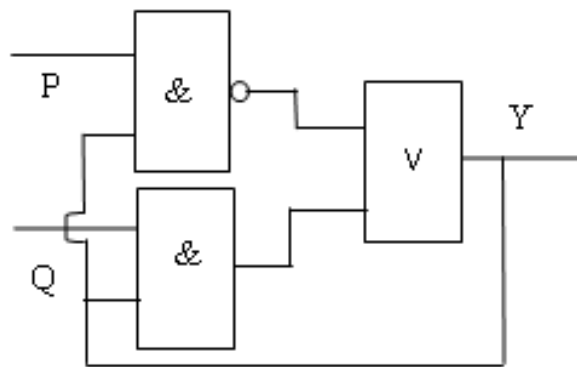


Рисунок 9. – Пример схемы с ОС

В данном примере мы можем аналитически определить равновесную частоту для выхода Y $Y = (1 + P - (1 + 2P + P^2 - 4PQ)^{0.5}) / 2PQ$.

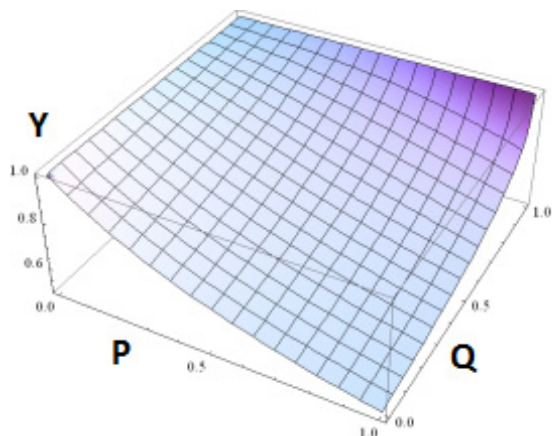


Рисунок 10. – График функция Y

Расчет параметров рефлексивных связей для языковых парадоксов

Для языковых парадоксов необходим системный анализ всей информации при рассмотрении конкретной вербальной ситуации и восстановление умалчиваемой или подразумеваемой информации.

Так, при анализе парадокса о Сократе и Платоне: Сократ: «То, что сказал Платон, есть ложь», Платон: «Сократ говорит только правду», необходимо строить модель на основании всего текста, а не рассматривать модель каждого предложения (известный системный принцип целостности).

Каждый из субъектов (Платон и Сократ) может быть представлен преобразователем моделью согласно рисунку 4, а общей вербальной ситуации соответствует рисунку 11, где визуально имеем неявную в тексте обратную связь.

Согласно модели на рисунке 12 имеем $X_1=Y_2$, $X_1=Y_2$, $X_3=Y_1$, $X_2=Y_3$ и $Y_1=P(1-X_1)$, $Y_2=R(1-X_2)$, $Y_3=Q(1-X_3)$.

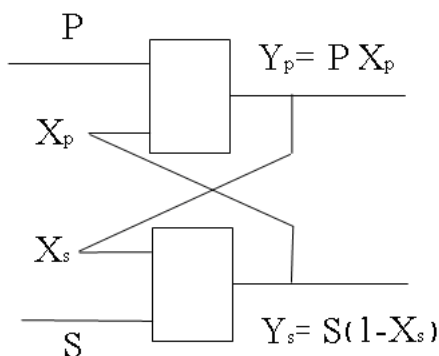


Рисунок 11. – Парадокс Платон-Сократ

Согласно рисунка 11 имеем $X_s=PY_p=PX_p$ и $X_p=SY_s=S(1-PX_p)$. Следовательно, стационарные частоты $X_p=S/(1+PS)$ и $X_s=PS/(1+PS)$.

Выполним аналогичный расчет для парадокса Альберта Саксонского (рис. 12):
 $Q1$: «Предложение $Q2$ ложно»;
 $Q2$: «Предложение $Q3$ ложно»;
 $Q3$: «Предложение $Q1$ ложно».

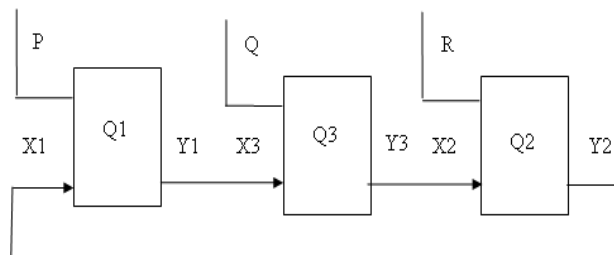


Рисунок 12. – Модель парадокса Альберта Саксонского

Отсюда определяем стационарные (равновесные) частоты:

$$Y_1=P(1-R+RQ)/(1+PRQ),$$

$$Y_2=R(1-Q+PQ)/(1+PRQ),$$

$$Y_3=Q(1-P+RP)/(1+PRQ).$$

Выводы

Научная новизна работы заключается в том, что впервые была предложена методика построения системы булевых уравнений, которые отражают рефлексивные представления агентов относительно идентификации логического состояния других агентов и себя в частности. Получены вероятностные характеристики рефлексивных связей в равновесных состояниях.

Практическая значимость результатов состоит в получении оценок состояния агентов коллектива, что позволяет более точно и эффективно прогнозировать поведение последних. Это приводит к уменьшению временных затрат при взаимодействии и является основой более эффективного сотрудничества.

Результаты работы, помимо теории мультиагентных систем и создания нейроморфных систем, могут быть использованы в технической диагностике, логической идентификации систем.

Литература

1. Тейяр де Шарден П. Феномен человека. М., 2001.
2. Д. Хофштадтер. Гедель, Эшер, Бах: эта бесконечная гирлянда. Самара, 2001. – 752 с.
3. Налимов В.В. Вероятностная модель языка. М.: Наука, 1979. – 303 с.
4. Нейман Дж. Вероятностная логика и синтез надежных организмов из ненадежных компонент // Шеннон К.Э., Маккарти Дж. Автоматы Сборник статей. – Пер. с англ. – М.: Издательство иностранной литературы, 1956. – 403 с.

5. Андрюхин А.И., Кузнецов А.В. Компьютерное исследование физических аспектов рефлексивности мышления человека // Научные труды ДГТУ. Серия: «Проблемы моделирования и автоматизации проектирования динамических систем». Вып. 29.2002 г. С. 218 – 226.
6. Lefebvre, V.A. A Psychological Theory of Bipolarity and Reflexivity. Lewiston, N.Y.: The Edwin Mellen Press. 1992.
7. Андрюхин А.И., Артеменко В.А. Рефлексивная компьютерная модель и логическая идентификация состояния коллектива агентов // Наукові праці ДонНТУ. Вип. 15 (203) Серія “Інформатика, кібернетика та обчислювальна техніка”. С. 101 – 106.
8. Лепский В.Е., Зорина Г.И. Рефлексивное предприятие XXI века // Рефлексивные процессы и управление, № 2, 2005, том 5. С. 21 – 40.
9. Wenpin Jiao. Multi-agent cooperation via reasoning about the behavior of others // Computational Intelligence, Vol. 26, Num. 1, 2010. – pp. 57 – 83.
10. J.M. Vidal. Fundamentals of Multiagent Systems with NetLogo Examples. March 1, 2010.
11. Витяев Е.Е., Перловский Л.И., Ковалерчук Б.Я., Сперанский С.О. Вероятностная динамическая логика мышления // Нейроинформатика, 2011, том 5, № 1.
12. Pinar Korkmaz, “Probabilistic CMOS (PCMOS) in the Nanoelectronics Regime”, PhD Thesis, Georgia Institute of Technology, December 2007.
13. A. Darwiche. Modeling and Reasoning with Bayesian Networks. – New York, Cambridge University Press, 2009.
14. Pearl D. Probabilistic Reasoning in Intelligent Systems: Networks of Plausible Inference. – Morgan-Kaufmann, 1988.
15. Милль Д.С. Система логики силлогистической и индуктивной: Изложение принципов доказательства в связи с методами научного исследования. – М.: ЛЕНАНД, 2011. – 832 с.
16. Малюгин В.Д. Параллельные логические вычисления посредством арифметических полиномов. – М.: Наука, Физматлит, 1997.

Андрюхін О.І. “Оцінка рефлексивних зв'язків в ймовірнісній логіці”. В роботі представлена система булевих рівнянь, яка відображає рефлексивні уявлення агентів. На підставі цієї системи булевих рівнянь побудована системна модель рефлексивних зв'язків. Рефлексивні зв'язку розглядаються, як зворотні зв'язки в нейроморфних мережах. Представлено основні концепти використання ймовірнісної логіки для розрахунків зворотних зв'язків у логічних схемах. Розглянуто безліч базових моделей для опису стану останніх. Представлено моделі відомих парадоксів. Аналіз парадоксальних висловлювань при застосуванні ймовірнісної логіки з її більш потужним алфавітом, ніж булева логіка, призводить до зникнення суперечливих властивостей суджень. Наведено результати розрахунків для стаціонарних ймовірностей рефлексивних зв'язків.

Ключові слова: ймовірнісна логіка, рефлексія, парадокси, системна модель

Andruckin A.I. “Evaluation of reflexive relations in probabilistic logic”. The aim of the study is to assess the capabilities of the synthetic direction, which connects a known direction of building reliable systems from unreliable elements, expansion of Boolean logic, in particular, of the PBL and inductive logic and study of reflexive relations as feedbacks in neuromorphic systems. The objective of this study is to construct a system model of reflexive relations and their probabilistic characteristics of equilibrium in certain logical paradoxes. The article presents a system of Boolean equations, which reflects the resubmission of reflexive agents. On the basis of this system of Boolean equations built system model of reflexive relations. Reflexive communication are considered as feedback in neuromorphic networks. The basic concepts of using probabilistic logic is presented for calculation of feedbacks in logic circuits. Set of base models are considered to describe the state. Models of famous paradoxes are presented. Analysis of paradoxical statements in the application of probabilistic logic with its more powerful alphabet than Boolean logic leads to the disappearance of conflicting judgments properties. he work proposed a method for constructing a system of Boolean equations that reflect reflexive representation of agents with respect to the identification of the logical state of other agents and himself in particular. Probabilistic characteristics of reflexive relations were obtained in equilibrium. The results, in addition to the theory of the creation of multi-agent systems, and neuromorphic systems may be used in the technical logical identification and diagnosis systems. The results of calculation for the stationary probabilities of reflexive relations are presented for logical paradoxes of Plato and Socrates, Albert of Saxony.

Keywords: probabilistic logic, reflection, paradoxes, the system model.

*Статья поступила в редакцию 29.01.2014
Рекомендована к публикации канд. техн. наук А.В. Григорьевым*

Модели существования и распространения видов животных для количественной оценки биологического разнообразия

Звягинцева А.В.

Донецкий национальный технический университет

anna_zv@ukr.net

Звягинцева А.В. «Модели существования и распространения видов животных для количественной оценки биологического разнообразия». Дана краткая характеристика биологического разнообразия Земли. Показано, что построение глобальных моделей биоразнообразия невозможно без предварительной разработки моделей существования видов, которые бы характеризовали взаимосвязь биологических параметров организмов, а также невозможно без создания количественных моделей распространения видов на планете. При оценке существования видов в работе использованы статистические вероятности совместных событий, связанные с наблюдением биологических параметров организмов. Для оценки вероятности распространения видов предложено использовать геометрические вероятности, представляющие собой отношение площади ареала распространения каждого из видов к площади сухопутной части земной поверхности. В качестве примера для таксонов мышеобразных, белкообразных и приматов разработаны модели существования и распространения видов. Сделаны выводы, что такие модели являются одним из основных инструментов построения эволюционной теории развития жизни на Земле.

Ключевые слова: модели, распространение видов, количественная оценка биоразнообразия.

Введение

Биоразнообразие представляет собой уникальную особенность живой природы, которая связана с возникновением структурной сложности и многообразия экологических систем. Биоразнообразие обеспечивает стабильность экосистем во времени и устойчивость к изменениям внешней среды. Скорее всего, именно биоразнообразие является основой существования всего живого на нашей планете. Уровень разнообразия как внутри каждого вида, так и в рамках всей биосферы признан в биологии одним из главных показателей жизнеспособности живой природы – это основа эволюции жизненных форм. Снижение видового и генетического разнообразия подрывает дальнейшее развитие форм жизни на Земле.

Понятие биоразнообразия сформировалось на современном этапе развития человечества, когда деятельность человека стала фактором планетарного масштаба или, как было отражено в работах В.И. Вернадского, «мощной геологической направляющей силой дальнейшей эволюции биосферы». Впервые словосочетание «биологическое разнообразие» применил Г. Бэйтс (1892 г.) в известной работе «Натуралист на Амазонке», описывая свои впечатления от встречи с живым облаком из 700 разных видов бабочек. Активно термин «биологическое разнообразие» используется не менее полувека. За это время много сделано для

понимания самого явления и разработки методов его оценки. В настоящее время разнообразие рассматривается как основной фактор, характеризующий состояние надорганизменных систем. В ряде стран именно характеристика биологического разнообразия выступает в качестве основы экологической политики государств, стремящихся сохранить свои биологические ресурсы, чтобы обеспечить устойчивое развитие.

Биологическое разнообразие в трактовке, принятой Конференцией ООН по окружающей среде и развитию, представляет собой биологический ресурс страны, который выполняет важнейшую средообразующую функцию. Оценка биоразнообразия имеет большое значение, так как позволяет контролировать сохранение генетического потенциала, дает представление о состоянии экосистем на определенной территории, позволяет изучить тенденции в изменении биоценозов, а также установить факторы, угрожающие разнообразию. Исследования в этом направлении обеспечивают решение вопросов происхождения, структуры и динамики многообразия организмов на разных уровнях организации от организменного до экосистемного и биосферного, а также выполнение прикладных задач в области биотехнологии, медицины, биологической безопасности и т.д.

Мониторинг биоразнообразия связан с системой наблюдения за биосферой, развитием информационных баз данных разнообразия видов, а также с анализом тенденций и закономерностей развития биологической жизни на Земле.

Однако, на сегодняшний день проблема биоразнообразия относится к тем областям научного знания, которые опираются преимущественно на описательные методы. Несмотря на то, что имеется множество самых разных моделей и количественных оценок биоразнообразия, обобщающая теория данного явления отсутствует, а связь научных методов науки с эмпирическими данными пока не достаточна. Развитие биологических наук получило качественный скачок после создания систематики животного и растительного мира – науки о разнообразии биологических организмов, о взаимоотношениях и родственных связях между их различными группами (таксонами). Недаром биологическую систематику называют математикой биологии. Однако, биологическая систематика дает качественное описание и общую логическую классификацию видов, при этом эмпирические данные слабо отражают классификацию количественных характеристик видов.

Развитие теоретической методологии биоразнообразия с учетом биологической систематики может начаться с создания структурированных баз количественных данных, которые несут информацию об основных показателях видов и характеристиках их распространения в природе, а также об условиях, в которых эти виды существуют. В последнее время подобные базы данных, которые охватывают тысячи видов и десятки показателей и характеристик видов, начинают создаваться и выставляться в открытом доступе (например, AnAge: The Animal Ageing and Longevity Database). Также уже созданы архивы повторного анализа климатических данных, которые охватывают территорию всей планеты и могут характеризовать условия существования видов (AMIP/DOE Reanalysis aka NCEP/NCAR R2, ERA-Interim, MERRA, 20CR – 20 Century Reanalysis). Объединение подобных баз данных позволит создать эмпирическую основу для поиска закономерностей и разработки теории биоразнообразия. При этом видны две задачи биологического моделирования, связанные с существованием биологических видов и распространением видов. Первая задача посвящена анализу количественных показателей видов, исходя из имеющейся биологической систематики. Вторая задача связана с распространением видов на планете с учетом условий окружающей среды на территориях их наблюдаемого распространения.

Уровни биологического разнообразия, их особенности и взаимосвязь

Биологическое разнообразие – это показатель, характеризующийся числом видов живых организмов, обитающих на единице площади суши или объема водоема. В широком понимании этот термин соответствует понятию «жизнь на Земле». Биологическое разнообразие создается на молекулярном (возникновение генетических вариаций), популяционном (действие естественного отбора) и видовом (видообразование) уровнях с последующим увеличением биоразнообразия на биоценологическом и биосферном уровнях. Отсюда берут начало три ветви биоразнообразия: генетическое, видовое и экологическое. Каждая ветвь подразделяется на уровни, которые имеют свои особенности и составляют предмет изучения таких наук, как генетика, систематика и экология. Ветви тесно переплетаются, и каждая из них необходима для существования жизни на Земле.

Генетическое разнообразие представляет собой весь объем наследственно закрепленной информации, содержащейся в генах всех живых видов, включая растения, животные, грибы и микроорганизмы. Генетическое разнообразие – это разнообразие популяций по признакам или маркерами генетической природы. Данный вид разнообразия представляет собой важный компонент генетической характеристики популяции, группы популяций или вида и имеет большое значение для экологической пластичности популяций, позволяя им адаптироваться к изменениям условий. Этот уровень разнообразия необходим любому виду для сохранения репродуктивной жизнеспособности, устойчивости к заболеваниям, способности к адаптации в меняющихся условиях. Современные представления о проблеме генетического разнообразия базируются на исследованиях популяционных генетиков 1908 – 1953 годов, показавших, как создается генетическое разнообразие организмов во внешне однородной популяции и разработавших математический аппарат для его объективного описания.

Видовое разнообразие отражает количество видов и частоту встречаемости особей разных видов на конкретных территориях или в целом на планете. Видовой уровень разнообразия в большинстве случаев рассматривается как базовый, а вид является опорной единицей учета биоразнообразия. Разнообразие видов демонстрирует богатство эволюционной и экологической адаптации видов к различным средам. Определенные виды внутри биологических сообществ могут играть настолько важную роль, что определяют способность других видов сохраняться в сообществе. Такие ключевые виды влияют на организацию сообщества в гораздо большей

степени, чем это можно было бы предсказать, исходя из их численности или биомассы. Вслед за исчезновением ключевых видов, даже на охраняемой территории, могут исчезнуть и многие другие виды. Каждый вид, популяция имеют не только индивидуальную «норму реакции» на факторы окружающей среды, но и «пределы средообразующей деятельности». Только благодаря этому планета имеет биосферу, обеспечивающую жизнь биоты, климат, разнообразие экосистем.

Самый высокий иерархический уровень биологического разнообразия – экосистемный, или ландшафтный. Экосистемное (ландшафтное) разнообразие образуется совокупностью местообитаний биотических сообществ и экологических процессов в пределах отдельных экосистем и биосферы в целом. Экосистемное многообразие в большинстве случаев оценивается через многообразие видового компонента (например, биоразнообразия территорий, биомассу видов различных классов на разных трофических уровнях). В природе не бывает однородных сред обитания. Виды животных и растений, встречающиеся в двух совершенно различных экологических системах, могут различаться очень незначительно, однако в разных местах обитания они образуют совершенно различные связи и формируют различные сообщества, чем достигается еще большее разнообразие на уровне экологических систем. Каждый тип экосистемы – результат преобразования участка территории или акватории строго определенной группой организмов. В то же время разнообразие на уровне сообществ представляет собой коллективный отклик видов на различные условия окружающей среды. На экосистемном уровне закономерности биологического разнообразия определяются, в первую очередь, зональными ландшафтными условиями, потом местными особенностями природных условий (рельефа, почв, климата), а также историей развития этих территорий. Наибольшим видовым разнообразием отличаются (в порядке убывания): влажные экваториальные леса, коралловые рифы, сухие тропические леса, влажные леса умеренного пояса, океанические острова, ландшафты средиземноморского климата, безлесные (саванновые, степные) ландшафты.

Для выживания видов и природных сообществ необходимы все уровни биологического разнообразия. На каждом уровне биоразнообразия – видовом, генетическом и экосистемном специалисты изучают механизмы, изменяющие или сохраняющие разнообразие.

Все типы биологического разнообразия взаимосвязаны между собой: генетическое разнообразие обеспечивает разнообразие видов. Разнообразие экосистем и ландшафтов создает

условия для образования новых видов. Повышение видового разнообразия увеличивает общий генетический потенциал живых организмов биосферы. Каждый вид вносит свой вклад в разнообразие – с этой точки зрения не существует ненужных и вредных видов.

Глобальное разнообразие. Особенности и закономерности видового богатства

Оценки степени биологического разнообразия Земли впервые были предприняты биогеографами, которые в XVIII – XIX веках разработали схемы ботанико-географического и зоогеографического разделения поверхности нашей планеты по степени своеобразия флоры и фауны. В XX веке такие же схемы были составлены не только для флоры и фауны, но и для сообществ растений, животных, биогеоценозов. Ученые отмечают, что всего на нашей планете обитает до 100 млн. видов, однако более реальным числом оценки глобального биоразнообразия считается 14 миллионов видов [1 – 6]. В то же время данные о количестве описанных представителей всех пяти основных царств на Земле составляют лишь 1,75 млн. видов, т.е. менее 15 % (табл. 1, [5]). Эти материалы обобщены WCMC – Всемирным центром мониторинга биоразнообразия в Кембридже (Великобритания) – и могут быть уточнены. Кроме того, на нашей планете идет постоянный процесс появления и вымирания видов, подвидов, форм и рас. Есть таксономические группы (например, среди бактерий, грибов, водорослей), где характерное время формообразования исчисляется часами, сутками, месяцами. Человек, особенно в рамках генной инженерии, выводит новые виды с полезными для себя свойствами, создает дополнительное многообразие популяций и форм известных организмов, их сообществ и экосистем.

В настоящее время по оценкам ученых считается, что из всех видов живых организмов, распространенных на нашей планете, 74 % видов связано с тропическим поясом, 24 % – с умеренными широтами и 2 % – с полярными районами [7].

Видовое разнообразие почти всех групп организмов увеличивается в направлении тропиков. Например, в Таиланде обитает 251 вид млекопитающих, а во Франции – только 93, несмотря на то, что площади обеих стран примерно одинаковы (табл. 2; WRI, 1994).

Контраст особенно заметен в случае с деревьями и другими цветочными растениями: на 10 га леса в Перуанской Амазонии может произрастать 300 и более видов деревьев, в то время как такой же по площади лес в умеренном климатическом поясе Европы или США может быть образован 30 видами деревьев.

Таблица 1. – Глобальное биоразнообразие Земли

Царство	Тип	Число описанных видов	Суммарная оценка числа видов
Бактерии		4 000	1 000 000
Протисты		80 000	600 000
Животные (позвоночные)	Суммарно,	52 000	55 000
	в том числе:		
	Млекопитающие	4 630	
	Птицы	9 946	
	Рептилии	7 400	
	Амфибии	4 950	
Животные (беспозвоночные)	Рыбы и круглоротые	25 000	
	Насекомые и многоножки	963 000	8 000 000
	Моллюски	70 000	200 000
	Нематоды	25 000	400 000
	Ракообразные	40 000	150 000
Грибы		72 000	1 500 000
Растения		270 000	320 000
Итого		1 750 000	14 000 000

Таблица 2. – Число видов млекопитающих в странах тропического и умеренного пояса

Страны тропического климата	Площадь (тыс. км ²)	Число видов млекопитающих	Страны умеренного климата	Площадь (тыс. км ²)	Число видов млекопитающих
Бразилия	8456	394	Канада	9220	139
ДР Конго	2268	415	Аргентина	2737	258
Мексика	1909	439	Алжир	2382	92
Индонезия	1812	515	Иран	1636	140
Колумбия	1039	359	ЮАР	1221	247
Венесуэла	882	288	Чили	748	91
Таиланд	511	251	Франция	550	93
Филиппины	298	166	Великобритания	242	50
Руанда	25	151	Бельгия	30	58

Тропические леса выделяются наибольшим разнообразием видов. Хотя эти леса покрывают лишь 7 % поверхности Земли, в них живет более половины видов планеты. Считают, что число еще не определенных видов насекомых в тропических лесах колеблется от 5 до 30 млн.

Состояние видового богатства зависит от локальных особенностей топографии, климата, окружающей среды, геологического возраста местности и т.д.

В наземных сообществах видовое богатство обычно увеличивается с понижением высотности, увеличением сложности рельефа, повышением солнечной радиации и увеличением количества осадков. В умеренном поясе высокое флористическое разнообразие характерно для юго-западной части Австралии, Южной Африки и других областей со средиземноморским типом климата с его мягкой, влажной зимой и жарким сухим летом.

Разнообразие морских видов также увеличивается в направлении тропиков. В

открытом океане наибольшее видовое богатство формируется там, где встречаются разные течения, но границы этих областей, как правило, нестабильны во времени.

Современные максимальные показатели биоразнообразия определены в таблице 3 [8].

Несмотря на высокое ландшафтное разнообразие, биоразнообразие на территории Российской Федерации сравнительно низкое по сравнению с более южными регионами. Территория страны включает ландшафты 8 природных зон: полярные пустыни, арктическая и субарктическая лесотундра, тайга, лиственные леса, степи, полупустыни и пустыни. Здесь обитают сотни тысяч различных представителей флоры и фауны, составляющих от 1 до 20 % мирового разнообразия таксонов [4, 9, 10].

На территории России представлено около 6 % мировой флоры сосудистых растений, 7 % мировой фауны млекопитающих, порядка 10 % фауны насекомых и почти 8 % – фауны птиц нашей планеты (табл. 4, [10, 11]).

Таблица 3. – Современные максимальные показатели биоразнообразия стран Восточной и Юго-Восточной Европы (количество видов)

Страна	Млекопитающие	Гнездящиеся птицы	Рептилии	Амфибии	Пресноводные рыбы	Беспозвоночные	Сосудистые растения
Украина	117	270	21	17	184	44371	5101
Беларусь	70	208	7	-	58	10000	1720
Болгария	94	383	36	16	207	25761	3583
Венгрия	72	203	15	17	81	41460	2214
Польша	85	224	9	18	56	28384	2300
Румыния	84	249	25	19	-	-	3350
Турция	116	284	102	18	175	-	8579

Таблица 4. – Основные параметры биоразнообразия Российской Федерации

Таксономическая группа	Оценка числа видов в России	Процент в мировой фауне
Растения:		
Водоросли	9 500	23,8
Лишайники	3 000	30,0
Мохообразные	2 200	12,0
Сосудистые растения	12 500	5,6
Животные:		
Простейшие	6 500	16,3
Губки	350	3,9
Кишечнополостные	450	5,0
Плоские черви	1 900	9,0
Круглые черви	2 000	6,0
Моллюски	2 000	2,8
Ракообразные	2 000	5,0
Паукообразные	10 000	13,3
Насекомые	около 100 000	10,5
Рыбы пресноводные	343	1,2
Рыбы морские	около 1 500	4,5
Земноводные	29	0,6
Пресмыкающиеся	80	1,2
Птицы	732	7,6
Млекопитающие	320	7,0

В настоящее время на территории Российской Федерации по данным Российской академии наук фауна позвоночных насчитывает 1513 видов: 320 видов млекопитающих, 732 вида птиц, 80 видов пресмыкающихся, 29 видов земноводных, 343 вида пресноводных рыб. Кроме того, в морях, омывающих Россию, встречается 1500 видов морских рыб. Фауна беспозвоночных насчитывает более 150 тысяч видов. Флористическое богатство представлено более 12 500 видами сосудистых растений, 2 200 мохообразных, около 3 000 лишайников [10, 11].

В свою очередь, Украина также богата природными ресурсами. Благодаря природным черноземам, широкой лесной полосе, лесостепной и степной зоне, водным ресурсам, в Украине большая вариативность растительного и животного мира.

Занимая менее 6% площади Европы, Украина владеет примерно 35% ее биоразнообразия [6, 12]. На сравнительно небольшой территории образовались четыре

природные зоны: широколиственно-лесная, лесостепная, степная и присредиземноморская. Особенностью Украины является наличие мощной водной экосистемы Днестра и значительного количества различных ландшафтов. Богатство биоразнообразия увеличивается в такой последовательности: луга, болота, плавни, степи и леса. Учитывая значительную общую площадь земель сельскохозяйственного назначения (до 70%), значительная часть биоразнообразия остается ассоциированной с антропогенно-измененными экосистемами. Она меняется к лучшему благодаря постоянному увеличению природно-заповедного фонда Украины.

Биоразнообразие Украины представлено более 72 тыс. таксонов (видов флоры, микробиоты и фауны).

Фауна насчитывает более 45 тыс. видов, в том числе: насекомые – 35 тыс., членистоногие без насекомых – 3,4 тыс., черви – 3,3 тыс. (из них 1600 – круглые черви, 1280 – плоские черви и 440 кольчатые черви); позвоночные представлены

рыбами и круглоротыми (более 200 видов), земноводными (не менее 20 видов), пресмыкающимися (21 вид), млекопитающими (117 видов), птицами (около 400 видов). Основу орнитофауны составляют около 270 видов с регулярным гнездованием в весенне-летний период.

Чрезвычайно разнообразен животный мир Азово-Черноморского побережья, где сочетаются прибрежная морская полоса и лиманы со степными участками, песчаными косами, пойменными лугами и заболоченными дельтами крупных рек. Особенно там много птиц. Пресные и морские водоемы характеризуются разнообразным видовым составом рыб.

В Украине насчитывается более 25 тыс. видов растений, из которых высших сосудистых растений – более 5 тыс. видов, мохообразных –

почти 800, лишайников – более 1 тыс., грибов – свыше 15 тыс., водорослей – около 4 тыс. видов.

На планете биологическое разнообразие за последние тысячелетия не стало меньше в масштабах исторического развития биосферы – прошлое многообразие жизни распределяется на 4 – 5 млрд. лет эволюции жизни на Земле, а угрозы вымирания и реальные процессы вымирания, связанные с деятельностью человека (табл. 5, [4, 13]) оформились в последнее тысячелетие. Сохранение биоразнообразия – глобальная задача. Ни одна страна не способна ее решать самостоятельно, тем более важно осознавать, что природные экосистемы всех стран реально влияют на состояние биосферы планеты, ее климат и качество среды.

Таблица 5. – Вымирание млекопитающих и птиц в период с 1600 по 1975 годы

Век	Млекопитающие			Птицы		
	Всего	Видов	Подвидов	Всего	Видов	Подвидов
XVII	3	3	–	9	9	-
XVIII	11	8	3	9	9	-
XIX	26	18	8	68	34	34
XX	67	34	33	74	22	52
Итого	107	63	44	160	74	86

Таким образом, подытоживая вышесказанное, можно сделать вывод, что чаще всего, говоря о биоразнообразии, имеют в виду видовое разнообразие.

Процесс эволюции жизни всегда был связан с вымиранием биологических организмов, популяций и видов в целом. Считается, что средняя продолжительность существования одного вида составляет 5 – 6 млн. лет. За последние 200 млн. лет исчезло около 900 тыс. видов флоры и фауны, или в среднем меньше одного вида в год [3]. За последние 400 лет исчезло 484 видов животных и 654 видов растений, то есть в среднем более чем два вида в год.

Вымирание видов всегда было естественным и необходимым процессом эволюции – более 99 % видов, которые когда-либо существовали, уже вымерли (Leakey, 1996), однако предполагается, что сегодня виды исчезают в 100 – 1000 раз быстрее, чем до существования человека (Charin et al., 1998). Так, по экспертным оценкам, в течение следующих 20 – 30 лет 25 % общего биоразнообразия Земли будет находиться под серьезной угрозой исчезновения, почти 40 тысяч видов наверняка исчезнут.

По данным палеонтологов, за последние 500 млн. лет на Земле было пять периодов массового исчезновения видов. Для восстановления биологического богатства на

планете каждый раз необходимо было примерно 10 млн. лет [15].

В нашу эпоху есть реальная опасность еще одного периода массового сокращения биологического разнообразия. Для предсказания опасности развития процесса исчезновения видов необходимо знание закономерностей биоразнообразия.

Состояние исследований в области оценки биоразнообразия

Первые данные исследований, направленные на оценку биологического разнообразия, были опубликованы еще в начале второй половины XX века. С тех пор количество исследований в этой области значительно увеличилось, много внимания стало уделяться созданию методов изучения и построения моделей биоразнообразия, комплексной оценке состояния и распространения видов, разработке и использованию различных индексов, мер и индикаторов биоразнообразия. Анализ исследований по количественной оценке биоразнообразия выполнен в известных работах [16 – 19]. Авторы отмечают, что в этой области имеется целый ряд методологических проблем:

- существующие методы оценки биоразнообразия в значительной мере некорректны, в первую очередь потому, что никак не учитываются морфологическое,

- функциональное, экологическое сходство / различие между самими видами;
- индексы разнообразия часто основываются на экологически сомнительных концепциях: обычно в качестве эталона принимается экосистема с равными обилиями всех видов, что не вполне соответствует структуре реальных природных сообществ (другими словами – события, связанные с распространением видов, равновозможны);
 - модели разнообразия пока основаны на достаточно частных и узких гипотезах и не могут служить фундаментом для формально строгой теории оценки биоразнообразия;
 - приходится констатировать, что со времен Г. Уиттекера, заложившего вербальную основу понятий разнообразия для совокупности местообитаний, сколь угодно строгих методов количественной оценки разнообразия до настоящего времени не разработано;
 - множество комплексных индексов и мер биоразнообразия построены с использованием гипотетических и экспертных подходов, которые не несут в своей основе фундаментальных закономерностей и не используют объективный подход при анализе и описании данных.

Для того, чтобы оценить многообразие экологических систем, необходима система критериев, которые, скорее всего, будут иметь вероятностный характер. Ряд авторов считает, что наиболее важной характеристикой многообразия является показатель выравненности большого количества (обилия) видов, который отражает структуру экологического сообщества и показывает отсутствие доминантных видов. Считается, что экологическая система имеет высокое качество с точки зрения биоразнообразия, если она отличается большим количеством видов и высоким показателем выравненности. Если глубоко вникнуть в суть понятий обилия видов и выравненности обилия видов, то в терминах вероятности экологическая система, отличающаяся богатым видовым разнообразием, должна удовлетворять следующим условиям:

- иметь высокий показатель обилия видов (количество видов на единице территории);
- отличаться равномерными вероятностными распределениями количества особей каждого вида;
- иметь близкие уровни плотности распределения вероятности для каждого вида.

Вопрос о том, действительно ли такая экологическая система оптимальна с точки зрения биологической эволюции, является

крайне дискуссионным. Однако она может быть принята в качестве базовой (идеальной) модели, позволяющей сравнивать различные экосистемы по отношению к ней по критериям биоразнообразия. Принятие такой гипотезы возможно в случае, если будут построены вероятностные модели биологического разнообразия для таксонометрических групп – отрядов, семейств и т.д. Создание подобных моделей возможно только на основе анализа значительного количества опытных данных.

Следует отметить, что теоретические работы прогностики и комплексной оценки в области биоразнообразия и экологических наук часто сводятся к гипотезам и обобщениям, оторванным от реальной статистической базы и систематического изучения опытных данных. В области теоретических исследований существует несколько проблем, которые не позволяют многочисленным научным обобщениям превратиться в общепринятые теории [19 – 21]. Во-первых, не редко изначально формулируются противоречивые теоретические концепции. Во-вторых, очень часто теоретические гипотезы высказываются на основе поверхностного обобщения данных, при этом современные методы анализа информации не используются, а результаты не проверяются на массивах информации. Все это приводит к множеству частных и противоречивых моделей или различным качественным описаниям процессов и явлений, которые не могут быть обобщены. В-третьих, уже более десяти лет существуют большие и общедоступные базы данных по биоразнообразию, но только в последние годы наметился явный интерес исследователей к обработке данной информации.

Как следствие, адекватных моделей биоразнообразия и комплексных оценок состояния и распространения видов очень мало. По утверждению авторов статьи [20] за последние 30 лет не появилось ни одной сколько-нибудь заметной публикации, вносящей что-то новое в основные концепции и фундаментальные законы экологии. По их словам экологический мир на пороге научной революции, но новая парадигма еще не проникла в умы естествоиспытателей.

Сегодня поиску системообразующих факторов и формулировке общесистемных принципов моделирования объектов и явлений различной природы уделяется значительное внимание. Это направление в моделировании сложных систем связано с системным анализом и общей теорией систем. Последние исследования в этой области связаны с феноменологическими описаниями систем, созданием теоретических методов и математического аппарата системодинамики. Работы Дж. Форрестера, П. Анохина, Уиттэкера

и др. внесли значительный вклад в технологию прикладного компьютерного и математического моделирования сложных социально-экономических систем, построение моделей биологических и экологических систем [22 – 25]. Данное направление моделирования систем связано с использованием естественнонаучных методов в описании живой природы.

На данном этапе развития науки следует признать, что в области биоразнообразия не существует фундаментальной теории, которая бы характеризовала состояние и распространение биологических видов. Однако попытки построения такой теории уже предпринимались. Еще в 30-х годах прошлого столетия известным русским ученым В.А. Костицыным концептуально был предложен подход, который позволяет построить модель распространения видов на Земле для оценки устойчивости жизни [24]. В связи с тем, что в то время невозможно было реализовать информационные модели, которые охватывают большой объем количественных и графических данных, эта идея так и осталась нереализованной. Модели распространения видов являются одним из основных инструментов построения эволюционной теории развития жизни на Земле, которая по своей сути имела бы теоретическую, а не описательную основу. Основная проблема в этой области – как построить информационные ресурсы, которые позволили бы представить данные о биологических параметрах и показателях распространения десятков тысяч видов и увязать эти данные с глобальными климатическими архивами, которые имеют объемы от 2 до 15 терабайт. Очевидно, что без использования информационных технологий данная задача решена быть не может.

В области оценки биоразнообразия при изучении процессов и объектов исследователь оперирует массивами данных, содержащими десятки показателей и индикаторов. В настоящее время имеется ряд работ, направленных на стандартизацию показателей и индикаторов биоразнообразия для комплексной оценки состояния и распространения видов и применения статистических методов при изучении данных [26 – 29].

Основные направления и тенденции исследований в этой области связаны с накоплением и созданием все более крупных баз данных по биоразнообразию, применением новых методов визуализации и оценки данных, использованием математических методов анализа данных, созданием национальных информационных систем хранения, представления и оценки данных, развитием теории и методов системной динамики в области экологических наук [2, 29, 30 – 35].

В биоразнообразии накоплены большие базы данных, однако они в своей массе пока плохо структурированы. Тем не менее, данная информация сегодня уже вполне позволяет поставить задачу оценки вероятности распространения видов на Земле. Возможным направлением исследований может быть разработка моделей, направленных на поиск закономерностей распространения видов исследуемых отрядов (подрядов) в зависимости от климатических параметров и местонахождения каждого из видов в привязке к географическим территориям. Для этого можно использовать климатические базы данных, которые представляют собой временные ряды для каждой ячейки регулярной широтно-долготной решетки множества климатических показателей и которые доступны из архива повторного анализа климата Всемирного климатического центра [35], совместно с базами данных биоразнообразия и распространения видов. Создание таких систем весьма актуально, поскольку они позволят вплотную подойти к разработке глобальных моделей биоразнообразия планеты – моделей, о которых упоминал В.А. Костицын [24]. Кроме того, данные базы данных позволят установить закономерности биоразнообразия, что даст возможность развивать практику использования в исследованиях экологических процессов и явлений естественнонаучных методов, основанных на феноменологических подходах анализа и описания опытных данных.

Данные и некоторые принципы построения моделей существования и распространения видов

Пока в экологии методов количественной оценки биоразнообразия, которые бы не являлись в своей основе субъективными, не существует. Как показывают исследования, оценка биоразнообразия путем использования различных индексов часто приводит к противоречивым выводам, которые являются следствием субъективных представлений исследователей [19].

В общем случае исследование проблем биоразнообразия связано с необходимостью изучения ареалов обитания видов, их экологических и морфологических особенностей, закономерностей распространения в зависимости от разных показателей и во времени. Приоритетным считается изучение структурных особенностей сообществ в конкретных природных условиях с учетом их видового состава, численности, продолжительности жизни и других параметров. Без обобщения множества данных, характеризующих биоразнообразие, невозможно установить

закономерности эволюции биологической жизни на Земле.

Для того, чтобы создать глобальные модели биологического разнообразия, необходимо отработать методические принципы исследования. Очевидно, что построение глобальных моделей невозможно без предварительной разработки моделей существования видов, которые бы характеризовали взаимосвязь биологических параметров организмов, а также моделей распространения видов, которые бы обобщали информацию об ареалах распространения видов на планете. Такие модели следует основывать на вероятностных подходах. Отработку моделей следует выполнить на нескольких тестовых примерах применительно к 2 – 3 крупным таксонам животных и растений. Одновременно необходимо выполнять работы по созданию структурированных баз данных биологических видов и увязке их с глобальными климатическими базами данных. Исходя из этого, актуальным является разработка геоинформационных моделей биоразнообразия, исходя из ареалов распространения видов, и установление вероятностных закономерностей существования и распространения видов.

Для изучения методических подходов были использованы массивы информации для наиболее распространенных таксонов – подотрядов мышеобразных и белкообразных самого многочисленного отряда млекопитающих – грызунов, а также отряда приматов. Для этих групп существует обширная информация в виде глобальных баз данных.

Подотряд мышеобразных отряда грызунов является одной из самых крупных таксономических единиц среди групп млекопитающих, он включает более 1 000 видов 10 существующих семейств и 3 вымерших. Представители данного подотряда населяют все природные зоны Земли. База данных мышеобразных включала информацию по 237 видам для 20 биологических показателей.

Подотряд мышеобразных удобен как объект моделирования для анализа разнообразия и оценки условий обитания животных. Жизненные популяции грызунов являются индикатором состояния окружающей среды. Мышеобразные рассматриваются как ценная биологическая модель, а также представляют интерес в эпидемиологических исследованиях и занимают важное место в цепях питания.

Белкообразные составляют самый древний подотряд грызунов и по оценкам специалистов включают в себя около 400 видов различных грызунов. Отлично приспособившаяся

к разным условиям жизни, эта группа также освоила почти все климатические зоны Земли. Имеющаяся база данных белкообразных содержала данные о 90 видах мышеобразных по 234 видам и 20 биологическим показателям этих видов.

Подотряд белкообразные использован в связи с тем, что они имеют обширный ареал распространения и являются древним видом млекопитающих.

Представители отряда приматы – полуобезьяны и обезьяны образуют многообразную группу с чрезвычайно сложными формами социальной организации. В основном приматы обитают в тропических дождевых лесах. В состав этой группы входит 356 видов 11 семейств [2]. Собранный база данных приматов содержала информацию по 174 видам.

Подотряд приматов – высший вид животных в эволюционной цепочке. В этот отряд входит также и человек.

Для изучения данных о животных в целом использовалась наиболее полная на сегодняшний день база данных позвоночных животных [32]. Нынешняя версия базы включает сведения о 4083 видах позвоночных. База данных охватывает амфибий, рептилий, рыб, птиц и млекопитающих. В базу внесены данные о максимальной продолжительности жизни, массе тела при рождении и во взрослом состоянии, скорости роста и размножения, время полового созревания, продолжительности беременности и некоторые другие характеристики (всего более 25 показателей). База данных имеет также полную информацию о систематике биологических видов.

Перечисленные выше базы данных использовались для создания вероятностных моделей существования видов.

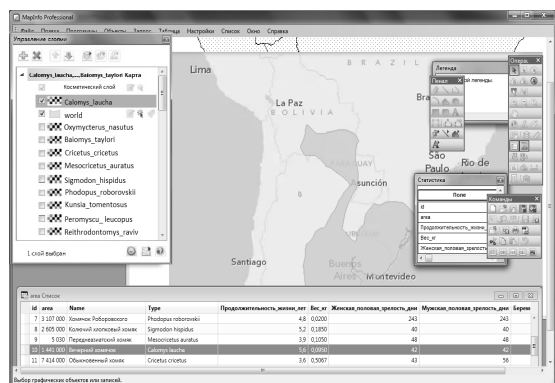
Модели распространения видов основывались на использовании геоинформационных моделей и вероятностных закономерностях формирования ареалов на территориях планеты.

Для создания геоинформационных моделей собиралась информация об ареалах распространения видов. Всего было обработано около 800 карт распространения мышеобразных, белкообразных и приматов на поверхности Земли. Пример таких моделей приведен на рисунке 1.

Для того, чтобы подойти к разработке моделей биоразнообразия планеты, подобную работу следует осуществить для всех видов животных, которые входят, например, в наиболее распространенные базы данных [32], а это минимум 4 000 видов. Аналогичная работа должна быть выполнена и для растений.

Вероятностные закономерности биоразнообразия для исследуемых биологических групп

Модели распространения видов. На основе собранных данных можно оценить вероятности распространения видов. Для этого предложено использовать геометрические вероятности, представляющие собой отношение



площади ареала распространения каждого из видов к площади сухопутной части земной поверхности. Далее вероятностные закономерности ищутся в виде зависимостей между геометрическими вероятностями и различными биологическими параметрами каждой из групп или климатическими показателями окружающей среды.

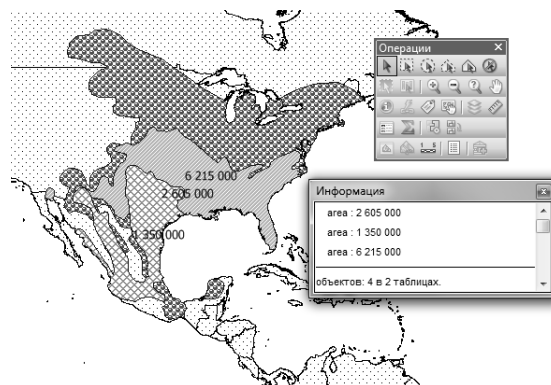


Рисунок 1. – Примеры представления ареалов распространения биологических видов с атрибутивной информацией

Для этого была применена типовая методика оценки вероятности наступления событий, которая широко используется в биологических науках. В основе этой методики лежат методы пробит-анализа, разработанные в XX веке известным энтомологом Честером Блиссом [36]. Многочисленные опытные данные, полученные в токсикологии, энтомологии, микробиологии, экологии и т.п. показывают, что зависимость между долей особей, у которых наблюдаются некоторые эффекты, например, негативные, и количеством воздействия, например, дозой, выражается вероятностной кривой, которая имеет S-образную форму. Обычно для трансформации этой кривой в прямую линию на оси абсцисс откладывают логарифмы доз, а по оси ординат – вероятностные единицы, так называемые пробиты. В биологических науках и безопасности систем пробит определяется согласно уравнению:

$$\text{Pr} = \alpha_0 + \alpha_1 \cdot \ln \rho_1 + \alpha_2 \cdot \ln \rho_2 + \dots + \alpha_n \cdot \ln \rho_n;$$

$$w = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{\text{Pr}} e^{-\frac{t^2}{2}} dt, \quad (1)$$

где α_i – постоянные, ρ_i – некоторые параметры; w – статистическая или геометрическая вероятность.

При построении моделей распространения видов методика обработки данных предполагает поиск связей между вероятностью распространения видов в виде геометрических вероятностей и наиболее важными показателями (масса, температура

тела, продолжительность жизни и др.) в соответствии с уравнениями (1).

В качестве безразмерных характеристик, связанных с биологическими параметрами, при поиске связей выбраны геометрические вероятности распределения этих параметров. Известно, что для одномерной случайной величины геометрическая вероятность определяется согласно уравнению:

$$\rho_i = \frac{z_i - z_{\min}}{z_{\max} - z_{\min}}, \quad (2)$$

где z_i – некоторый биологический параметр или характеристика окружающей среды; z_{\max} , z_{\min} – соответственно максимальное и минимальное значение данного параметра в группе всех видов исследуемого отряда (подотряда).

На основе собранных данных можно оценить вероятности распространения каждого вида путем установления связей вида (1), исходя из имеющихся баз данных.

Модели существования видов. Статистические вероятности существования видов с определенными биологическими параметрами (например, с продолжительностью жизни и массой тела) можно найти по формуле:

$$W = \frac{i}{m}, \quad (3)$$

где i – число видов, у которых наблюдаются определенные биологические параметры меньше некоторых заданных величин; m – общее число всех видов исследуемого отряда (подотряда). Статистические вероятности существования видов определяются

для совместного события одновременного наблюдения наблюдаемой продолжительности жизни и массы тела для определенного вида.

Для примера на рисунке 2 число видов i характеризуется количеством точек, попавших в выделенную на рисунке область, а общее число видов t характеризуется количеством всех наблюдаемых точек на диаграмме рассеивания. Исходя из этого, легко определить статистическую вероятность существования видов согласно (3).

Изучение связей между вероятностью существования видов и биологическими параметрами также осуществлялось путем построения моделей (1) на основе методов пробит-анализа.

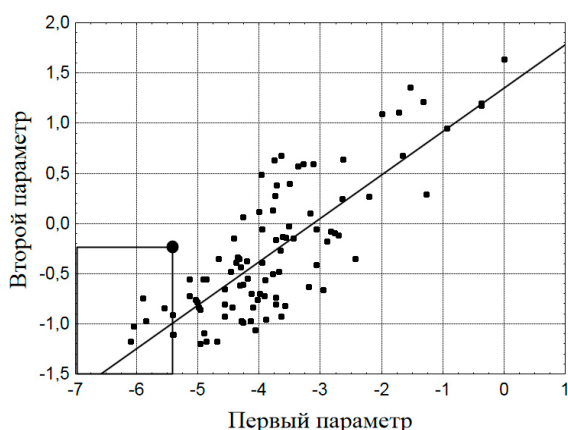


Рисунок 2. – Определение статистической вероятности существования вида для совместных событий одновременного наблюдения двух параметров

Анализ полученных результатов. Более подробно результаты обработки данных, полученные на основе вышеприведенной методики, рассмотрим на примере отдельных зависимостей, установленных для подотряда мышеобразных.

При анализе данных наиболее значимые связи статистической вероятности существования видов установлены с показателем интенсивности метаболизма, а также с продолжительностью жизни в неволе и средним весом особи. Результаты анализа зависимостей для мышеобразных представлены на рисунках 3 и 4.

Таким образом, мы ищем связи вероятности существования видов для совместного события одновременного наблюдения двух-трех основных биологических показателей с различными показателями или вероятностями других характерных событий. В данном случае рассматривалось совместное событие для одновременного наблюдения заданной продолжительности жизни и веса средней особи вида.

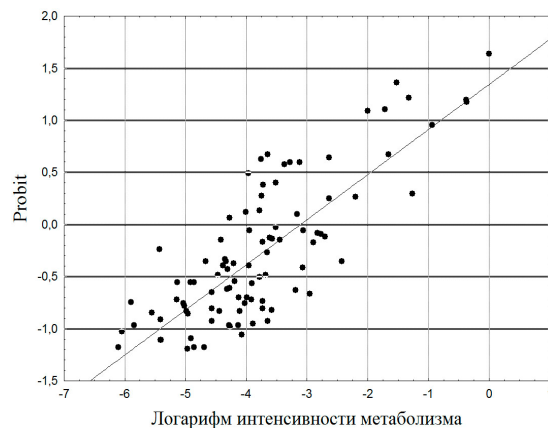


Рисунок 3. – Зависимость вероятности существования вида от интенсивности метаболизма

Установлено, что зависимость вероятности существования вида от интенсивности метаболизма мышеобразных имеет вид:

$$\text{Pr } obit = 1,1602 + 0,04 \cdot \ln \rho_M, \quad (4)$$

$$\text{где } \rho_M = \frac{Metab - Metab_{\min}}{Metab_{\max} - Metab_{\min}}; \text{ } Metab -$$

интенсивность метаболизма (Вт). Коэффициент корреляции зависимости составил 0,78.

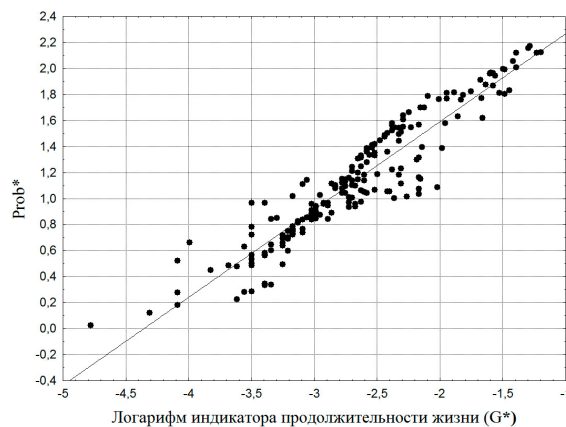


Рисунок 4. – Зависимость вероятности существования вида от продолжительности жизни в неволе: $\text{Pr } ob^* = \text{Pr } obit - 0,211 \cdot \ln \rho_v$;
 $G^* = \ln(\rho_\tau)$

В свою очередь, зависимость статистической вероятности существования вида мышеобразных от продолжительности жизни в неволе и среднего веса особи имеет вид:

$$\text{Pr } obit = 2,713 + 0,593 \cdot \ln \rho_\tau + 0,211 \cdot \ln \rho_v, \quad (5)$$

$$\text{где } \rho_\tau = \frac{\tau - \tau_{\min}}{\tau_{\max} - \tau_{\min}}, \quad \rho_v = \frac{v - v_{\min}}{v_{\max} - v_{\min}},$$

τ – время жизни в неволе (лет); v – средний вес особей вида (кг). Коэффициент корреляции данной зависимости составил 0,94.

На основе значений площади ареалов распространения видов были найдены геометрические вероятности распространения видов путем деления площади ареалов на площадь сухопутной части земной поверхности, которая равна 148940000 км². При анализе данных наиболее значимые связи вероятности распространения видов установлены с температурой тела особей вида (рис. 5).

Зависимость вероятности распространения видов мышеобразных от температуры тела имеет вид:

$$\text{Pr obit}_s = -9,326 + 0,1840 \cdot \ln t_T, \quad (6)$$

где t_T – температура тела; Pr obit_s – пробит вероятности распространения видов.

Данная зависимость является значимой, коэффициент корреляции зависимости составил 0,5.

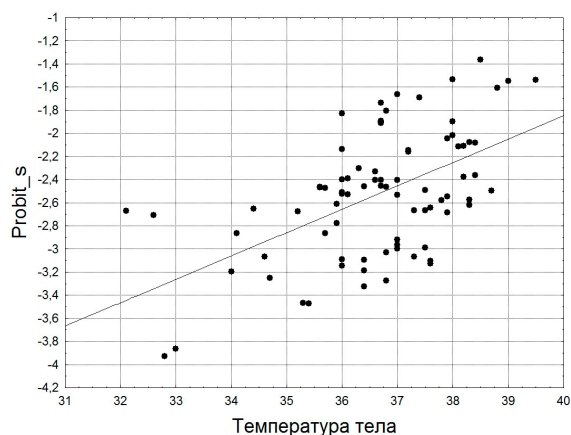


Рисунок 5. – Зависимость вероятности распространения вида мышеобразных от температуры тела особей

В результате анализа было установлено, что идентичные зависимости вида (1), связывающие между собой различные параметры, отличаются коэффициентами α_i для каждой из изучаемых групп.

Из полученных результатов вытекает особенность, что ареалы распространения видов по площади больше у тех видов, у которых температура тела особей выше.

Так как существует связь между вероятностью распространения вида и температурой тела мышеобразных, белкообразных и приматов, то естественно предположить существование связи вероятности распространения видов с климатическими показателями. Поэтому возможным направлением исследований может быть разработка моделей, направленных на поиск закономерностей распространения видов исследуемых отрядов (подотрядов) в зависимости от климатических параметров местообитания каждого из видов. Для этого можно использовать климатические базы

данных, которые представляют собой временные ряды для каждой ячейки регулярной широтно-долготной решетки множества климатических показателей, которые доступны из системы Climate Wikiense, разработанной ДонНТУ. Это возможно при совмещении баз данных по распространению видов с базами данных повторного анализа климата. Архивы данных Всемирного климатического центра позволяют построить осредненные во времени поля климатических показателей для всей планеты. Подобное осреднение можно провести за 15 лет на широтно-долготной сетке земного шара с ячейкой в 1x1 градус или 0,5x0,5 градуса. В архиве хранится информация в несколько терабайт по 80 климатическим показателям, в частности, температуре, относительной влажности, скорости и направлению ветра, освещенности, осадкам, высоте над уровнем моря и т.д. В результате одной ГИС-модели ареала распространения вида может быть поставлена в соответствие атрибутивная информация для 80 осредненных климатических показателей. С помощью применения регрессионного анализа возможно определение наиболее значимых климатических показателей, которые влияют на ареалы распространения видов. Кроме этого из базы данных животных [32] может быть взята атрибутивная информация, количественно характеризующая каждый вид. Объединение геоинформационных моделей ареалов распространения видов с базой данных животных и архивами повторного анализа климата позволит подойти к созданию моделей биоразнообразия на территории планеты. Предполагается, что в данном направлении и будут проводиться дальнейшие исследования.

Выводы

Таким образом, объединение геоинформационных моделей распространения видов с атрибутивной информацией о биологических параметрах видов и с данными архивов повторного анализа климата позволяет установить вероятностные закономерности распространения видов и разработать модели биоразнообразия. Основная сложность проблемы состоит в создании структурированных архивов данных по биоразнообразию хотя бы для одного-двух десятков тысяч основных биологических видов.

В случае, если подобным способом будет обработана значительная часть информации о существующих видах флоры и фауны на Земле и окружающих условиях их проживания или произрастания, то вполне возможно построение глобальной модели биоразнообразия планеты для оценки устойчивости жизни, о которой в свое время упоминал В.А. Костицын.

Литература

1. Вымирание биологических видов, потеря биоразнообразия и здоровье человека. – Электр. ресурс. URL: <http://base.safework.ru/iloenc?doc&nd=857100187&nh=0&ssect=0> (14.10.2013).
2. Энциклопедия «Животные» / Под ред. Д. Бёрни, пер. с англ. – М.: Астрель, АСТ, 2008. – 624 с.
3. Глобальные изменения биологического разнообразия. – Электр. ресурс. URL: <http://bibliofond.ru/view.aspx?id=432952> (15.11.2013).
4. А.А. Тишков. Сохранение биологического разнообразия в России. // Россия в окружающем мире: 2005 (Аналитический ежегодник). Отв. ред. Н.Н. Марфенин / Под ред. Н.Н. Марфенина, С.А. Степанова. – М.: Модус. К – Этерна, 2006. – 320 с. – Электр. ресурс. URL: http://www.rus-stat.ru/stat/128Russia_2005-4_82-124.pdf (20.06.2013).
5. Groombridge Groombridge B., Jenkins M.D. Global Biodiversity. Earth's living resources in the 21st century. Cambridge: World Conservation Monitoring Center. Hoechst foundation, 2000. – 247 p.
6. Электр. ресурс. URL: <http://ecoportal.su/news.php?id=39788> (20.06.2013).
7. Электр. ресурс. URL: <http://www.derev-grad.ru/dendrologiya/biologicheskoe-raznoobrazie.html> (23.04.2013).
8. Управління у сфері збереження біологічного різноманіття України // в кн. Шмандій В.М., Солошич І.О. Управління природоохоронною діяльністю: Навч. пос. – К.: Центр навч. літ-ри, 2004. – 296 с. – Электр. ресурс. URL: <http://eco.dt-kt.net/books/book-4/chapter-159/> (20.06.2013).
9. Четвертый национальный доклад «Сохранение биоразнообразия в Российской Федерации». Руководитель коллектива экспертов – проф., д.г.н. А.А. Тишков. М.: Министерство природных ресурсов и экологии РФ, Программа развития ООН. 2009. – 114 с. – Электр. ресурс. URL: <https://www.cbd.int/doc/world/ru/ru-nr-04-ru.pdf> (27.01.2013).
10. Второй национальный доклад о сохранении биоразнообразия. Национальная стратегия сохранения биоразнообразия Российской Федерации. М.: РАН, Министерство природных ресурсов РФ, Проект ГЭФ «Сохранение биоразнообразия», 2001. – 76 с.
11. Пятый национальный доклад «Сохранение биоразнообразия в Российской Федерации». Руководитель коллектива экспертов – проф., д.г.н. А.А. Тишков. М.: Министерство природных ресурсов и экологии РФ. 2014. – 114 с. – Электр. ресурс. URL: <https://www.cbd.int/doc/world/ru/ru-nr-04-ru.pdf> (20.01.2014).
12. Электр. ресурс. URL: <http://www.biofactory.ru/book/14/741.html> (21.02.2013).
13. Флинт В.Е. Сохранение редких видов в России (теория и практика). В кн.: Сохранение и восстановление биоразнообразия. М.: Проект ГЭФ «Сохранение биоразнообразия», 2002. С. 11 – 108.
14. Залепухин В.В. Теоретические аспекты биоразнообразия. Уч. пос. Волгоград: ВолГУ. 2003. – 192 с. – Электр. ресурс. URL: http://window.edu.ru/window_catalog/files/r25793/volsu374.pdf (07.10.2013).
15. Электр. ресурс. URL: <http://www.ecolife.ru/e-lib/UR.pdf> (17.09.2012).
16. Э. Мэгарран. Экологическое разнообразие и его измерение. – М.: Мир, 1992. – 184 с.
17. А.А. Протасов. Биоразнообразие и его оценка. Концептуальная диверсикоэкология. – К.: Ин-т гидробиологии НАН Украины, 2002. – 105 с.
18. А.П. Левич. Структура экологических сообществ. – М.: МГУ, 1980. – 181 с.
19. В.К. Шитиков, Г.С. Розенберг. Оценка биоразнообразия: попытка формального обобщения // Jahrbuch fur EcoAnalytic und EcoPatologic. 2004. – 39 с.
20. Г.С. Розенберг, В.К. Шитиков. О соотношении математики и биологии в экологии // Количественные методы экологии и гидробиологии / Отв. ред. чл.-корр. РАН Г.С. Розенберг. – Тольятти: СамНЦ РАН, 2005. – 404 с.
21. Аверин Г.В. Системодинамика: наука о закономерностях процессов изменения и развития систем во времени. – Palmarium Academic Publishing, 2014. – 488 с.
22. Р. Уиттекер. Сообщества и экосистемы. – М.: Прогресс, 1980. – 328 с.
23. П.К. Анохин. Узловые вопросы теории функциональной системы. – М.: Наука, 1980. – 197 с.
24. В.А. Костицын. Эволюция атмосферы, биосферы и климата / Пер. с франц. Под ред. Н.Н. Моисеева. – М.: Наука, 1984. – 96 с.
25. Мировая динамика: Пер. с англ. / Д. Форрестер. – М.: АСТ; С.-Пб.: Terra Fantastica, 2003. – 379 с.
26. Руководство по разработке и использованию национальных индикаторов биоразнообразия / UNEP: Всемирный Центр Мониторинга Сохранения, Кембридж, Великобритания, 2011. – 40 с.
27. A.V. Zviagintseva. Biological diversity: the problem of modeling the distribution of species on the Earth / Materialy IX mezinarodni vedecko – prakticka konference “Moderni vymoženosti vědy – 2013”. – Díl 59. Biologické vědy: Praha. Publishing House “Education and Science” s.r.o. St. 12 – 20.
28. Identification, Monitoring, Indicators and Assessment. Материалы Конвенции о биоразнообразии. – Электр. ресурс. URL: <http://www.cbd.int/indicators/intro.shtml> (21.09.2013).
29. В.К. Шитиков. Интеллектуальные технологии структурного анализа экологических систем / Дис. на соиск. уч. степ. докт. биол. наук, 2007. – Электр. ресурс. URL: http://www.ievbras.ru/ecostat/Kiril/Article/A24/My_dd.htm#Vv (27.09.2013).

30. J. Gallo, C. Ertur. Exploratory Spatial Data Analysis of the distribution of regional per capita GDP in Europe, 1980 – 1995 / University of Burgundy. – Электр. ресурс. URL: <http://www.u-bourgogne.fr/LATEC> (07.10.2013).
31. Глобальная база данных по биоразнообразию – GBIF. – Электр. ресурс. URL: <http://data.gbif.org/welcome.htm/> (25.11.2013).
32. AnAge: The Animal Ageing and Longevity Database. – Электр. ресурс. URL: <http://genomics.senescence.info/species/> (25.11.2013).
33. Базы данных проекта «Биоразнообразие России». – Электр. ресурс. URL: http://www.zin.ru/BioDiv/bd_dbas.htm/ (25.11.2013).
34. База данных «Биоразнообразие Белоруссии» – Электр. ресурс. URL: <http://florafauna.by/page/about/> (25.11.2013).
35. Архивы повторного анализа климатических данных. – Электр. ресурс. URL: http://data-portal.ecmwf.int/data/d/interim_full_moda/; <http://nomads.ncdc.noaa.gov> (20.10.2012).
36. А.Г. Платонов, М.Я. Ахалая. Применение метода пробит-анализа в радиобиологии. Расчет полулетальной дозы ЛД50. Уч.-метод. пос. – М.: НИИЯУ МФИ, 2010. – 36 с. – Электр. ресурс. URL: http://library.mephi.ru/Data-IRBIS/book-mephi/Platonov_Primeneniye_metoda_probit-analiza_v_radiobiologii_2010.pdf (09.09.2012).

Звягинцева Г.В. “Моделі існування та поширення видів тварин для кількісної оцінки біологічного різноманіття”. Дана стисла характеристика біорізноманіття Землі. Показано, що побудова глобальних моделей біорізноманіття неможлива без попередньої розробки моделей існування видів, які б характеризували взаємозв'язок біологічних параметрів організмів, а також неможлива без створення кількісних моделей розповсюдження видів на планеті. При оцінці існування видів у роботі використано статистичні ймовірності спільних подій, які пов'язано з спостереженням біологічних параметрів організмів. Для оцінки ймовірності поширення видів запропоновано використовувати геометричні ймовірності, які уявляють собою відношення площі ареалу поширення кожного з видів до площі суходутної частини земної поверхні. В якості прикладу для таксонів мишеподібних, білкоподібних і приматів розроблені моделі існування та поширення видів. Зроблено висновки, що такі моделі є одним з основних інструментів побудови еволюційної теорії розвитку життя на Землі.

Ключові слова: моделі, поширення видів, кількісна оцінка біорізноманіття.

Zviagintseva A.V. “Models of the existence and distribution of animal species for the biological diversity quantifying”. A brief description of the global biodiversity of the Earth show that the problem of biodiversity today is one of those areas of scientific knowledge, which rely primarily on descriptive methods. Despite the fact that there are many different models and quantitative assessments of biodiversity, which generalizes the theory of this phenomenon is absent, and communication of scientific methods with empirical data is not yet sufficient. The article notes that the development of theoretical methodology of biodiversity can begin with the creation and use of structured databases, which are quantitative information on key indicators of species and characteristics of their distribution in nature, and the conditions in which these species exist. Noted that today in the public domain begin to be created a database covering thousands of species and dozens of indicators and characteristics of the species and exhibited. Emphasized that, despite the fact that these data today in the mass is poorly structured, this information allows you to put the problem of estimating the probability distribution of species on Earth. Combining these databases with a re-analysis of climate archives will create an empirical basis for the search of patterns and the development of the theory of biodiversity. The analysis showed that the construction of global models of biodiversity is impossible without first modeling existence of species that have characterized the relationship of biological parameters organisms, and it is impossible without the creation of quantitative models of the distribution of species on the planet. The paper points out that such models should be based on a probabilistic approach. To estimate the probability distribution of the species proposed to use geometric probability is the ratio of the area of the distribution range of each species to the area of land of the earth's surface. Based on the available biological taxonomy, proposed approaches to building models of the existence of the species. In assessing the existence of the species used in the statistical probability of joint events related to the supervision of biological parameters organisms. As an example, developed a model of the existence and distribution of species for a taxon Muridae, Sciuromorpha and primates. It is concluded that these models are one of the main tools for constructing the theory of evolution of life on Earth.

Keywords: model, species distribution, quantifying biodiversity.

Статья поступила в редакцию 24.01.2014

Рекомендована к публикации д-р техн. наук, проф. Г.В. Авериньм

Раздел 3

Информационные технологии и автоматизированные системы

Повышение информационной надежности оценки текущего состояния объекта автоматизации

Достлев Ю.С.

Донецкий национальный технический университет
dostlev@cs.dgtu.donetsk.ua

Достлев Ю.С. «Повышение информационной надежности оценки текущего состояния объекта автоматизации». Выполнен анализ особенностей среды формирования первичной информации о состоянии объекта в условиях повышенного уровня помех. Рассмотрены основные характеристики оценки достоверности параметров с учетом особенностей физических процессов автоматизируемого объекта. Изучены воздействия помех на информационное содержание данных о текущем состоянии объекта. Выполнено обоснование структуры аппаратно-программного комплекса повышения информационной надежности в системах непрерывного автоматизированного контроля оперативного состояния динамических объектов. На примере оценки текущих состояний системы автоматизации контроля параметров прокатки на металлургическом предприятии показаны зависимости необходимой структурной избыточности для достижения требуемого уровня надежности на основе физической связности параметров оценки состояния раскатов в прокатном стане.

Ключевые слова: *информационная надежность, защита от помех, автоматизация контроля, информационная избыточность.*

Введение

Сбор первичной информации от технологических объектов в большинстве случаев характеризуется наличием высокого уровня помех, искажающих информационное содержание данных. Оценка текущего состояния объекта автоматизации является основой корректного решения задачи управления параметрами данного объекта. С учетом высокого уровня ответственности к результатам решения задачи управления, актуальной является задача обеспечения информационной надежности параметров оценки текущих состояний объектов.

Источником первичной информации о параметрах объекта является совокупность датчиков, размещаемых непосредственно на объекте. Основные причины и виды нарушений информационной достоверности связаны именно с необходимостью физического размещения датчиков и линий их интерфейса в условиях окружающей среды объекта. Информационное содержание искажается наложением множества разнородных помех, источником которых являются элементы самого технологического процесса или окружающей среды объекта. Кроме того в ряде случаев необходимо учитывать и временное полное отсутствие данных в результате физического повреждения датчиков и линий интерфейса с вычислительным оборудованием системы.

Вторым существенным источником нарушений информационной достоверности в

оценке состояния процессов на объекте являются искажения, вносимые случайными изменениями в показаниях датчиков, в результате не идеальности чувствительных элементов датчиков или возникновения случайных флуктуаций самих параметров процессов, в конечном итоге не существенных, а иногда и приводящих к ошибочной оценке состояния объекта в целом.

Проектирование средств повышения информационной надежности

В соответствии с видами источников и характером искажений при проектировании систем сбора первичной информации в составе информационных и управляющих комплексов обязательной является реализация специально разрабатываемых функций повышения информационной надежности.

Импульсные и гармонические помехи в большинстве случаев рационально подавлять, снижать их уровень, в среде аппаратной реализации устройств сопряжения или специально проектируемых схем согласования в составе аппаратных средств поддержки интерфейса с датчиками.

Повышение информационной надежности, связанной с фильтрацией случайных искажений параметров на линиях датчиков, может быть решено введением в систему избыточности в виде дублирующих информационных каналов. Такой подход приводит к удорожанию системы, поскольку требует для однозначности

троирования. Более рационально создание интеллектуальной проблемно ориентированной системы диагностики, построенной с минимальной аппаратной избыточностью и мощной программной реализацией диагностики текущей информации.

Основой реализации функций диагностики является свойство прогнозируемости качественных и количественных изменений значений контролируемых параметров. Прогнозирование базируется на знании особенностей математических моделей контролируемых или управляемых процессов.

Основные особенности моделей при реализации функций диагностики на базе прогнозирования могут быть сведены в два множества: физические ограничения количественного представления параметра и ограничения интервалов времени на возможные диапазоны изменения количественных значений. Первое множество характеризует статические свойства, тогда как второе – динамические характеристики контролируемых процессов. Как и в реальной физической системе эти два вида характеристик в составе любой модели контролируемых объектов взаимосвязаны. Проектирование системы диагностики должно выполняться в соответствии с требованиями и ограничениями на параметры систем реального времени.

Выполнение контроля динамических характеристик текущих значений параметров основывается на поле допустимых скоростей для каждого из существенных параметров оценки состояния объекта. Параметры контролируемого поля скоростей определяют требования к реализации в реальном времени функций диагностики. Контроль динамики параметров позволяет более достоверно оценивать информационную ценность поступающих от объекта данных. Контроль поля значений лишь дополняет функции контроля параметров динамики.

Наиболее высокие показатели по обеспечению информационной достоверности удается достичь с реализацией контроля непрерывности технологических параметров максимальной протяженности и как граничное значение на всем интервале решения задачи контроля. Параметр интервала решения задачи является проблемно-ориентированным, то есть зависит от особенностей конкретного автоматизируемого объекта и его технологических процессов.

Контроль параметров поля скоростей позволяет дополнительно повысить информационную надежность за счет идентификации физических отказов в получении отдельных параметров с

возможностью обеспечения распространения «волны» контроля в пространстве и времени за отказавший датчик.

Применение

На основе построения и контроля поля скоростей была реализована система диагностики в составе разработанной системы автоматического управления раскроя проката в цехе блюминга металлургического комбината. Все датчики параметров текущего состояния раскатов и оборудования прокатного стана выстраивались в цепочки по свойству последовательности изменения параметров во времени. Число цепочек определялось множеством процессов, не имеющих обязательной технологической связности. Таким образом, в системе выделено и контролируется по параметрам поля скоростей три технологические цепочки: прокатка с измерением длин раскатов на выходе клетей стана 700; измерение длин раскатов на входе стана 500; прокатка с измерением длин раскатов на выходе клетей стана 500 и управление раскроем с измерением фактических длин отрезаемых заготовок.

Алгоритмическое и программное решение контроля информационной достоверности для всех технологических цепочек реализовано аналогично с индивидуальными параметрами полей скоростей. Рассмотрим функциональный состав и информационное наполнение поля скоростей для одной цепочки. Структурно функции непрерывности контроля технологических состояний в пределах цепочки обеспечивались последовательностью датчиков, представленной на рисунке 1.

Параметры поля скоростей для сокращения времени на вычислительные операции задавались в значениях интервалов времени. Таким образом, термин «поле скоростей» используется функционально, а не по физическим параметрам его наполнения. С учетом пространственной фиксации размещения датчиков на протяженности цепочки, параметр интервала времени был функционально достаточным.

По его значению, при необходимости, всегда можно рассчитать значение скорости на основе базовых расстояний между датчиками или от датчика до элемента технологического оборудования ($L_{\text{БАЗ}} d_1 d_2$). Поле скоростей системы диагностики структурно состоит из множества информационно идентичных блоков, в соответствии с числом контролируемых в данной цепочке параметров.

Функционально информационное содержание каждого блока может состоять только из двух значений: минимальный и максимальный интервалы времени контроля.

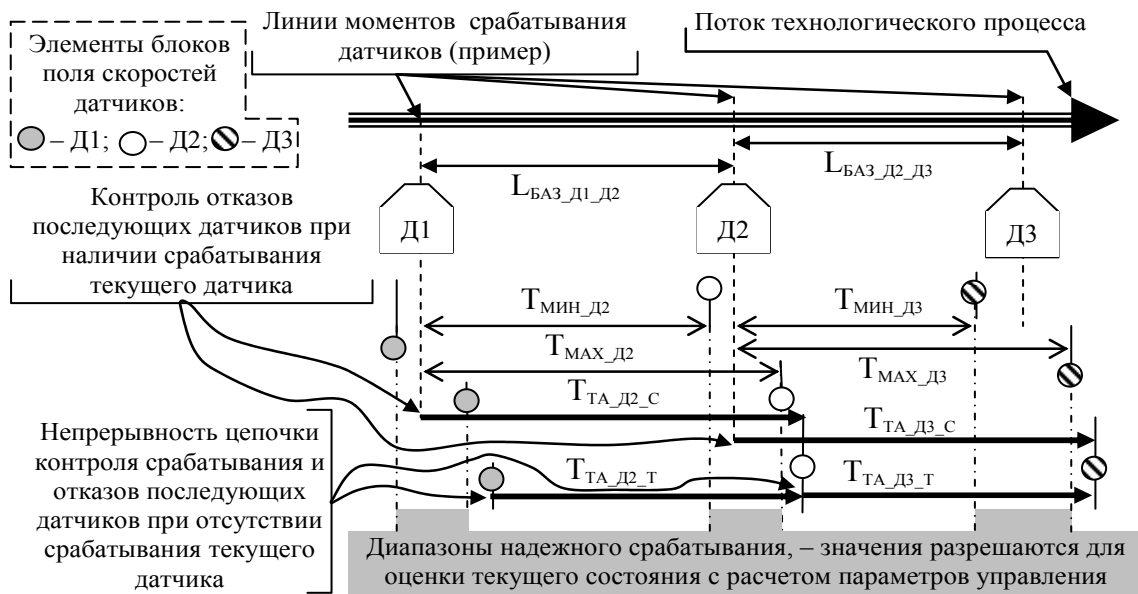


Рисунок 1. – Структура организации контроля динамических параметров обеспечения информационной надежности на непрерывной технологической цепочке

Интервалы контролируются от срабатывания технологического предыдущего датчика: $T_{\text{МИН}}$ и $T_{\text{МАХ}}$ – соответственно минимальное и максимальное значения перемещения объекта между датчиками (рис. 1). Для удобства разделения функций контроля достоверности срабатывания и отказа датчика в состав блока включен еще и третий параметр: интервал времени, после которого датчик считается отказавшим – таймаут на срабатывание ($T_{\text{ТА}}$). Поскольку для большинства технологических цепочек текущее состояние алгоритмически оценивается по разному в зависимости от фронта изменения параметра датчика, то для всех датчиков системы состав блоков расширен на значения, соответствующие фронту срабатывания датчика ($T_{0\text{МИН}}$, $T_{1\text{МИН}}$; $T_{0\text{МАХ}}$, $T_{1\text{МАХ}}$; $T_{0\text{ТА}}$, $T_{1\text{ТА}}$).

Величины назначаемых интервалов контроля работоспособности ($T_{\text{ТА}_\text{Д2}_\text{С}}$ и $T_{\text{ТА}_\text{Д2}_\text{Т}}$) рассчитываются с учетом точки отсчета (от срабатывания – С или от завершения предыдущего интервала контроля – таймаута Т).

В процессе проектирования структуры параметров контроля непрерывности оценки состояния объекта, решалась задача определения оптимальной длины цепочки отказавших датчиков, для принятия решения о ложности всей цепочки. Это необходимо для защиты от ложного срабатывания первого датчика (базового) в данной цепочке. С учетом особой актуальности срабатываний базовых датчиков, в структуру системы вносилась избыточность, как дополнительные датчики, позволяющие не столько уточнять количественные показатели в оценке состояния объекта, как оценивать достоверность

срабатывания базовых датчиков. Это датчики подстраховки первых – базовых датчиков технологических непрерывных интервалов. Наличие избыточных датчиков не является обязательным. В ряде случаев достаточным и экономически оптимальным решением может быть использование в качестве датчиков страховки функциональных датчиков, следующих в структуре технологического процесса за базовыми. В каждом проекте такие решения принимаются на основе анализа особенностей физических процессов, связанных с началом данной технологической цепочки.

Система контроля динамических параметров срабатывания датчиков в цепочке позволила реализовать дополнительную защиту от случайных недетерминированных помех, накладываемых на полезные сигналы. Для этого при запуске каждого из интервалов контроля снималась маска чувствительности к изменениям состояний последующего датчика. В начальном состоянии все датчики замаскированы и в системе постоянно контролируются изменения состояний только базовых датчиков. Срабатывание любого из базовых датчиков приводит к запуску механизма контроля датчиков данной технологической цепочки, то есть формирования «волны» контроля. Информационно существенными считаются только срабатывания датчиков на «гребне волны». Случайные срабатывания датчиков за границей «волны» не информационные, не обрабатываются и, тем самым, не оказывают влияния на правильность расчета управляющих воздействий. Вместе с тем, для диагностики системы датчиков и анализа источников помех, сигналы датчиков вне диапазонов

технологически обоснованной «волны» регистрируются в блоках сообщений. Анализ протоколов сообщений с оценкой возможных источников ложных срабатываний, а так же выработкой рекомендаций по физическому обслуживанию датчиков и интерфейсного сопряжения с контроллером управления, включен в технологические инструкции системы как обязательная функция системного программиста и системщика по информационной безопасности.

Наибольший эффект система контроля информационной надежности по совокупности динамических параметров дает при использовании технологических цепочек, в пределах которых оценка состояния объекта на уровне, достаточном для выполнения функций управления, может быть сведена к множеству дискретных событий. Основной характеристикой каждого их событий является значение времени его наступления относительно базового события (срабатывания базового датчика) данной цепочки. Оценка достоверности событий основывается на параметрах поля скоростей, значения которого формируются на основе анализа параметров

физических процессов в объекте и отражают диапазоны скоростей изменения положения элементов объекта или его дискретных состояний.

Оценка достоверности количественных значений непрерывных параметров накладывается на пространство контролируемой технологической цепочки, тем самым выделяя интервалы актуальности количественных характеристик процессов на данном технологическом участке.

Реализация системы диагностики информационной надежности на базе контроля цепочек динамических параметров позволила выполнять основные функции системы управления раскромом проката, с требуемой точностью при наличии высокого уровня помех и отказов датчиков.

Литература

1. Гусев Б.С. и др. Автоматизация поточного контроля и учета проката на блюмингах «Криворожсталь» – Металл и литье Украины, 5 – 6, 2000. – 17 с.

Достлев Ю.С. “Підвищення інформаційної надійності оцінки поточного стану об’єкту автоматизації”. Виконано аналіз особливостей середовища формування первинної інформації про стан об’єкту в умовах підвищеного рівня переешкод. Розглянуто основні характеристики оцінки достовірності параметрів з урахуванням особливостей фізичних процесів об’єкту автоматизації. Виконано обґрунтування структури апаратно-програмного комплексу підвищення інформаційної надійності у системах безперервного автоматизованого контролю оперативного стану динамічних об’єктів. На прикладі контролю параметрів прокатки на металургійному підприємстві наведено залежності надмірності для забезпечення потрібного рівня надійності.

Ключові слова: інформаційна надійність, захист від переешкод, автоматизація контролю.

Dostlev Y. “Improving of information reliability for assessment of the current state of the automation object”. The analysis of the formation environment peculiarities of the initial information about object state in conditions of high noise have been made. In this article basic reliability parameters characteristics estimation have done, taking into account characteristics of many physical processes important parameters of the basic technological processes automated object. We have investigated the effects of interference of various kinds on the information content of data about the current object state. The main attention is paid to the reliability analysis of dynamic parameters, which are described as a function of real time. There are considered questions of construction of parametric structures control the current settings of objects with continuous technological areas. To ensure the control for continuity of process states in breach of the informational integrity of the individual components of the data flow, was offered the option of dual control time intervals of the estimates of the dynamic parameters of the technological chain. The choice of the base points of the control intervals of sensors operation was proved, depending on the results of the evaluation of the validity of the previous signal in the chain gauge. It was made justification of the structure of hardware and software for information reliability augmentation in continuous automated monitoring of the operational state of the dynamic objects. By the example of the control of parameters to obtain rental at a metallurgical plant it was shows the dependencies necessary structural redundancy and filling the information basis for assessment of the reliability of the data to achieve the required level of reliability assessment of the current state of the control object.

Keywords: information reliability, noise protection, automation control, information redundan.

Статья поступила в редакцию 27.01.2014
Рекомендована к публикации канд. техн. наук А.В. Звягинцевой

Automation of data transfer and analysis of the effectiveness in the energy management of municipal institutions

A. Kharytonov

Donetsk national technical university

donetskant@yandex.ru

A. Kharytonov "Automation of data transfer and analysis of the effectiveness in the energy management of municipal institutions". This article provides an overview of software products in the field of energy monitoring, considers the issues of creating an information system of monitoring of municipal facilities' energy efficiency in Donetsk and also describes the results of the system. Analysis of existing software was conducted and on this basis the information system for monitoring and evaluation of energy consumption for the buildings of public sector facilities has developed. Currently, this system is implemented in all schools in Donetsk. The developed information system makes it possible to prepare the generalized data on energy consumption, performs short-term and long-term predictions of it and provides information support in justifying energy saving measures.

Keywords: Energy efficiency, automated system, monitoring, data collection, COM-technology, diagram "Energy-Temperature".

Introduction

The Resolution of the Donetsk city council from 20.05.2008 № 19/14 "On the program for the implementation of energy saving measures in public sector facilities" approved a program for the implementation of energy saving measures, in which the primary role was assigned to the problem of heat supply, modernization of the objects of public sector through the introduction of energy-saving technologies and automation of metering of energy resources consumption in public sector facilities.

One of the goals of this program is to automate the accounting of energy resources consumption in public sector facilities, which is determined by the presence of automatic posts of monitoring of energy consumption and temperature regime in rooms, data transmission systems, centralized databases and software modules that allow to analyze incoming information and forecast energy consumption. Information basis of such a system is the database, which periodically fills in by monitoring entities and continuous data that is coming from automated posts. This paper focuses on the development of this system.

Review of systems and software

In today's world there are plenty of software and hardware monitoring tools for control the consumption of energy resources.

All software tools for energy accounting can be divided into two main groups – programs for personal computers and Internet services. Each group has its own advantages and disadvantages.

Some versions of the software for the personal computer can be connected with the server

(multi-user programs FASER, METRIX). These programs are useful for companies that occupy a large area, as well as for government and municipal organizations. For use of Internet services for energy accounting (Energy Watchdog, EnergyTrax, ENSI) permanent Internet connection is required.

Most programs take into account the energy resources and constitute reports (Utility Manager [10], [11], METRIX [10], Stark Essentials [10] and others), however, some of them also allow to carry out the analysis (FASER, ENSI, etc.). Kind of analysis depends on the task and can be very different. For example, while the Energy Watchdog and EnergyTrax perform comparative analysis of consumption, the METRIX has the ability to analyze the data using multivariate linear regression. The program FASER analyzes the correlation of daily temperature and the product ENSI constructs the diagram "energy-temperature". More detailed overview is presented in table 1.

Statement of the problem

All of the programs mentioned above can be divided into three groups depending on the data exchange procedure:

- exchange data via the web-interface (Energy Watchdog, EnergyTrax, ENSI);
- exchange data manually via the data files (Energy plan);
- without exchange data (METRIX, FASER).

While creating an automated system of the energy resources consumption accounting of Donetsk public sector, the following requirements were taken in mind:

- collection should have been fully

Table 1. – Systems and software overview

Name of the program	Country	Decision making support	platform	Types of analysis	Price
Utility Manager	USA	no	DBMS Microsoft Access	no	\$ 2500
METRIX	USA	A budget setting and consumption limits	Application Software	Multivariate linear regression	\$4,995.00.
FASER	USA	A budget formation	Application Software	Analysis of the correlation of daily temperature	\$3995
Stark Essentials Level 1	United Kingdom	Budget formation and forecasting of funds movement	Application Software	No data	No data
EZ Sim	USA	Prediction of utility bills, setting the number of indicators, during the energy-saving measures	DB Microsoft Excel	The use of utility bills for resource consumption modeling	\$299
Energy Watchdog	USA	no	WEB-Interface	Comparative analysis of consumption	Depends on the number of objects
EnergyTrax	USA	no	WEB-Interface	Data comparison	\$ 700 for 1 object
ENSI	Norway	no	WEB-Interface	ET-diagram	No data
Energy plan	Ukraine	no	Application Software	no	250 000 UAH

automatic, because of the large number of monitoring objects;

- there is no Internet connection in all public sector facilities; so transfer of data should not depend on the time.

To solve this problem, the information model was created and implemented.

The design and implementation of the information model

Information model of automation of data transfer is presented in Figure 1. It is assumed that schools in Donetsk are equipped with meters and thermometers and readings are taken regularly from sensors in automatic or manual mode. After that indications are transmitted via the Internet and appear in the database system.

The information model that is proposed above is implemented as follows (Figure 2).

The operator takes readings from sensors (manual mode) and stores them in the local database file MS Access. The file is archived and sent by email to the address dedicated for considered purposes. The operator of the server-side software and hardware complex periodically initiates the MS Access macro to automatically receiving and processing files from all municipal facilities, with the addition of the information contained therein to the database system.

The macro runs MS Outlook through the COM technology and scans emails in "Inbox".

For each message that is not processed yet, the theme of which meets the specified criteria, the viewing of all its files is performed. Each attachment must be an «mdb» file format with the taken over time readings or file of a «rar» format where an «mdb» file is packed.

If it matches attachments, the following actions are performed. At the command of the MS Access macro (1) MS Outlook application saves a file's attachments to a temporary directory A (2). The same macro runs specially designed Java application (3) for processing the stored attachments. If the file is a «rar» archive format, a Java application launches Rar archive program (4) to unpack the archive into a temporary directory in (5). Unpacking to a separate directory is needed for an «mdb» file name to be arbitrary (minimizing the human factor) and handling the situation of the content of multiple files in the archive. The correct file «mdb» from the unpacked archive is moved to a temporary directory C (6). Indications of it are added into the main database by another MS Access macro (7).

The design and implementation of the mathematical model of analysis of energy consumption

The main tool of energy monitoring system - diagram "Energy-Temperature"; ET – diagram (ET-curve).

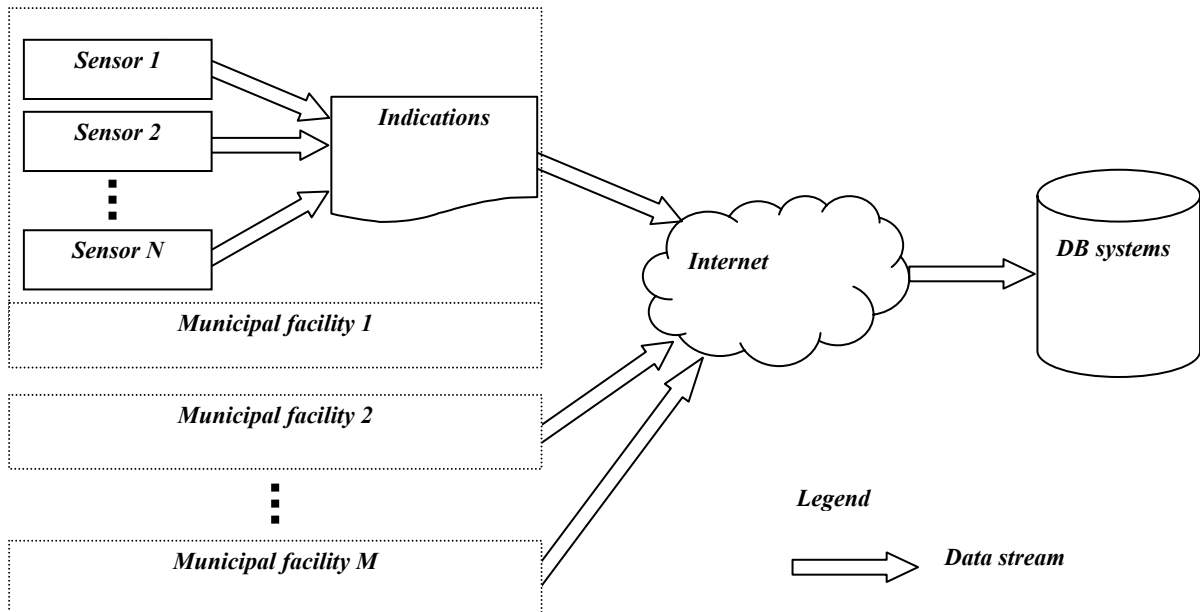


Figure 1. – Information model of automation of data transfer

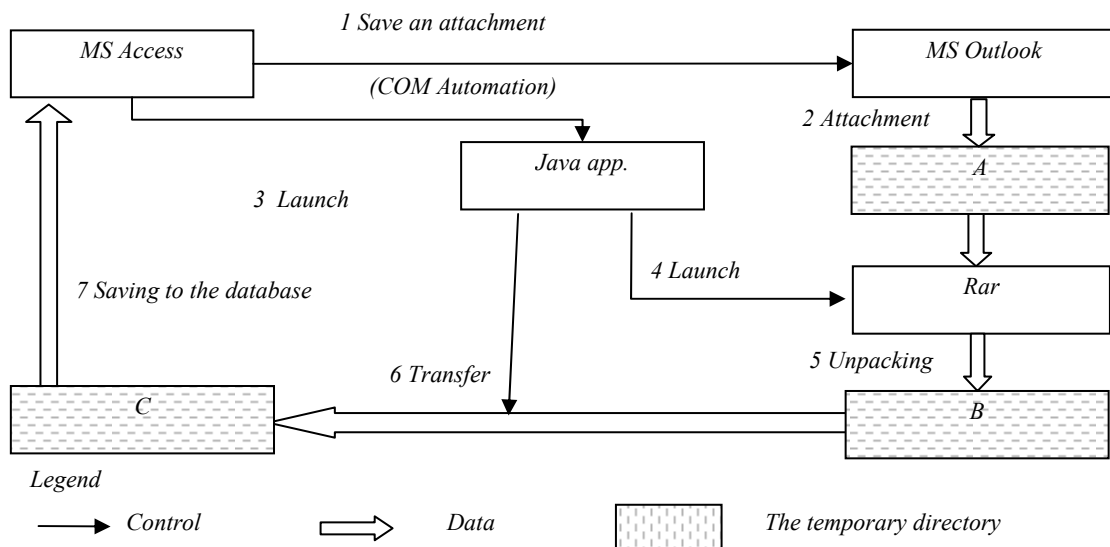


Figure 2. – One iteration of processing an email

The horizontal axis represents the “average outdoor temperature” (air) for [° C], and the vertical axis – the “Energy consumption” in the heated area [giga-calorie].

ET-diagram shows the recorded energy consumption and outer temperature during the day. The constructed line as a result of measurements is called “ET-curve”.

During the heating period, the power consumption increases with decreasing of outdoor temperature. By increasing the outdoor temperature energy consumption is reduced, approaching the minimum level, which corresponds to the absence of heating. Each building has a unique (unique) ET-curve. In order to construct the ET-curve for the building, information about outdoor temperature and heat consumption is required.

Besides the actual ET-diagram for analysis of energy efficiency of building heat load the calculated ET-diagram, which is constructed on the basis of the heat balance of the building is used. This is expressed by the following equations:

$$Q_1 = q_v \cdot V_b \cdot (t_{in} - t_{out}), \quad (1)$$

where Q_1 – heat flow that is lost in the building to environment kW (Mcal/h); q_v – the specific heating characteristics of the building, W/(m³·K); V_b – volume of the building on the outside measurements, m³.

Compensation for these losses is carried out by supplying thermal energy from the heating network:

$$Q_2 = m_v \cdot c \cdot (\tau_1 - \tau_2), \quad (2)$$

where m_v – consumption of water in heating network, t/h(kg/s), c – water heat capacity, kJ/kg·K (operating temperature range varies slightly and can be assumed to be 4.19 kJ/kg·K).

To transfer heat inside the building the special devices (radiators, convectors) are used. Heat transferred by the radiators, determined by the expression:

$$Q_3 = k \cdot F \cdot \Delta t, \quad (3)$$

where k – average heat transfer coefficient from the water circulating in the heating devices to the air in the rooms, W/(m²·K) or kcal/(h·m²·K); F – heat exchange surface area of heating appliances installed in the building, m²; Δt – the average value of the logarithm of the thermal pressure between the heaters and air in the rooms.

In the stationary regime, in the absence of internal sources of heat, rooms are warmed by solar insolation, etc.:

$$Q_1 = Q_2 = Q_3. \quad (4)$$

The thermal counter records the heat, which is transferred from radiator in view of the heat transmitted from the pipes of inner heating circuit (and it can also be taken into account in formula (4)). By this reason for any regime

$$Q_2 = Q_3. \quad (5)$$

Thus, by determining experimentally the average temperature inside of the building in the absence of internal heat (best suited nighttime when there is no rain and strong wind), the temperature pressure from a heating system of the building can be found. Taking into account (5) the value of the complex is calculated:

$$k \cdot F = \frac{Q_2}{\Delta t_{cp}}. \quad (6)$$

Then the actual parameter Φ_o of the heating system (which determines the heat output of the heating systems) is described by the correlation [2]:

$$\Phi_o = k \cdot F \cdot \left(\frac{t_{in} - t_o^p}{t_{in} - t_{out}} \right)^{0.2}. \quad (7)$$

The internal heating circuit must be in good state (washed, repaired, space heaters should not be cluttered up etc., they have to be in condition of normal operation). In this case, Φ_o is constant for each regime, and at any temperature condition. Reduction of this characteristic will indicate the clogging of heating appliances and the need for its inspection and cleaning.

Internal heat in a building with a certain degree of accuracy can be determined by the following formula:

$$\Delta Q_{ms} = q_v \cdot V_b \cdot (t_{in} - t'_{in}), \quad (8)$$

where t'_{in} – the average indoor temperature which is created by a heating system without internal heat sources.

The product $q_v \cdot V$ is the heating curve of the building. This characteristic is defined as:

$$q_v \cdot V_{in} = \frac{Q_2}{(t'_{in} - t_{out})}, \quad (9)$$

and should remain a constant in the stationary regime of heating. Changing of this parameter will indicate a change of the thermal resistance of the building structure and can be the result of the strong winds, fences wetting etc. However, the heating characteristics of the building, calculated only on the basis of the heat meter, usually have a significant range of values. For this reason its actual value can be found as the average over the entire heating season.

Based on the heating characteristic of the building the estimated heating load can be determined, which serves as the basis for the formation of the estimated ET-diagram:

$$Q'_o = q_v \cdot V_b \cdot (t_{in} - t_{out}^p). \quad (10)$$

The result of an information system. Analysis of heat

As an illustration we consider the operation of the information system by analyzing the effectiveness of heat consumption in schools of Voroshilov district of Donetsk.

For the analysis of heat consumption 4 characteristics are used:

1. The actual consumption of school;
2. Consumption rate for the year in accordance with government standard;
3. The amount of heat per year at their calculated ET-diagram;
4. The amount of heat per year according to the actual ET-diagram.

Consider these characteristics in detail.

1. The actual consumption of school according to data of paying organizations is taken from the accounts, which specify natural indicators.

2. Consumption rate according to Construction Rules and Regulations 2.04.07-86 “Heating networks” for a year is taken from the table “Consumption norms of heat for heating administrative buildings and structures in Gcal/(m³ for year) for the heating period”. Consumption rate for the year by Construction Rules and Regulations, Gcal is presented in the resulting table.

3. The amount of heat per year estimated by ET diagram is determined on the basis of heat balance equations of building. For each scheme the linear trend is constructed. The resulting linear equations are shown in Table 2.

Since ET-diagrams are based on the hourly consumption of electricity and each point on the curve indicates the energy consumption per hour for a particular day there is a need to determine temporal characteristics of the heat consumption for the year.

Table 2. – Calculated and actual characteristics

School buildings	Approximating linear trend for the calculated ET-diagrams	Number of Gcal per year according to data of calculated ET-diagrams	Approximating linear trend for the actual ET-diagrams	Number of Gcal per year according to data of the actual ET-diagrams	Real data approximation error
School №3	$y = -4,1555x + 74,799$	323,2958	$y = -3,5983x + 86,658$	359,2589	0,0867
Gymnasium №15	$y = -5,3699x + 96,659$	407,6043	$y = -4,6512x + 92,592$	387,9623	0,5795
Gymnasium №18	$y = -4,2467x + 76,441$	322,3087	$y = -3,006x + 93,349$	382,4295	0,12
Educational complex KORN	$y = -4,9797x + 89,634$	377,916	$y = -2,5595x + 72,569$	298,5809	0,2226
Educational complex №5 (housing 1)	$y = -11,345x + 204,21$	861,14	$y = -6,2258x + 203,5$	830,4906	0,3007
Educational complex №5 (housing 2)	$y = -0,9646x + 17,364$	73,18349	$y = -0,7147x + 19,741$	81,3072	0,1409
School №9	$y = -12,172x + 219,09$	923,8896	$y = -7,0246x + 181,29$	749,0794	0,5622
Educational complex (housing 1)	$y = -4,2483x + 76,47$	322,4687	$y = -3,7015x + 67,381$	283,9294	0,6133
Educational complex (housing 2)	$y = -4,3902x + 79,023$	333,1939	$y = -5,0319x + 100,76$	422,0271	0,3842
Educational complex (housing 3)	$y = -3,3713x + 60,683$	255,8779	$y = -2,4804x + 94,84$	385,8311	0,0762
Lyceum №22	$y = -5,4563x + 98,213$	414,1259	$y = -4,394x + 102,63$	426,1713	0,6897
Educational complex №1 (housing 1)	$y = -0,6222x + 24,933$	101,2715	$y = -0,9302x + 32,166$	131,2846	0,244
Educational complex №1 (housing 2)	$y = -2,6257x + 65,105$	269,5021	$y = -1,4987x + 70,528$	285,1519	0,1321
Educational complex №1 (housing 3)	$y = -0,3104x + 16,698$	67,26147	$y = -0,6235x + 20,57$	84,09874	0,1961
School №13	$y = -4,305x + 77,49$	326,7449	$y = -3,9655x + 91,455$	379,4719	0,3562
DSPMS №17	$y = -6,8609x + 123,5$	520,7902	$y = -4,5761x + 111,23$	460,9417	0,3325
School №2	$y = -4,29x + 77,221$	325,5529	$y = -3,2738x + 102,08$	418,3226	0,72
School №14	$y = -5,6117x + 101,01$	425,944	$y = -4,0412x + 111,58$	459,6084	0,5172

Table 3. – Summary of indicators of consumption analysis, Gcal

	The fact according to RSA	Consumption rate for the year by Construction Rules	Gcal per year (calculated ET-diagram)	Gcal per year (real ET-diagram)
School №3	264,19	445,295	323,295804	359,25888
Gymnasium №15	328,26	252,7866	407,604334	387,9623
Gymnasium №18	328,07	451,60395	322,308672	382,429541
Educational complex KORN	329	230,1885	377,915976	298,580928
Educational complex №5	810,98	742,095	934,323444	911,797821
School №9	710,81	712,908	923,88961	749,079437
Educational complex	930	558,44138	911,540539	1091,78753
	481,92	1072,9224	414,125928	426,171259
Lyceum №22	628,6	712,057	438,035071	500,53524
Educational complex №1	347,43	1317,325	326,74488	379,47192
School №13	479,04	554,829	520,790199	460,941702
DSPMS №17	409,3	1817,92	325,552872	418,322616
School №2	425,13	1397,043	425,944008	459,608352

For this purpose it is necessary to know the number of heated hours in schools based on the basis of existing regulations.

ET-diagram is constructed by matching the energy consumed to ambient temperature. By this reason the average monthly temperature, according to the Hydrometeorological Center, must be used for calculations.

From the table 2 of equations by substituting x with the average temperature we obtain calculated amount of heat by ET-diagram. The calculated amount of heat in ET-diagram for each month is shown in Table 3.

4. The amount of heat per year based on the actual ET-diagram is constructed for verifying the correctness of the calculation methodology. The calculation is similar to the previous method, but the equations of the trend are built for real (measured) data. The result of the calculation of the characteristic is also presented in Table 3.

To determine the least energy-efficient schools we use 2 numerical characteristics derived from the analysis of ET-diagrams: size of reliability of data approximation of the actual ET-diagram and the difference between the real and the calculated ET-diagram as a percentage in relation to the actual ET diagram.

The value of reliability of (error) approximation calculates statistics for the range using the least squares method to calculate a straight line that is best at approximation of the data available (Table 2).

Approximation of data of the actual ET-diagram shows the imbalance of the heating system. Approximation coefficients for each building are presented in the table and the graph. The closer the reliability of approximation to 0, the higher the temporary imbalance of the system is. Temporary imbalance of the system manifests itself as follows: when there is a change of ambient temperature, the amount of heat supplied to school will not change quickly. As a result there is the delay, the mismatch of heat supplied to the current temperature.

Problems identified by the value of reliability of the approximation (approximation error) of the data of the actual ET-diagrams are the lack of timely regulation and system unbalance.

To analyze the operation of the heating system the difference between ET-diagrams, as a percentage relatively to the actual ET-diagram, is presented in Table 4.

This difference shows how much various buildings are in state of overheating or underheating. This does not include the previous measure of reliability of approximation. It means, that the system can be configured to respond to the ambient temperature, but not enough to give the necessary amount of heat According to the data provided by the heating networks, heat is supplied to all schools

according to the temperature profiles, so we will define with this measure heat loss from buildings

To determine the least energy-efficient schools we use 2 numerical characteristics derived from the analysis of ET-diagrams: size of reliability of data approximation of the actual ET-diagram and the difference between the real and the calculated ET-diagram as a percentage in relation to the actual ET diagram.

The value of reliability of (error) approximation calculates statistics for the range using the least squares method to calculate a straight line that is best at approximation of the data available (Table 2).

Approximation of data of the actual ET-diagram shows the imbalance of the heating system. Approximation coefficients for each building are presented in the table and the graph. The closer the reliability of approximation to 0, the higher the temporary imbalance of the system is. Temporary imbalance of the system manifests itself as follows: when there is a change of ambient temperature, the amount of heat supplied to school will not change quickly. As a result there is the delay, the mismatch of heat supplied to the current temperature.

Problems identified by the value of reliability of the approximation (approximation error) of the data of the actual ET-diagrams are the lack of timely regulation and system unbalance.

To analyze the operation of the heating system the difference between ET-diagrams, as a percentage relatively to the actual ET-diagram, is presented in Table 4.

This difference shows how much various buildings are in state of overheating or underheating. This does not include the previous measure of reliability of approximation. It means, that the system can be configured to respond to the ambient temperature, but not enough to give the necessary amount of heat According to the data provided by the heating networks, heat is supplied to all schools according to the temperature profiles, so we will define with this measure heat loss from buildings.

Conclusion

Analysis of existing software was conducted and on this basis the information system for monitoring and evaluation of energy consumption for the buildings of public sector facilities has developed. Currently, this system is implemented in all schools in Donetsk.

The developed information system makes it possible to prepare the generalized data on energy consumption, performs short-term and long-term predictions of it and provides information support in justifying energy saving measures.

Table 4. – The error of approximation of the actual ET-diagram and the difference between ET diagrams

	The error of approximation of the actual ET-diagram	The difference between ET diagrams, as a percentage relatively to the actual ET-diagram
Educational complex (housing 3)	0,0762	33,68137
Educational complex №1 (housing 1)	0,244	22,86108
School №2	0,72	22,1766
Educational complex (housing 2)	0,3842	21,04916
Educational complex №1 (housing 3)	0,1961	20,02083
Gymnasium №18	0,12	15,72077
Educational complex №5 (housing 1)	0,3007	-3,69051
Gymnasium №15	0,5795	-5,06287
DSPMS №17	0,3325	-12,984
Educational complex (housing 1)	0,6133	-13,5736
School №9	0,5622	-23,3367
Educational complex KORN	0,2226	-26,5707

References

1. Практическое руководство по повышению энергоэффективности муниципальных систем / Под ред. А.С. Копеца и Р.В. Кишканя. – Донецк, 2007. – 204 с.
2. Указ Президента Украины «О решении Совета национальной безопасности и обороны Украины от 30 мая 2008 года «О состоянии реализации государственной политики по обеспечению эффективного использования топливно-энергетических ресурсов» № 679/2008 от 28.07.2008.
3. Стратегия развития г. Донецка на период до 2020 г. / Под ред. А.И. Амоша. – Донецк: Донецкий городской совет. – 2008. – 308 с.
4. Сафьянц С., Аверин Г., Харитонов А. и др. Отчет о научно-исследовательской работе «Автоматизация учета потребления энергоносителей бюджетной сферы г. Донецка». – Ч. 1. – 2008. – 162 с.
5. Харитонов А.Ю. К вопросу создания эффективных автоматизированных систем для получения энергии / А.Ю. Харитонов // Науч. труды Донецкого Национального технического университета. – 2008. – № 9. – С. 292 – 295.

Харитонов А.Ю. «Автоматизація передачі даних і аналіз енергетичної ефективності в розподіленому програмно-апаратному комплексі енергетичного менеджменту муніципальних об'єктів». У статті представлено огляд програмних продуктів в області моніторингу енергоспоживання, розглянуто питання створення інформаційної системи моніторингу енергоефективності муніципальних об'єктів м. Донецька, а також описано результати роботи системи. На основі аналізу програмних продуктів в області аналізу енергоспоживання, а також на підставі поставлених завдань розроблено програмне забезпечення, що дозволяє безперервно аналізувати поточний стан енергоспоживання щодо будівель – об'єктів бюджетної сфери. Це програмне забезпечення аналізує інформацію щодо енергоспоживання з усіх шкіл м. Донецька. Інформаційна система дозволяє реалізувати вищеприписаний алгоритм по кожній будівлі, що відноситься до організацій бюджетної сфери, проводити формування і представлення узагальнених даних про витрати енергоресурсів.

Ключові слова: енергоефективність, автоматизована система, моніторингу, збір даних, СОМ-технологія, діаграма «Енергія-Температура».

Харитонов А.Ю. «Автоматизация передачи данных и анализ энергоэффективности в распределенном программно-аппаратном комплексе энергоменеджмента муниципальных объектов». В статье представлен обзор программных продуктов в области мониторинга энергопотребления, рассматриваются вопросы создания информационной системы мониторинга энергоэффективности муниципальных объектов г. Донецка, а так же описываются результаты работы системы. На основе анализа программных продуктов в области анализа энергопотребления, а так же на основании поставленных задач разработано программное обеспечение, позволяющее непрерывно анализировать текущее состояние энергопотребления для зданий объектов бюджетной сферы. Данное программное обеспечение анализирует все школы г. Донецка.

Ключевые слова: энергоэффективность, автоматизированная система, мониторинг, сбор данных, СОМ-технология, диаграмма «Энергия-Температура»

Статья поступила в редакцию 12.02.2014
Рекомендована к публикации канд. техн. наук В.Н. Беловодским

Сравнение чувствительности термоанемометров двух типов: импульсного и постоянной температуры

Пометун Е.Д.¹, Кузнецов Д.Н.²

¹Донецкий национальный университет,

²Донецкий национальный технический университет

Alternativa1903199@rambler.ru

Пометун Е.Д., Кузнецов Д.Н. «Сравнение чувствительности термоанемометров двух типов: импульсного и постоянной температуры». Данная работа посвящена сравнению относительной чувствительности к скорости потока газа термоанемометров постоянной температуры на основе нити и термистора в качестве чувствительного элемента, а также импульсного термоанемометра на основе термопары. Выполненные исследования показали, что относительная чувствительность импульсного термоанемометра (ИТА) сохраняется постоянной в диапазоне измерений скоростей от 2 до 20 м/с и значительно превышает чувствительность термоанемометров постоянной температуры, с чувствительным элементом на основе вольфрамовой нити и NTC – термистора. По сравнению с термоанемометром постоянной температуры, область осреднения ИТА определяется размером спая. В данном случае размеры спая были равны 0,1 x 0,1 (мм) и в случае необходимости могут быть значительно уменьшены. Эти результаты могут быть использованы при разработке средств измерений на основе термопреобразователей для измерения средней скорости неизотермического потока газа.

Ключевые слова: сравнение чувствительности, импульсный термоанемометр, термопара, термоанемометр постоянной температуры, первичный измерительный преобразователь

Введение

Термоанемометрические методы широко применяются для измерения параметров воздушного потока в промышленности и научных исследованиях. Например, использование термоанемометров регламентировано Ведомственными строительными нормами [1].

Преимуществами термоанемометрического метода является низкая стоимость датчика и простота обрабатываемой аппаратуры, а также то, что геометрические размеры проволочных датчиков позволяют проводить измерения в области пограничного слоя. В то же время, термоанемометрические первичные измерительные преобразователи (ПИП) обладают рядом характерных недостатков: сильной зависимостью показаний от температуры потока и нелинейной зависимостью выходного электрического сигнала от скорости.

Температурная зависимость компенсируется различными способами, например, с использованием дополнительного измерительного канала температуры с последующей программной коррекцией выходного сигнала термоанемометра (ТА) [2] или с помощью специальных схемных решений. Сильная нелинейная зависимость выходного сигнала от скорости обусловлена особенностями теплообмена нагретого ПИП. Линеаризация такого выходного сигнала, как и при компенсации температурной зависимости, осуществляется

программными и аппаратными средствами. Нелинейность сигнала термоанемометрических ПИП ограничивает достоверность и диапазон измерений. В связи с этим, особый интерес представляет разработка и исследование новых принципов измерений скорости потока, основанных на термоанемометрическом методе.

Термоанемометрические методы: принципы, особенности

В ДонНУ на кафедре ФНПМиЭ им. И.Л. Повха совместно с ДонНТУ разработаны и изготовлены ТА трех типов: на основе проволочного ПИП (диаметр проволоки 8 мкм), на основе термистора СТЗ-18 и ИТА на базе термопары [3].

В научно-исследовательской литературе, несмотря на практическую важность, отсутствует информация по сравнению чувствительности термоанемометров различных типов.

Целью работы является сравнение чувствительности ИТА и ТА постоянной температуры к скорости потока воздуха.

Принцип действия первых 2-х ТА основан на зависимости между скоростью потока и теплоотдачей чувствительного элемента (ЧЭ), помещенного в поток и нагретого электрическим током до постоянной температуры. Функциональная схема ТА постоянной температуры представлена на рисунке 1. Работа ТА постоянной температуры

основана на поддержании постоянным сопротивления датчика R_g , включенного в цепь моста Уинстона, составленного из элементов $R_1 - R_2$. При уменьшении сопротивления датчика R_g , вызванного увеличением теплообмена чувствительного элемента (ЧЭ) с окружающей средой, напряжение

на инвертирующем входе операционного усилителя (ОУ) уменьшается. В результате, на выходе ОУ напряжение увеличивается и ток, протекающий по цепи R_2, R_g разогревает датчик до исходного состояния. Таким образом, независимо от условий теплообмена, сопротивление и, следовательно, температура датчика поддерживается постоянной.

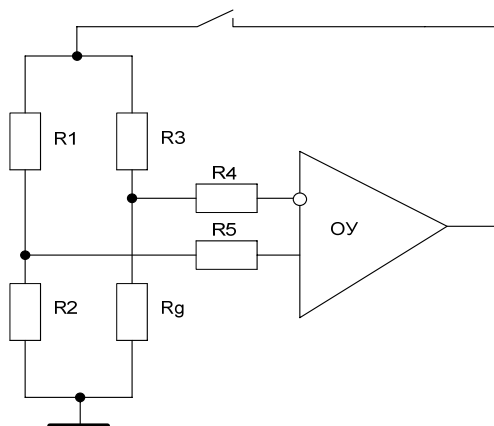


Рисунок 1. – Функциональная схема термоанемометра постоянной температуры

Принцип работы ИТА основан на измерении постоянной времени в процессе охлаждения спая термопары потоком воздуха при импульсном разогреве. Оценка перспектив использования ИТА включает измерение и анализ целого ряда параметров. По результатам [3] ИТА имеет существенное преимущество перед ТА, в частности, его температурная погрешность примерно на порядок меньше.

На рисунке 2 представлена функциональная схема ИТА. Рассмотрим принцип ее работы. Выполнение измерений начинается по команде компьютера. Микроконтроллер посредством

цифроаналогового преобразователя (ЦАП) формирует короткий импульс нагрева термопары амплитудой 2 вольта и длительностью порядка 50 мс. Сигнал с выхода ЦАП поступает на мощный повторитель напряжения, собранный на элементах DA1 и VT1. Нагрузкой повторителя является термопара. Электрическое сопротивление термопары составляет порядка 2 Ом, а максимальный ток разогрева достигает 1 А. За короткий интервал времени действия импульса рабочий спай термопары разогревается до температуры порядка 100 – 200 °С.

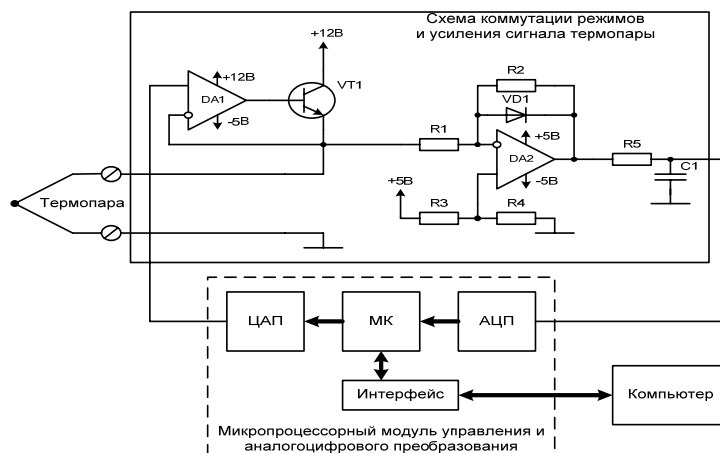


Рисунок 2. – Функциональная схема ИТА

После отключения импульса нагрева транзистор VT1 запирается, и термопара переходит в режим генерации термоЭДС. Измерительный сигнал усиливается инвертирующим усилителем с коэффициентом усиления по напряжению порядка 400, собранным на элементах DA2, R1..R4 и через фильтр нижних частот R5, C1 поступает на аналого-цифровой преобразователь микропроцессорного модуля. Для регистрации переходной характеристики остывания термопары микроконтроллер сохраняет 300 значений с периодом дискретизации 10 мс и выдает полученный массив измерительных данных в компьютер для сохранения и дальнейшей обработки результатов.

Каждый из типов ТА имеет свои преимущества и недостатки. ТА постоянной температуры позволяет получать непрерывный аналоговый электрический сигнал, необходимый для измерения быстро изменяющихся параметров потока, например, интенсивность турбулентности. Однако, по сравнению с ИТА его чувствительность к изменению температуры потока почти на порядок выше. В то же время, существует ряд задач, для решения которых могут использоваться анемометры двух типов. Одной из таких задач является измерение средней скорости потока газа. Важнейшей метрологической характеристикой, позволяющей сравнивать средства измерительной техники, является чувствительность. РМГ 29 – 99 [4] определяет чувствительность как отношение приращения входного сигнала к выходному:

$$S = \frac{df(E)}{dV}, \quad (1)$$

где $f(E)$ – некоторая аналитическая функция, E – выходное напряжение термоанемометров, V – скорость потока воздуха.

Экспериментальное сравнение чувствительности термоанемометров

Для определения чувствительности ПИП были получены экспериментальные зависимости между скоростью потока воздуха и выходным электрическим сигналом (градуировочные зависимости) для каждого типа датчика. Эти данные, представленные в табличном виде, аппроксимировались аналитическими функциями.

Определение градуировочной зависимости выполнялось по общей для всех датчиков методике. На аэродинамической трубе АДС 200/250 [5] устанавливалась постоянная температура потока воздуха, равная $T = 35$ °С и скорость от 2 м/с до 20 м/с. Датчики располагались на срезе сопла, в центре потока. Температуры перегревов для датчиков ТА постоянной температуры и ИТА устанавливались идентичными и равными 100 °С. Для уменьшения случайной составляющей погрешности было выполнено по 5 измерений в каждой точке для каждого типа датчиков. Осредненные результаты измерений для ТА постоянной температуры представлены на рисунке 3, а для ИТА на рисунке 4.

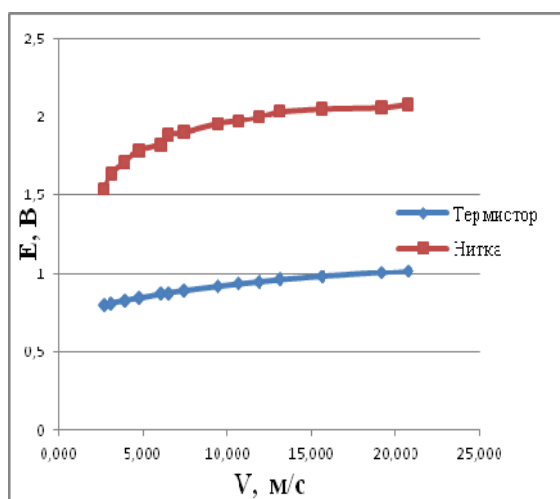


Рисунок 3. – Зависимость между выходным напряжением и скоростью потока газа для ТА постоянной температуры

Для определения чувствительности и сравнения полученных результатов выполнено нормирование экспериментальных данных и построены аппроксимирующие экспериментальные

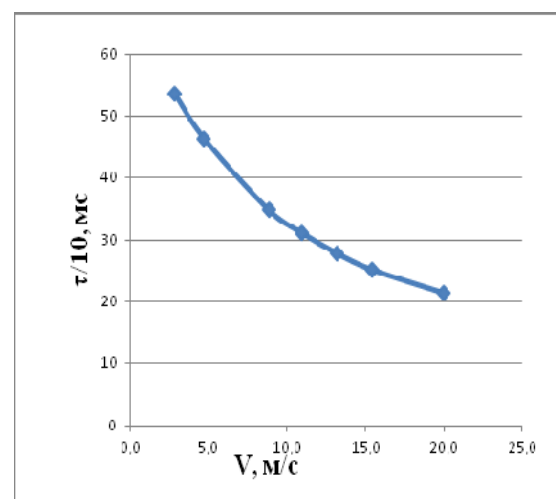


Рисунок 4. – Зависимость между постоянной времени термопары ИТА и скоростью потока газа

функции. Для ИТА использовалась функция, обратная градуировочной. В соответствии с [2] градуировочные характеристики представлены полиномами со степенью $n = 4$.

Чувствительность преобразователей определялась по соотношению (1). Анализ показывает, что чувствительность ТА постоянной температуры слабо зависит от типа ПИП, имеет максимальное значение при минимальной скорости и нелинейно убывает с увеличением скорости. Для ИТА величина, обратная постоянной времени, имеет размерность частоты. Зависимость между

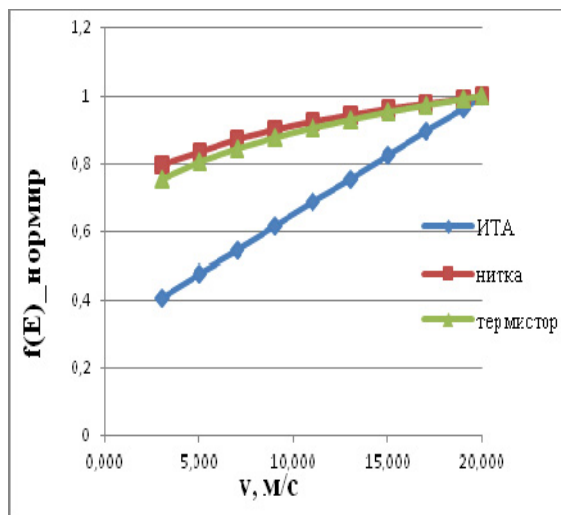


Рисунок 5. – Зависимость между нормированными значениями выходного сигнала и скоростью для 3-х типов термоанемометров

Особый интерес для практических целей представляет зависимость чувствительности от скорости в диапазоне ниже 2 м/с. Можно предположить, что ТА постоянной температуры будет иметь сложную зависимость от скорости, обусловленную конвективным теплообменом. Линейность ИТА в области низких скоростей нуждается в дополнительном исследовании.

Выводы:

1. Выполненные исследования показали, что чувствительность ИТА может быть принята равной константе в диапазоне 2 – 20 м/с. Чувствительность ТА на основе нитки и термистора имеет максимальное значение при минимальных скоростях и резко уменьшается с ростом скорости.
2. Постоянная чувствительность ИТА в диапазоне от 2 до 20 м/с в неизотермическом потоке позволяет значительно упростить процесс градуировки.
3. По сравнению с ТА постоянной температуры, область осреднения ИТА определяется размером сая. В данном случае размеры сая были равны 0,1 x 0,1 (мм) и в случае необходимости могут быть значительно уменьшены.

изменением частоты и скоростью потока (рис. 5) близка к линейной функции с постоянным тангенсом угла наклона, т.е. чувствительность ИТА была постоянной во всем диапазоне скоростей.

Зависимость чувствительности от скорости потока для трех типов термоанемометров представлена на рисунке 6.

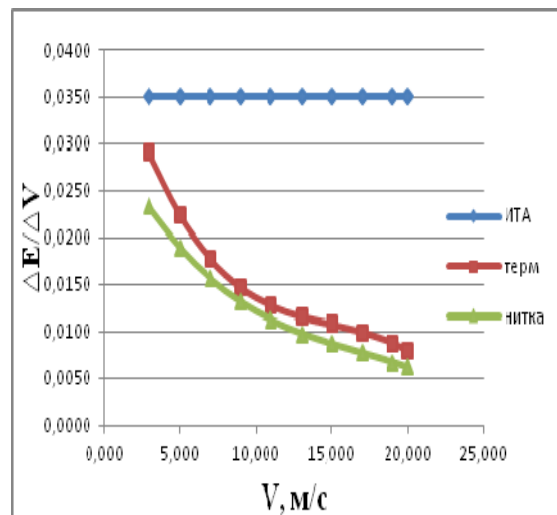


Рисунок 6. – Зависимость чувствительности от скорости потока

Литература

1. Ведомственные строительные нормы по теплотехническим обследованиям наружных ограждающих конструкций зданий с применением тепловизоров. ВСН 43 – 96. – [введ. 01.10.1996]. – М: Мосстройлицензия, 1996. – 12 с.
2. Пометун Е.Д., Лебедев В.Н., Никула М.А. Оптимизация функции аппроксимации градуировочной характеристики термоанемометра. // Збірник наукових праць студ. наук. конф. Донецького національного університету. Донецьк: ДонНУ.
3. Кузнецов Д.Н., Лебедев В.Н., Перебийнос В.В. Исследование импульсного термоанемометра с термопарой в качестве термочувствительного элемента. // Научные труды Донецкого национального технического университета. Серия: Вычислительная техника и автоматизация. Выпуск 23 (201). – Донецк: ДонНТУ, 2012. С. 170 – 176.
4. ГСИ. Рекомендации по межгосударственной стандартизации. Метрология. Основные термины и определения. РМГ 29 – 13 – Взамен РМГ 29 – 99 – [Введ. 01.01.99]. – М.: Стандартинформ, 2014. – 58 с.

5. Кузнецов Д.Н., Дьяченко А.А., Чупис Д.А. Настройка оптимального регулятора температуры воздушного потока аэродинамического стенда АДС – 200/250. Научные труды Донецкого национального технического университета. Серия: Вычислительная техника и автоматизация. Выпуск – 21 (183) – Донецк, ДонНТУ, 2011. С. 171 – 177.

Пометун Е.Д., Кузнецов Д.М. “Порівняння чутливості термоанемометрів двох типів: імпульсного та постійної температури”. Дана робота присвячена порівнянню відносної чутливості до швидкості потоку газу термоанемометрів постійної температури на основі нитки і термістора в якості чутливого елемента, а так само імпульсного термоанемометра на основі термопар. Виконані дослідження показали, що відносна чутливість імпульсного термоанемометра зберігається постійною в діапазоні вимірювань швидкостей від 2 – 20 м / с і значно перевищує чутливість термоанемометрів постійної температури, з чутливим елементом на основі вольфрамової нитки і NTC – термістора. У порівнянні з ТА постійної температури, область осереднення ІТА визначається розміром спаю. У даному випадку розміри спаю дорівнювали 0,1 x 0,1 (мм) і в разі необхідності можуть бути значно зменшені. Ці результати можуть бути використані при розробці засобів вимірювань на основі термоперетворювачів для вимірювання середньої швидкості неізотермічного потоку газу.

Ключові слова: порівняння чутливості, імпульсний термоанемометр, термопара, термоанемометр постійної температури, первинний вимірювальний перетворювач

E. Pometun, D.Kuznetsov “Comparison of the sensitivity thermoanemometers two types are of pulsed and constant temperature”. This work is devoted to compare the relative sensitivity to the gas flow rate at a constant temperature of thermo-anemometers based of wire and a thermistor sensor, as well as pulse based thermoanemometer thermocouple. To determine the sensitivity of the transducers were obtained by the experimental relationship between air flow rate and output an electric signal (calibration curves) for each sensor type. These data are presented in tabular form, approximated by analytic functions. Determination of calibration curve was performed according to the general procedure for all sensors. At the wind tunnel ADS 200/250 [5] establishes a persistent airflow temperature equal to $T = 35 \text{ }^{\circ}\text{C}$ and the speed of 2 m / s to 20 m / s. Sensors located at the nozzle exit, in the middle of the stream. The studies showed that the relative sensitivity thermoanemometer pulse remains constant in the measuring range of speeds from 2 – 20 m / s or considerably higher than the sensitivity of thermo-anemometers constant temperature sensing element based on a tungsten filament and NTC – thermistor. Compared with the TA constant temperature, the region defined by the size of the averaging ITA junction. In this case the dimensions of the junction are equal to 0.1 x 0.1 (mm) and if necessary may be significantly reduced. These results can be used for development on the basis of measuring thermocouples for measuring the average nonisothermal gas flow velocity.

Keywords: comparison of sensitivity, pulse anemometer, thermocouple, termoanemometr constant temperature transducer

Статья поступила в редакцию 15.01.2014

Рекомендована к публикации д-ром техн. наук Ф.В. Недопекиным

Раздел 4

Усовершенствование учебного процесса и его методическое обеспечение

Особенности преподавания дисциплины «Цветоведение» будущим программистам медиасистем

Харитонов В.В.

Донецкий национальный технический университет

victoria.kharytonova@mail.ru

Харитонов В.В. «Особенности преподавания дисциплины «Цветоведение» будущим программистам медиасистем» Изучены предпосылки включения дисциплины «Цветоведение» в учебный план специальности 6.080407 «Программирование медиасистем и компьютерный дизайн» по направлению подготовки «Компьютерные науки». Рассмотрены задачи курса «Цветоведение» применительно к будущей профессиональной деятельности программистов медиасистем. Предложен тематический план лекционного и лабораторного курсов по цветоведению, в рамках изучения предмета «Теоретические основы дизайна». Сделаны выводы относительно важности изучения цветоведения для будущих программистов медиасистем. Положительные результаты во время выполнения практических работ по дисциплинам, обеспечивающим научно-исследовательскую работу студента и дипломное проектирование, достигаются путем применения знаний и умений, полученных в процессе изучения науки о цвете.

Ключевые слова: цвет, дизайн, гармония, медиасистема.

Введение

Человека окружает разноцветная среда. Большую часть знаний об окружающем мире он получает, воспринимая цвет, который еще с древности был и способом информации, и символом, и украшением. В этом состоит социальное значение цвета.

Исследования показывают, что все люди бессознательно формируют свое представление о человеке, окружении или товаре в течение первых 90 секунд и при этом от 62 до 90% их суждений базируется только на цвете [1, с. 36].

Правильный цвет формирует правильное послание. Цвет обладает способностью вызывать отклик, создавать настроение, символизировать идею, выражать эмоцию. Каждый цвет несет в себе собственный ряд параметров, который передает информацию, при этом цвет выступает в роли основного носителя как позитивных, так и негативных идей [1, с. 34].

Цветовые воздействия на глаз влекут за собой перестройку нервной системы организма и тем самым меняют физиологический фон, на который падают те или иные применяемые нами воздействия [2, с. 46].

Постановка задачи

Выпускники специальности «Программирование медиасистем и компьютерный дизайн» в своей профессиональной деятельности будут сталкиваться с вопросами визуализации разнообразных данных, так называемым информационным дизайном.

Информационный дизайн – это дизайн сайтов, проектирование пользовательских интерфейсов, инфографика, принципы визуализации сложной и разнородной информации, графики, диаграммы, таблицы, схемы и многое другое.

При разработке пользовательских интерфейсов немаловажной является проблема выбора правильной цветовой гаммы. Разработчик часто полагается только на свой вкус, не принимая во внимание тот факт, что его цветовые предпочтения могут не понравиться пользователю, быть неудобными и даже вредными при восприятии. Такой недостаток, как некачественное цветовое оформление, может стать причиной сокращения числа пользователей приложения [3, с. 289].

Выбор цветовой гаммы играет важную роль при создании сайта. От нее напрямую зависит восприятие сайта в целом, психологическое и физиологическое состояние человека, удобство чтения [4, с. 248].

Одной из основных проблем при оформлении обучающих систем, ориентированных на пользователей различной возрастной категории, является проблема выбора правильной цветовой гаммы, поскольку именно она представляет собой один из основных путей повышения интереса к программе и качеству усвоения материала.

Разрабатывая оболочки взаимодействия человека с программным кодом от пользовательских интерфейсов и сайтов, до мультимедийных обучающих систем, студенты должны использовать весь объем знаний и умений по применению цветового кодирования информации.

Задачи курса «Цветоведение»

Целью преподавания дисциплины «Цветоведение» является: 1) формирование систематизированного знания об основах цветоведения и колористики (как его раздела); 2) приобретение навыков выполнения колористических плоскостных композиций на базе полученных сведений о принципах и закономерностях составления гармонических цветосочетаний основных групп и типов, а также колористических композиций, основанных на психологическом воздействии цветов и ассоциациях, вызываемых ими [5, с. 3].

Так как интерфейс обычно предназначен для длительного использования человеком, разработчику необходимо грамотно подбирать цвета и их сочетания не только для привлечения внимания к своему продукту через удовлетворение эстетических потребностей, но и, что немаловажно, для сохранения физического и психического здоровья пользователя.

Цвет вызывает определенные и специфические изменения в психическом мире человека, интерпретация которых порождает то, что мы называем цветовыми ассоциациями и символами, впечатлениями от цвета [6].

Наука «Цветоведение» по традиции преподается в специализированных ВУЗах, однако с появлением новых компьютерных специальностей возникла необходимость введения этой дисциплины в учебные планы отдельных специализаций по направлению подготовки «Компьютерные науки». Такой специализацией является «Программирование медиасистем и компьютерный дизайн».

На данный момент в учебной программе присутствует дисциплина «Теоретические основы дизайна», в которой один из смысловых модулей посвящён изучению основ цветоведения.

Содержание смыслового модуля «Цветоведение»

Темы лекционного курса

Тема 1. Сведения из истории науки о цвете. Физические основы цвета. Национально-культурная интерпретация цвета. Современный символизм цвета.

Тема 2. Основные характеристики цвета. Спектральный круг. Основные и дополнительные цвета. Теплые и холодные цвета. Пространственные характеристики цвета.

Тема 3. Основные типы цветовых гармоний. Цветовой контраст.

Тема 4. Психофизиологическое воздействие цвета. Привлечение внимания при помощи цвета.

Тема 5. Цифровые цветовые модели. Использование цвета в Web-дизайне.

Перечисленные темы курса лекций обуславливают задачи преподавания дисциплины, решаемые в той же последовательности.

Практические занятия по дисциплине заключаются в выполнении определенных колористических заданий по композиции, ориентированных на закрепление полученных знаний и художественное осмысление закономерностей использования основных типов цветовых гармоний, оптических иллюзий и психологических ассоциаций, вызываемых разными цветами и их сочетаниями. Эти задания выполняются как аудиторно, так и внеаудиторно, в часы, предусмотренные рабочей программой по дисциплине для самостоятельной работы студентов.

Темы лабораторного курса

Лабораторная работа № 1. Построение гармоничных нюансных цветовых композиций.

Студенту необходимо придумать схему членения плоскости абстрактного характера. Подобрать для каждого из элементов плоскостного рисунка цвет таким образом, чтобы получить гармоничную, нюансную по цветовому тону композицию. Для решения задачи можно использовать монохромный ряд или сочетание родственных цветов (рис. 1).

Лабораторная работа № 2. Построение гармоничных контрастных цветовых композиций.

Студент, используя придуманную ранее схему членения плоскости, подбирает цвета для получения гармоничных контрастных композиций. Для решения задачи используются сочетания родственно-контрастных и дополнительных цветов, а также контрастные сочетания триад и тетрад цветов, входящих в спектральный круг. Для гармонизации полученных композиций используются разбелы и затемнения контрастных цветов (рис. 2).

Лабораторная работа № 3. Передача иллюзии пространства при помощи цвета.

Студенту необходимо придумать городской пейзаж (или стилизовать существующий) и подобрать цвета для элементов пейзажа с учетом зрительной иллюзии «выступающих» и «отступающих» цветов. В первом варианте студент передает иллюзию правильного расположения объектов, во втором варианте – неправильного.

Лабораторная работа № 4. Передача эмоционального состояния при помощи цвета.

Студент должен создать абстрактную композицию, ассоциативно передающую какую-либо из эмоций (радость, тревога, печаль, любовь и т.п.). Выбор цветовых сочетаний базируется на результатах исследований психофизиологического воздействия цвета и субъективных предпочтениях студента.

Лабораторная работа № 5. Подбор иллюстраций в соответствии с тематикой цветовой гаммы.

Студент, пользуясь справочниками по созданию цветowych комбинаций, выбирает 2 – 3 гаммы. Используя интернет-ресурсы, ему необходимо подобрать иллюстрации соответствующих цветов для каждой из четырех сфер: графический дизайн, промышленный дизайн, дизайн среды, фото живой природы (рис. 3).

В то время, когда студенты художественного профиля подготовки для выполнения практических работ используют навыки работы с художественными материалами (краски), студенты – будущие программисты медиасистем выполняют лабораторные работы при помощи графического редактора (Adobe Photoshop). Это, прежде всего, обусловлено отсутствием художественной подготовки при поступлении на специальность «Программирование медиасистем и компьютерный дизайн». Основной причиной перехода к использованию программных средств является необходимость изучения особенностей работы с цифровыми палитрами и цифровыми цветовыми моделями, а также работа с подбором и обработкой цифровых иллюстраций.

Таким образом, в процессе выполнения практических заданий студенты закрепляют умения и навыки работы в тех программных продуктах, которые впоследствии используются при проектировании компьютерных оболочек (интерфейсов, сайтов, обучающих систем и других оболочек). Тем самым осуществляется межпредметная связь с другими учебными дисциплинами в процессе подготовки программистов медиасистем.



Рисунок 1. – Пример выполнения лабораторной работы № 1



Рисунок 2. – Пример выполнения лабораторной работы № 2



Рисунок 3. – Примеры выполнения лабораторной работы № 5

Выводы

В условиях возрастающего спроса на специалистов в области проектирования медиасистем существует необходимость подготовки высококвалифицированных кадров. Навыки в области информационного дизайна являются одним из важнейших параметров в процессе конкуренции на рынке труда создателей медиа-продукции. Поэтому формирование знаний и умений в области основ дизайна и цветоведения становится все более актуальным.

Включение в учебный план специальности 6.080407 «Программирование медиасистем и компьютерный дизайн» по направлению подготовки «Компьютерные науки» дисциплин в области основ дизайна и смыслового модуля «Цветоведение» позволит сделать выпускников конкурентоспособными специалистами.

Изучение науки о цвете на младших курсах приносит позитивные результаты в процессе выполнения практических заданий на следующих курсах по таким предметам как: «Проектирование в графическом дизайне», «Web-технологии и Web-дизайн», «Полиграфические компьютерные системы», «Гипермедийные системы обучения и тестирования», «Проектирование человеко-машинных интерфейсов». Предложенный тематический план лекционного и лабораторного курсов адаптированы к специфике подготовки специалистов по направлению «Компьютерные науки».

Харитоновна В.В. “Особенности викладання дисципліни “Кольорознавство” майбутнім програмістам медіасистем”. Вивчено передумови включення дисципліни “Кольорознавство” у навчальний план спеціальності 6.080407 “Програмування медіасистем і комп’ютерний дизайн” за напрямом підготовки “Комп’ютерні науки”. Розглянуто завдання курсу “Кольорознавство” стосовно до майбутньої професійної діяльності програмістів медіасистем. Запропоновано тематичний план лекційного та лабораторного курсів з кольорознавства, в рамках вивчення предмета “Теоретичні основи дизайну”. Зроблено висновки щодо важливості вивчення кольорознавства для майбутніх програмістів медіасистем. Позитивні результати під час виконання практичних робіт з дисциплін, що забезпечують науково-дослідну роботу студента і дипломне проектування, досягаються шляхом застосування знань і умінь, отриманих в процесі вивчення науки про колір.

Ключові слова: колір, дизайн, гармонія, медіасистема.

Kharytonova V. “Features of teaching “Chromatic” for future programmers of Media Systems”. Studied preconditions of including discipline “Chromatics” in the syllabus of the specialty 6.080407 “Programming of media systems and computer design” in the direction of “Computer Science”. Also had been studied the tasks of the course “Chromatics” in relation to future professional activities programmers of media systems. Proposed thematic plan of lecture and laboratory courses in Chromatics, in the study of the subject “Theoretical Foundations of Design”. Lectures and laboratory works are adapted to the specific of specialist’s training in the field of “Computer Science”. The conclusions regarding the importance of studying the chromatics for future programmers of media systems. Inclusion in the curriculum of the specialty 6.080407 “Programming of media systems and computer design” in the direction of “Computer Science” courses in basic design and semantic module “Chromatics” will make graduates competitive specialists. During the execution of the diploma project, students achieve better results by applying knowledge and skills obtained during the study of the science of color.

Keywords: color, design, harmony, mediasystem.

Литература

1. Терри Ли Стоун. Дизайн цвета. Практикум. – М.: РИП-холдинг, 2006. – 240 с.
2. Кравков С.В. Цветовое зрение. М.: Академия наук СССР, 1951. – 175 с.
3. Вангельева В.В., Харитоновна В.В. Определение основных правил при выборе цветового решения в процессе разработки интерфейсов информационных систем. / Вангельева В.В., Харитоновна В.В. // Збірка матеріалів IV Всеукр. наук.-технічн. конф. студентів, аспірантів та молодих вчених “Інформаційні управляючі системи та комп’ютерний моніторинг”. – Донецьк: ДонНТУ, – 2013. – С. 289 – 295.
4. Гуськова В.Г., Харитоновна В.В. Анализ основных проблем web-сайтов./ Гуськова В.Г., Харитоновна В.В. // Ел. збірка матеріалів IV Всеукр. наук.-технічн. конф. студентів, аспірантів та молодих вчених “Інформаційні управляючі системи та комп’ютерний моніторинг”. – Донецьк: ДонНТУ, – 2013. – С. 246 – 250.
5. Медведев В.Ю. Цветоведение колористика: уч. пос. – С.-Пб.: ИПЦ СПГУТД, 2005. – 116 с.
6. Психология цвета: теория и практика. – Электр. ресурс. URL: http://www.syntone.ru/library/books/content/4312.html?current_book_page=all (20.11.2013).

Статья поступила в редакцию 29.01.2014
Рекомендована к публикации проф. Аноприенко А.Я.

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. В настоящее время занимает должность заведующего кафедрой факультета компьютерных наук и технологий Донецкого национального технического университета. Является автором более 100 публикаций, 14 монографий и учебных пособий. Последняя монография «Системодинамика» издана в 2014 году. Область научных интересов: системный анализ и общая теория систем, интеллектуальный анализ данных, экологический мониторинг, информационные системы в области охраны окружающей среды и глобалистики.



Андрюхин Александр Иванович, к.т.н., с.н.с. Закончил математический факультет Донецкого государственного университета, защитил кандидатскую диссертацию в области вычислительной техники в Харьковском национальном университете радиоэлектроники. С 1999 года и по настоящее время доцент кафедры прикладной математики и информатики Донецкого национального технического университета. Научные интересы: проектирование и диагностирование современных сверхбольших интегральных схем и нейроморфных устройств, проблемы программирования и искусственного интеллекта. Опубликовано более 60 научных работ. Является автором книги «Моделирование и диагностирование дискретных систем на переключательном уровне».



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 при Рижском политехническом институте по специальности «Динамика, прочность машин, приборов и аппаратуры», с 2003 года является доцентом кафедры компьютерных систем мониторинга Донецкого национального технического университета. Автор более 80 публикаций и 8 изобретений, последнее учебное пособие «Элементы линейной алгебры и аналитической геометрии» издано в 2013 году. Научные интересы: моделирование, нелинейные динамические системы, анализ временных рядов, фрактальное сжатие изображений, обучающие системы.



Достлев Юрий Сергеевич. Ведущий инженер, по совместительству старший преподаватель кафедры компьютерной инженерии факультета компьютерных наук и технологий Донецкого национального технического университета. Является автором более 30 публикаций. 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.



Звягинцева Анна Викторовна, к.т.н., доц. В 1999 году закончила факультет экологии и химической технологии по специальности «Экология и охрана окружающей среды», 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 факультета компьютерных наук и технологий ДонНТУ. Научные интересы: системный анализ процессов и объектов, теория опасности и риска, экологический мониторинг и безопасность техногенных систем. Опубликовано более 50 научных работ, в том числе 4 монографии и 1 учебное пособие. Научная работа в настоящее время связана с развитием методов комплексной оценки сложных систем.



Кузнецов Дмитрий Николаевич, к.т.н. В 2005 году защитил кандидатскую диссертацию на тему «Информационно-измерительная система градуировки термоанемометрических измерительных преобразователей расхода газа» и получил ученую степень кандидата технических наук. В настоящее время доцент кафедры электронной техники Донецкого национального технического университета. Основным направлением научной деятельности является разработка и исследование измерителей скорости, расхода и температуры газовых потоков, а также средств их градуировки и исследований. По данному направлению опубликовано более 40 статей в научных сборниках и издано 3 монографии.



Пометун Екатерина Дмитриевна. Магистр кафедры физики неравновесных процессов, метрологии и экологии им. И.Л. Повха в Донецком национальном университете. Тема магистерской работы «Исследование теплоотдачи термистора в режиме датчика термометра и термоанемометра в динамических условиях». Стипендиат программы «Научное достижение года». Основной областью научных интересов является метрология, исследование динамических характеристик измерительных преобразователей температуры, механика жидкости газа и плазмы. По данному направлению исследований опубликовано 11 статей.



Смирнов Александр Николаевич. В 2009 году закончил Славянский государственный педагогический университет, а в 2012 году – Институт последипломного образования Донецкого национального технического университета (ДонНТУ) по специальности «Программное обеспечение автоматизированных систем». С 2012 года работает в ДонНТУ на кафедре компьютерных систем мониторинга в должности инженера-программиста, по совместительству ассистент по дисциплинам математического цикла. Область научных исследований и интересов: программирование мобильных систем, математическое моделирование, нелинейные динамические системы, алгоритмизация, педагогические технологии.



Харитонов Антон Юрьевич. В 2004 году закончил Донецкий национальный технический университет (ДонНТУ), получил квалификацию «специалист-разработчик вычислительных систем». В настоящее время старший преподаватель кафедры компьютерных систем мониторинга факультета компьютерных наук и технологий ДонНТУ. Научные интересы: разработка программного обеспечения и баз данных, интеллектуальный анализ данных, 3D-моделирование, автоматизированные системы управления промышленными объектами на базе LabVIEW. Имеет 10 публикаций, соавтор 2-х патентов. Сертифицированный разработчик программ на LabVIEW. В 2008 году получил диплом победителя конкурса на лучшее программно-техническое решение с использованием LabVIEW.



Харитонova Виктория Владимировна. В 2000 году закончила Донецкое художественное училище, специализация графический дизайн, в 2005 году с отличием закончила Харьковский национальный педагогический университет, квалификация «дизайнер». В настоящее время старший преподаватель кафедры «Компьютерные системы мониторинга» Донецкого национального технического университета (ДонНТУ), по совместительству преподаватель Донецкого художественного училища в составе цикловой комиссии «Графического дизайна». Является членом Совета молодых ученых ДонНТУ. Область научных исследований и интересов: графический дизайн, инфографика, типографика, айдентика Web-дизайна, компьютерная графика, педагогические методы преподавания дизайна.

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. Нині займає посаду завідувача кафедри факультету комп'ютерних наук і технологій Донецького національного технічного університету. Є автором понад 100 публікацій, 14 монографій та навчальних посібників. Остання монографія «Системодинаміка» видана в 2014 році. Область наукових інтересів: системний аналіз і загальна теорія систем, інтелектуальний аналіз даних, екологічний моніторинг, інформаційні системи в галузі охорони навколишнього середовища та глобалістики.



Андрюхін Олександр Іванович, к.т.н., с.н.с. Закінчив математичний факультет Донецького державного університету, захистив кандидатську дисертацію в галузі обчислювальної техніки в Харківському національному університеті радіоелектроніки. С 1999 року і по теперішній час доцент кафедри прикладної математики та інформатики Донецького національного технічного університету. Наукові інтереси: проектування та діагностування сучасних надвеликих інтегральних схем та нейроморфних пристроїв, проблеми програмування та штучного інтелекту. Опубліковано більше 60 наукових робіт. Є автором книги «Моделювання та діагностування дискретних систем на перемикаючому рівні».



Беловодський 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 при Ризькому політехнічному інституті за спеціальністю «Динаміка, міцність машин, приладів та апаратури», з 2003 року є доцентом кафедри комп'ютерних систем моніторингу Донецького національного технічного університету. Автор більше 80 публікацій та 8 винаходів, останній навчальний посібник «Елементи лінійної алгебри та аналітичної геометрії» видано в 2013 році. Наукові інтереси: моделювання, нелінійні динамічні системи, аналіз часових рядів, фрактальне стиснення зображень, навчальні системи.



Достлев Юрій Сергійович. Провідний інженер, за сумісництвом старший викладач кафедри комп'ютерної інженерії факультету комп'ютерних наук і технологій Донецького національного технічного університету. Є автором більше 30 публікацій. 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 й систем автоматичного управління технологічними процесами в різних областях.



Звягінцева Ганна Вікторівна, к.т.н., доц. У 1999 році закінчила факультет екології та хімічної технології за спеціальністю «Екологія та охорона навколишнього середовища», 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 факультету комп'ютерних наук і технологій ДонНТУ. Наукові інтереси: системний аналіз процесів і об'єктів, теорія безпеки і ризику, екологічний моніторинг і безпека техногенних систем. Опубліковано більше 50 наукових робіт, в тому числі 4 монографії та 1 навчальний посібник. Наукова робота нині пов'язана з розвитком методів комплексної оцінки складних систем.



Кузнецов Дмитро Миколайович, к.т.н. У 2005 році захистив кандидатську дисертацію на тему “Інформаційно-вимірвальна система градування термоанемометричних вимірвальних перетворювачів витрати газу” та отримав вчений ступінь кандидата технічних наук. Нині доцент кафедри електронної техніки Донецького національного технічного університету. Основним напрямком наукової діяльності є розробка та дослідження вимірвачів швидкості, витрати і температури газових потоків, а також засобів їхнього градування та досліджень. За даним напрямком опубліковано більше 40 статей у наукових збірниках та видано 3 монографії.



Пометун Катерина Дмитрівна. Магістр кафедри фізики нерівноважних процесів, метрології та екології ім. И.Л. Повха в Донецькому національному університеті. Тема магістерської роботи «Дослідження тепловіддачі термістора в режимі датчика термометра та термоанемометра в динамічних умовах». Стипендіат програми «Наукове досягнення року». Основною областю наукових інтересів є метрологія, дослідження динамічних характеристик вимірвальних перетворювачів температури, механіка рідини газу та плазми. За даним напрямком досліджень опубліковано 11 статей.



Смирнов Олександр Миколайович. У 2009 році закінчив Слов'янський державний педагогічний університет, а в 2012 році – Інститут післядипломної освіти Донецького національного технічного університету (ДонНТУ) за фахом “Програмне забезпечення автоматизованих систем”. З 2012 року працює в ДонНТУ на кафедрі комп'ютерних систем моніторингу на посаді інженера-програміста, за сумісництвом асистент з дисциплін математичного циклу. Область наукових досліджень та інтересів: програмування мобільних систем, математичне моделювання, нелінійні динамічні системи, алгоритмізація, педагогічні технології.



Харитонов Антон Юрійович. У 2004 році закінчив Донецький національний технічний університет (ДонНТУ), отримав кваліфікацію “спеціаліст-розробник обчислювальних систем”. Нині старший викладач кафедри комп'ютерних систем моніторингу факультету комп'ютерних наук і технологій ДонНТУ. Наукові інтереси: розробка програмного забезпечення та баз даних, інтелектуальний аналіз даних, 3D-моделювання, автоматизовані системи управління промисловими об'єктами на базі LabVIEW. Має 10 публікацій, співавтор 2-х патентів. Сертифікований розробник програм на LabVIEW. У 2008 році отримав диплом переможця конкурсу на краще програмно-технічне рішення з використанням LabVIEW.



Харитонова Вікторія Володимирівна. У 2000 році закінчила Донецьке художнє училище, спеціалізація графічний дизайн, в 2005 році з відзнакою закінчила Харківський національний педагогічний університет, кваліфікація “дизайнер”. Нині старший викладач кафедри “Комп'ютерні системи моніторингу” Донецького національного технічного університету (ДонНТУ), за сумісництвом викладач Донецького художнього училища у складі циклової комісії “Графічного дизайну”. Є членом Ради молодих вчених ДонНТУ. Область наукових досліджень та інтересів: графічний дизайн, інфографіка, типографіка, айденітка Web-дизайне, комп'ютерна графіка, педагогічні методи викладання дизайну.

Сведения об авторах на английском языке



Gennady Averin, doctor of technical sciences. In 1980 he graduated from Admiral Makarov Nikolaev Shipbuilding Institute with qualification mechanical engineer. In 1994 he defended his doctoral thesis, from since 2005 he has degree of professor in is professor of the Department of Computer Monitoring Systems. He and currently holds the post of he is the head of this department at the Faculty of Computer Science and Technology in Donetsk, National Technical University (DonNTU). He is the author of over 100 publications, 14 monographs and textbooks. Last monograph "Systemodinamics" was published in 2014. Research interests: system analysis and general systems theory, data mining, environmental monitoring and information systems in the field of environmental protection and global studies.



Andryukhin Alexander, candidate of technical sciences, Senior Research Fellow. Graduated from Faculty of Mathematics, Donetsk State University, Ph.D. in Computer Science at the Kharkov National University of Radio Electronics. From 1999 and currently to the present day he is Associate Professor of Applied Mathematics and Informatics of Donetsk National Technical University (Donetsk). Research interests include designing and diagnosing modern VLSI and neuromorphic devices, programming problems, artificial intelligence. Published more than 60 scientific papers. He is the author of the book "Modeling and diagnosis of discrete systems on the switching level".



Belovodskiy Valeriy, candidate of technical sciences. In 1971 he graduated from the Faculty of Physics, Mathematics and Natural Sciences of the Lumumba Peoples 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" (Riga), since 2003 is an Assistant Professor of Computer Monitoring Systems of the Donetsk National Technical University (Donetsk). Research interests: modeling, nonlinear dynamical systems, time series, fractal image compression, training systems.



Dostlev Yuri. Lead Engineer, part-time Senior Lecturer, Department of Computer Engineering Department Faculty of Computer Science and Technology, Donetsk National Technical University (DonNTU). He is the author of more than 30 publications. Research interests: real-time systems, the study of dynamic characteristics parameters of real objects and the creation of computer-aided control systems and process control. Features of scientific activity: design and research of software and hardware of real-time systems and automatic process control in different areas.



Zviagintseva Anna Viktorovna, candidate of technical sciences. In 1999 she graduated from the faculty of ecology and chemical technology on specialty "Ecology and environmental protection", in 2007 she received a master's degree in software for automated systems in the Donetsk National Technical University (DonNTU). In 2006 she defended thesis on "Environmental security". Since From 2007 and currently to the present she is an Associate Professor of Computer Monitoring Systems at the department Faculty of Computer Science and Technology in DonNTU. Research interests: environmental system analysis and social processes, strategic and environmental assessment, theory of hazard and risk, environmental monitoring and security of man-made systems. Published more than 50 scientific works, including 4 monographs, 1 textbook co-authored. Currently research work is currently linked to connected with the development of methods for integrated assessment of complex systems.



Dmitri Kuznetsov, candidate of technical sciences. In 2005 he defended his thesis “Information-measuring system calibration hot-wire transmitters gas flow”. Currently he is an Associate Professor at the Department of Electronic Engineering in Donetsk National Technical University (DonNTU). His key research areas are the development and study of velocity meters, temperature and gas flow rate, and their means of calibration and research. On this subject he published more than 40 papers in scientific journals and 3 monographs



Katerina Pometun, a master student on at the Department of Physics of Nonequilibrium Processes, Metrology and Ecology named after I.Povh, Donetsk National University. Her master's thesis is “Investigation of heat thermistor sensor mode and thermometer thermometers in dynamic conditions” ”Investigation of heat transfer thermistor in mode of sensor thermometer and hot-wire anemometer under dynamic conditions”. The main areas of her research is are the Metrology, the investigation investigation of the dynamic characteristics of temperature transmitters, mechanical liquid gas and plasma. Fellows of Program “Scientific Achievement of the Year”. On these subjects topics she has published 11 papers.



Smirnov Alexander. In 2009 he graduated from the Slavyansk State Pedagogical University. In 2012 he graduated from the Institute of Postgraduate Education, Donetsk National Technical University (DonNTU) on a specialty “Automated Systems Software”. Since 2012 he has been working in DonNTU at the department of Computer Monitoring Systems at the position of as an Software Engineer and part-time Assistant in the disciplines of mathematical cycle. Field of research and interests: programming mobile systems, mathematical modeling, nonlinear dynamical systems, algorithmization, educational technology.



Anton Kharytonov. In 2004 he graduated from Donetsk National Technical University (DonNTU), qualified as a “Specialist Developer of Computer Systems”. Currently he works as Senior Lecturer in at the Computer systems Monitoring Systems Department at of the Faculty of Computer Science and Technology (DonNTU). Research interests include the development of software and databases, data mining, 3D-modeling, automated control systems industrial facilities based on LabVIEW. He has 10 publications, co-author of 2 patents. Certified software developer on in LabVIEW. In 2008 he received the diploma of the winner of won the contest for the best software and hardware solution using LabVIEW.



Victoria Kharytonova. In 2000 she graduated with honors from Donetsk Art School, Graphic Design Specialization, in 2005 she graduated with honors from Kharkiv National Pedagogical University, the qualification of “Designer”. Currently she works as a Senior Lecturer in at the Computer systems Monitoring Systems Department in Donetsk National Technical University, part-time in Donetsk Art School as a Teacher in the cyclic commission “Graphic Design”. She is a member of the Council of Young Scientists of DonNTU. Field of research and interests: graphic design, infographics, typography, identity&logo in Web-design, computer graphics, pedagogical methods of design teaching.

Библиографические списки, транслитерированные на латиницу

Аверин Г.В.

Реляционно-полевая модель представления времени:

1. Institut issledovaniy prirody vremeni [Institute of research on the nature of time]. Biblioteka ehlektronnykh publikacij. – Elektr. resurs. URL: www.chronos.msu.ru/relectropublications.html (12.12.13).
2. Averin G.V. Sistemodinamika [Systemdynamics]. – Doneck: Donbass, 2014. – 405 p. – Elektr. resurs. URL: <http://www.chronos.msu.ru/rrules/item/sistemodinamika-2> (12.02.14).
3. Averin G.V. Sistemodinamika: nauka o zakonomernostyakh processov izmeneniya i razvitiya sistem vo vremeni [Systemdynamics: the science of the laws of the processes of change and development systems in time]. – Palmarium Academic Publishing, 2014. – 488 p.
4. Guhman A.A. Ob osnovaniyah termodinamiki [On the grounds of thermodynamics]. – M.: Ehnergoatomizdat, 1986. – 383 p.
5. Prigozhin I., Kondepudi D. Sovremennaya termodinamika [Modern thermodynamics]. / Per. s angl. – M.: Mir, 2002. – 461 p.
6. Falk G. Die Rolle der Axiomatik in der Physik, erlaeutert am Beispiel der Termodynamik // Die naturwissenschaften, 46, 1959, no. 16. – pp. 480 – 486.
7. Fihhtengol'c G.M. Kurs differencial'nogo i integral'nogo ischisleniya [A course of differential and integral calculus]. / Izd. 7-e. – M.: Nauka, tom 1, 1969.
8. Ehl'sgol'c L.E. Differencial'nye uravneniya i variacionnoe ischislenie [Differential equations and the calculus of variations]. – M.: Nauka, 1969. – 424 p.
9. Baza dannyh vremennykh ryadov [The time series database]. – Elektr. resurs. URL: <https://www.quandl.com> (12.12.13).

Аверин Г.В., Звягинцева А.В.

Взаимосвязь термодинамической и информационной энтропии при описании состояний идеального газа:

1. Koganov A.V. Referativnyy obzor semestra “Vremya i entropiya” seminar “Izuchenie fenomena vremeni” [Patent term review “Time and Entropy” seminar “Studying the phenomenon of time”] – Elektr. resurs. URL: www.chronos.msu.ru/seminar/rindex.html (10.01.14).
2. Morowitz H. J. The Second Law of Thermodynamics. – Elektr. resurs. URL: www.panspermia.com/seconlaw.htm (26.10.13).
3. Shambadal P. Razvitie i prilozhenie ponyatiya entropii [Development and application of the entropy concept] – M.: Nauka, 1967. – 280 p.
4. Putilov K.A. Termodinamika [Thermodynamics] – M.: Nauka, 1971. – 375 p.
5. Hazen A.M. Razum prirody i razum cheloveka [The Nature Mind and the Human Mind] – M.: Mooblpoligrafizdat, 2000. – 577 p.
6. Wehrle P. L'Univers aleatoire. – Paris: Dunod, 1956.
7. Averin G.V. Sistemodinamika [Systemdynamics] – Donetsk: Donbass, 2014. – 405 p. – Elektr. resurs. URL: <http://www.chronos.msu.ru/rrules/item/sistemodinamika-2> (12.12.14).
8. Guhman A.A. Ob osnovaniyah termodinamiki [On the grounds of thermodynamics] – M.: Energoatomizdat, 1986. – 383 p.
9. Bekman. I.N. Informatika. Kurs lektsiy [Computer Science. The course of lectures] / MGU im. M.V. Lomonosova. 2009. – Elektr. resurs. URL: <http://profbeckman.narod.ru/InformLekc.htm> (10.11.13).
10. Venttsel E.S. Teoriya veroyatnosti [The Probability Theory] – M.: Nauka, 1969. – 576 p.
11. Rivkin S.L. Termodinamicheskie svoystva gazov: Spravochnik [Thermodynamic properties of gases: the Handbook] – 4-e izd., pererab. – M.: Energoatomizdat, 1987. – 288 p.

Андрюхин А.И.

Компьютерный анализ свойств решений ряда задач

1. Petrov Y.P. Novye glavy teorii upravleniya i komp'yuternykh vychislenij [New chapters include control theory and computing]. – S.-Pb.: BHV-Peterburg, 2004.
2. Petrov Y.P., Petrov L.Y. Neozhidannoe v matematike i ego svyaz' s avariyami i katastrofami [Unexpected in mathematics and its relation to accidents and disasters]. – S.-Pb.: BHV-Peterburg, 2005.
3. Tihonov A.N., Arsenin V.Y. Metody resheniya nekorrektnykh zadach [Methods of solution of ill-posed problems]. – M.: Nauka, 1979. – 276 p.
4. Sharyj S.P. Konechnomernyy interval'nyy analiz, 2013 [Finite-dimensional interval analysis]. – 613 p. – Elektr. resurs. URL: <http://www.nsc.ru/interval> (20.11.2013).
5. Gelbaum B., Olmsted Dzh. Kontrprimery v analize [Counterexamples in analysis]. – M.: Mir. – 1967.

Звягинцева А.В., Аверин Г.В.

Стратегическая оценка статуса Украины в современном мире по данным международных организаций. Часть 2: Примеры анализа и результаты:

1. Doklad o chelovecheskom razvitii 2013. "Vozvyshenie Yuga: chelovecheskiy progress v mnogoobraznom mire" [The human development report 2013. "Rise of the South: human progress in a diverse world"]. / Per. s angl.; PROON. – M.: Ves' Mir, 2013. – 216 p. – Elektr. resurs. URL: http://hdr.undp.org/sites/default/files/hdr_2013_ru.pdf (20.12.2013).
2. Averin G.V., Zvyaginetsva A.V. Strategicheskaya ocenka statusa Ukrainy v sovremennom mire po dannym mezhdunarodnyh organizacij. CHast' 1: Teoriya i metodika ocenki [Strategic assessment of the status of Ukraine in the modern world, according to international organizations. Part 1: Theory and methodology of evaluation]. // Trudy DonNTU: Sistemnyj analiz i informacionnye tekhnologii v naukah o prirode i obshchestve. 2012. – no. 1 (2) – 2(3). pp. 75 – 92.
3. Averin G.V. Sistemodinamika [Systemdynamics]. – Doneck: Donbass, 2014. – 405 p. – Elektr. resurs. URL: <http://www.chronos.msu.ru/ru/rnews/item/sistemodinamika> (04.02.14).
4. Doklady o chelovecheskom razvitii [The human development reports] (1990 – 2012) – Elektr. resurs. URL: <http://hdr.undp.org/en/reports/> (25.09.2013).
5. Doklad o chelovecheskom razvitii 2010. "Real'noe bogatstvo narodov: puti k razvitiyu cheloveka" [The human development report 2010. "The real wealth of Nations: pathways to human development"] / Per. s angl.; PROON. – M.: Ves' Mir, 2010. – 228 p. – Elektr. resurs. URL: <http://hdr.undp.org/sites/default/files/hdr10-summary-ru.pdf> (15.02.13).
6. Doklad o chelovecheskom razvitii 2014. "Obespechenie ustoychivogo progressa chelovechestva: umenshenie uyazvimosti i formirovanie zhiznestoykosti" [Sustaining Human Progress: Reducing Vulnerabilities and Building Resilience] / Per. s angl.; PROON. – M.: Ves' Mir, 2014. – 280 p. – Elektr. res. URL: <http://hdr.undp.org/sites/default/files/hdr14-summary-ru.pdf>.

Смирнов А.Н., Беловодский В.Н.

Один подход к интервальному решению систем линейных уравнений низкой размерности

1. Rinney Kan A.H.G., Timmer G.T. Stochastic Global Optimization Methods // Mathematical Programming, 39, 27 – 78, 1987.
2. Byikov A.A., Tsyibenova S.B. Realizatsiya metoda prodolzheniya po parametru dlya sistemyi dvuh uravneniy [Implementation of the continuation method for a system of two equations] // Vyichislitelnyie tekhnologii. 2002. T. 7. no. 5. – pp. 21 – 28.
3. Rohimian S.K., Jalali F., Seader J.D., White R.E. A New Homotopy for Seeking All Roots of a Nonlinear equation // Computers and Chemical Engineering, 35 (2011). – pp. 403 – 411.
4. Sharyiy S.P. Konechnomernyy intervalnyiy analiz [Finite-interval analysis] // Institut vyichislitelnyih tekhnologiy SO RAN. Novosibirsk: XYZ. 2012. – 604 p.
5. Dobronets B.S. Intervalnaya matematika: Uch. pos. [Interval Mathematics: Textbook] // Krasnoyarsk, Krasnoyarsk. gos. un-t, 2004. – 216 p.
6. Alefeld G., Hertsberger Yu. Vvedenie v intervalnyie vyichisleniya [Introduction to interval arithmetic] – M.: Mir, 1987. – 361 p.
7. Faddeev D.K., Faddeeva V.N. Vyichislitelnyie metodyi lineynoy algebrui [Computational methods of linear algebra] – S.-Pb.: Lan, 2002. – 736 p.

Звягинцева А.В.

Комплексная оценка природно-антропогенных систем: предложения по развитию методологии:

1. Environmental Health Indicators: Framework and Methodologies / Prepared by D. Briggs, Occupational and Environmental Health. – WHO, 1999.
2. Brink B.J.E. ten (2000). Biodiversity indicators for the OECD Environmental Outlook and Strategy: a feasibility study. RIVM (Bilthoven, The Netherlands). RIVM report 402001014.
3. Indicators of Sustainable Development: Guidelines and Methodologies. – United Nations, New York, 2001.
4. World Development Indicators (issued annually). World Bank. – Elektr. resurs. URL: www.worldbank.org/ (10.03.10).
5. UNEP/CBD (1997). Recommendation for a core set of indicators of biological diversity. (Convention of Biological Diversity, Montreal). UNEP/CBD/SBSTTA/3/9 and inf. 13, inf. 14.
6. Rukovodstvo po razrabotke i ispolzovaniyu natsionalnyih indikatorov bioraznoobraziya [Guide to the development and use of national biodiversity indicators] / UNEP: Vsemirnyiy Tsentri Monitoringa Sohraneniya, Kembridzh, Velikobritaniya, 2011. – 40 p.

7. Rukovodystashie ukazaniya po primeneniyu ekologicheskikh pokazateley v stranah vostochnoy Evropyi, Kavkaza i Tsentralnoy Azii [Guidance on the application of environmental indicators in Eastern Europe, Caucasus and Central Asia] – Zheneva. 2006. – 105 p.
8. European Green City Index. Assessing the environmental impact of Europe's major cities. A research project conducted by the Economist Intelligence Unit, sponsored by Siemens. Munich, Germany: Siemens AG, 2009. – 100 p. – Elektr. resurs. URL: www.siemens.com/greencityindex (29.10.2012).
9. Dale, V.H. & Beyeler, S.C. Challenges in the development and use of ecological indicators. *Ecological Indicators*, 1, 2001. – pp. 3 – 10.
10. Spravochnoe posobie po ekologicheskoy otsenke [Handbook on environmental assessment] Tom 1 – 3. – World Bank, Washington, 1991.
11. Zgurovskiy M.Z. Globalnoe modelirovanie protsessov ustoychivogo razvitiya v kontekste kachestva i bezopasnosti zhizni lyudey (2005 – 2007/2008 godyi) [Global modeling of sustainable development in the context of quality and safety of human life (2005 – 2007/2008 years)] – K.: Politehnika, 2008. – 331 p.
12. Globalnaya ekologicheskaya perspektiva: GEO4 okruzhayushchaya sreda dlya razvitiya [Global environment Outlook: GEO environment for development] // Programma Organizatsii Ob'edinennykh Natsiy po okruzhayushchey srede, 2007. – 572 p.
13. Globalnaya perspektiva v oblasti bioraznoobraziya. Promezhutochnaya otsenka progressa v osuschestvlenii strategicheskogo plana v oblasti sohraneniya i ustoychivogo ispolzovaniya bioraznoobraziya na 2011 – 2020 godyi [A global perspective in the field of biodiversity. An interim assessment of progress in implementation of a plan in the field of conservation and sustainable use of biodiversity for 2011-2020] // Sekretariat Konventsii o biologicheskom raznoobrazii Monreal, 2014 – 155 p. – Elektr. resurs. URL: www.cbd.int/GBO4 (25.10.2013).
14. Otsenka ekosistem na poroge tyisyacheletiya. Ekosistemy i blagosostoyanie cheloveka: bioraznoobrazie [Ecosystem assessment the Millennium. Ecosystems and human well-being: biodiversity] // Institut mirovyykh resursov, Vashington, okrug Kolumbiya, 2005. – 86 p.
15. Rozenberg G.S., Shitikov V.K. O sootnoshenii matematiki i biologii v ekologii [About the relationship of mathematics and biology to ecology] // *Kolichestvennyye metody ekologii i gidrobiologii / Otv. red. chl.-korr. RAN G.S. Rozenberg.* – Tolyatti: SamNTs RAN, 2005. – pp. 228 – 233.
16. Toxicology and Risk Assessment. Principles, Methods, and Applications. Anna M. Fan, Louis W. Chang. 1996.
17. Risk Assessment Methods. Approaches for Assessing Health and Environmental Risks. Vincent T. Covvello, Miley W. Merkhofer. Plenum Press, 1993.
18. Guidelines for Ecological Risk Assessment // U.S. Environmental Protection Agency. – Washington, DC, 1998. – 114 p. – Elektr. resurs. URL: <http://cfpub.epa.gov/ncea/cfm/recordisplay.cfm?deid=12460> (21.10.2013).
19. Safonov V.S., Odishariya G.E., Shvyryayev A.A. Teoriya i praktika analiza riska v gazovoy promyshlennosti [Theory and practice of risk analysis in the gas industry] – M.: NUMTs Minprirody Rossii, 1996 – 207 p.
20. Kiselev A.V., Fridman K.B. Otsenka riska zdorovyu. Podhody k ispolzovaniyu v mediko-ekologicheskikh issledovaniyakh i praktika upravleniya kachestvom okruzhayushchey sredy [Assessment of health risks. Approaches to the use in environmental health research and practice of quality management environment] – S.-Pb.: Deyta, 1997 – 100 p.
21. Kutsenko S.A. Osnovy toksikologii [Fundamentals of toxicology] – S.-Pb., 2002 – 395 p.
22. Cockerham L.G., Shane B.S. (Ed.). Basic Environmental Toxicology. – Boca Raton, FL: CRC Press, 1994 – 627 p.
23. Cairns, J.Jr., McCormick, P.V., 1992. Developing an ecosystem-based capability for ecological risk assessments. *Eviron. Profession* 14. – pp. 186 – 196.
24. Shitikov V.K., Rozenberg G.S. Otsenka bioraznoobraziya: popyitka formalnogo obobscheniya [Biodiversity assessment: formal attempt of generalization] // *Kolichestvennyye metody ekologii i gidrobiologii / Otv. red. chl.-korr. RAN G.S. Rozenberg.* – Tolyatti: SamNTs RAN, 2005. – pp. 91 – 129.
25. Doklady o chelovecheskom razvitiy (1990 – 2013 gg.) [The human development reports (1990 – 2013)] – Elektr. resurs. URL: <http://hdr.undp.org/en/reports/> (25.11.2014).
26. Doklad “Zhivaya planeta” [Living Planet Report] / Vsemirnyy fond dikoy prirody. Per. s angl. 2006, 2008, 2010, 2012. – Elektr. resurs. URL: <http://www.wwf.ru/resources/publ/book/436>, <http://www.wwf.ru/resources/publ/book/584> (10.11.12).
27. Planeta-sad. Globalnyy ekologicheskyy otchet 2012 goda. Pristalnyi vzglyad na zelenyie nasazhdeniya v gorodakh mira Husqvarna group [Planet garden. Global environmental report 2012. A closer look at green spaces in cities around the world]. – 60 p. – Elektr. resurs. URL: www.husqvarnagroup.com (20.09.2013).
28. Doklad o mirovom razvitiy [The World Development Report] Per. s angl. publikatsii Vsemirnogo banka: 2000 – 2012. M.: Ves' mir. – Elektr. resurs. URL: <http://www.vesmirbooks.ru/books/reports/wdr/>, www.worldbank.org (15.09.2013).
29. Zashchita okruzhayushchey sredy Evropyi – Chetvertaya otsenka. [Protection of the Europe's Environment – the Fourth Assessment] Evropeyskoe agentstvo po okruzhayushchey srede, Kopengagen. Daniya: Schultz Grafisk, 2007. – 452 p. – Elektr. resurs. URL: eea.europa.eu (13.05.13).

30. Ukraina v mire. Obzor mezhdunarodnykh indeksov [Ukraine in the world. Review of international indices] Fond "Effektivnoe upravleniie". – 64 p. – Elektr. resurs. URL: www.feg.org.ua, www.competitiveukraine.org (20.10.2013).
31. Otchet o konkurentosposobnosti regionov Ukrainyi 2013 Navstrechu ekonomicheskomu rostu i protsvetaniyu. [Report on competitiveness of Ukraine's regions 2013 Towards the economic growth and prosperity] Fond "Effektivnoe upravlenie", Ukraina. 2013. – 236 p. – Elektr. resurs. URL: [competitiveukraine.org, http://www.feg.org.ua/uploadfiles/ckfinder/files/reports/2013/FEG_report_2013_body_rus.pdf](http://www.feg.org.ua/uploadfiles/ckfinder/files/reports/2013/FEG_report_2013_body_rus.pdf) (21.11.13).
32. Metodika vimiryuvannya lyudskogo rozvitku regioniv Ukraini [Methods of measuring human development of the Ukraine regions] K.: Derzhavniy komitet statistiki UkraYini, Natsionalna akademiya nauk Ukraini, Rada po vivchennyu produktivnih sil Ukraini, 2001. – 34 p.
33. Ukraine human developmen report. United nations developmen programme Kyiv, Ukraine. United Nations Development Programme. 2001, 2003, 2008. – URL: <http://www.un.kiev.ua>, www.un.kiev.ua/ua/NHDR/index.php (12.03.2013).
34. Koldobskaya N.A. Metodicheskie podhodyi k otsenke antropogennoho vozdeystviya na urbanizirovannyye territorii na primere Moskovskoy oblasti [Methodological approaches to the assessment of human impact on urban areas on the Moscow region example] // Ekologiya i promyshlennost Rossii – 2013, noyabr. – pp. 28 – 33.
35. Sravnenie stran. Opisanie indeksov. Reyting regionov. Proekt fonda "Effektivnoe upravlenie" [Country comparisons. Indices description. Regions rating. Project Fund "Effective management"] – Elektr. resurs. URL: http://www.feg.org.ua/cms/opisanie_indeksov.html (25.10.2013).
36. Forrester D. Mirovaya dinamika [World Dynamics]. – M.: AST, 2003.
37. Uitteker R. Soobschestva i ekosistemyi [Communities and ecosystems] – M.: Progress, 1980. – 328 p.
38. Goodman, Michael. Study Notes in System Dynamics. Pegasus, 1989.
39. Averin G.V. Sistemodinamika: nauka o zakonomernostyah processov izmeneniya i razvitiya sistem vo vremeni [Systemdynamics: the science of the laws of the processes of change and development systems in time]. – Palmarium Academic Publishing, 2014. – 488 p.
40. Bertalanfi L. Obschaya teoriya sistem: kriticheskiy obzor [General systems theory: a critical review] // Issledovaniya po obschey teorii sistem. – M., 1969. – pp. 23 – 82.
41. Smolyaninov V.M., Rusinov P.S., Pankov D.N. Kompleksnaya otsenka antropogennoho vozdeystviya na prirodnyuyu sredu pri obosnovanii prirodnoohrannyih meropriyatiy [Comprehensive assessment of human impact on the natural environment in the justification of environmental measures] // Voronezh: VGU, 1996. – 126 c.
42. Artyuhov V.V. Obschaya teoriya sistem: samoorganizatsiya, ustoychivost, raznoobrazie, krizisyi [General systems theory: a critical review] // M.: Knizhnyiy dom "Librokom", 2009.
43. Musihina E.A. Metodologicheskiy aspekt tehnologii kompleksnoy otsenki ekologicheskoy emkosti territoriy [Methodological aspect of the technology integrated assessment of ecological capacity of territories] // Izdatelstvo "Akademiya Estestvoznaniya", 2009. – Elektr. resurs. URL: <http://www.monographies.ru/31> (05.11.2013).
44. Artyuhov V.V., Martynov A.S. Sistemnaya metodologiya otsenki ustoychivosti prirodno-antropogennyih kompleksov: teoriya, algoritmyi, kolichestvennyie otsenki [System methodology of assessing the sustainability of the natural and man-made systems: theory, algorithms, quantitative evaluation] // 2013. – 142 p. – Elektr. resurs. URL: <http://www.sci.aha.ru/ots/Metodology.pdf>, www.sci.aha.ru (07.11.2013).
45. Bocharov V.L. Monitoring prirodno-tehnicheskikh ekosistem [Monitoring of natural-technical ecosystems] / V.L. Bocharov, Y.M. Zinyukov, L.A. Smolyanitskiy. Voronezh: Istoki, 2000. – 226 p.
46. Smolyaninov V.M., Rusinov P.S., Pankov D.N. Kompleksnaya otsenka antropogennoho vozdeystviya na prirodnyuyu sredu pri obosnovanii prirodnoohrannyih meropriyatiy [Comprehensive assessment of human impact on the natural environment in the justification of environmental measures]. Voronezh: Voronezhskiy gosagrouniversitet, 1996.
47. Kuznetsov V.I. Vozmozhnost provedeniya prikladnoy kompleksnoy otsenki ekologicheskogo sostoyaniya territorii goroda [The city ecological state integrated assessment application possibility] // Kompleksnaya ekologicheskaya otsenka. S.-Pb., 1994.
48. Guhman A.A. Ob osnovaniyah termodinamiki [On the basis of thermodynamics]. M.: Energoatomizdat, 1986. – 383 p.
49. Baza dannyih programmyi razvitiya OON [United Nations Development Programme Database]. – Elektr. resurs. URL: <http://hdr.undp.org/en/data> (02.08.2013).
50. Baza dannyih indikatorov razvitiya stran mira Vsemirnogo banka [World Bank Countries Development Indicators Database]. – Elektr. resurs. URL: <http://data.worldbank.org> (02.08.2013).
51. Torgovlya. Ekonomika. Mezhdunarodnyiy internet-resurs o razvitii stran mira [Trading. Economics. International Internet resource about the world development]. – Elektr. resurs. URL: <http://www.tradingeconomics.com> (02.08.13).
52. Globalnaya baza dannyih po bioraznoobraziyu – GBIF [The Global Biodiversity Database]. – Elektr. resurs. URL: <http://data.gbif.org/welcome.htm/> (25.07.13).

53. AnAge: The Animal Ageing and Longevity Database. – Elektr. resurs. URL: <http://genomics.senescence.info/species/> (25.07.13).
54. Bazyi dannykh proekta “Bioraznoobrazie Rossii” [Database project “Russia Biodiversity”]. – Elektr. resurs. URL: http://www.zin.ru/BioDiv/bd_dbas.htm (25.07.13).
55. Averin G.V., Zviagintseva A.V. Strategicheskaya otsenka statusa Ukrainyi v sovremennom mire po dannyim mezhdunarodnykh organizatsiy. Chast 1: teoriya i metodika otsenki [Ukraine status strategic assessment in the modern world according to international organizations. Part 1: assessment theory and methods] // Trudy DonNTU: Sistemnyy analiz i informatsionnyye tehnologii v naukah o prirode i obschestve. – 2012. – no 1 (2) – 2(3). – pp. 75 – 92.
56. Averin G.V., Zviagintseva A.V. Strategicheskaya otsenka statusa Ukrainyi v sovremennom mire po dannyim mezhdunarodnykh organizatsiy. Chast 2: raschety, analiz dannykh i rezultaty [Ukraine status strategic assessment in the modern world according to international organizations. Part 2: calculations, data analysis and results] // Trudy DonNTU: Sistemnyy analiz i informatsionnyye tehnologii v naukah o prirode i obschestve. – 2013. – no 1 (4) – 2(5).
57. Averin G.V., Zviagintseva A.V. Primenenie metodov intellektualnogo analiza dannykh pri otsenke razvitiya Ukrainyi [The application of data mining techniques in the Ukraine development evaluation]. Mizhvidomchiy zbirnik naukovih prats. Geotekhnichna mehanika. Vyipusk 112. Dnipropetrovsk, 2013. – pp. 242 – 255.
58. Zviagintseva A.V. Metody kompleksnogo analiza informatsii v otsenke urovnya razvitiya regionov Ukrainyi [Methods of complex analysis in the Ukraine regions development level assessment] // Materiali V nauk.-praktichn. konferentsii “DONBAS-2020: Perspektivi rozvitku ochima molodih vchenih”, Donetsk: DonNTU, 2010. – pp. 573 – 577.
59. Zviagintseva A.V. Biological diversity: the problem of modeling the distribution of species on the Earth / Materialy IX mezinarodni vedecko – prakticka konference “Moderni vymozenosti vedy – 2013” – Dil 59. Biologicke vedy: Praha. Publishing House “Education and Science” s.r.o. St. 12 – 20.
60. Zviagintseva A.V., Averin G.V. Kolichestvennaya otsenka riskov v ekologicheskoy bezopasnosti. Chast 2. Prakticheskoe primeneniye metodiki otsenki riska pri zagryaznenii atmosfery [Environmental safety quantitative risk assessment. Part 2: Practical application of risk assessment methodology under air pollution] // Visnik Donetskogo universitetu. Seriya A. Prirodnichi nauki. – no 1/2007. – pp. 353 – 363.
61. Averin G.V., Zviagintseva A.V. Zakonomernosti formirovaniya opasnykh protsessov v slozhnykh sistemakh [Hazardous processes formation legitimacies in complex systems] // Naukovi pratsi Donetskogo natsionalnogo tekhnichnogo universitetu. Seriya: Informatika, kibernetika ta obchislyvalna tekhnika, vipusk 9 (132). – Donetsk: DonNTU. – 2008 – pp. 221 – 232.
62. Zviagintseva A.V. Otsenka opasnosti zagryazneniya atmosfernogo vozduha promyshlennyykh gorodov Ukrainyi [Hazard assessment of air pollution in Ukraine industrial cities] // Geotekhnichna mehanika. Vipusk 109. Dnipropetrovsk, 2013. – pp. 233 – 243.

Андрюхин А.И.

Оценка рефлексивных связей в вероятностной логике

1. Teyyar de Sharden P. Fenomen cheloveka [The human phenomenon]. M., 2001.
2. D. Hofstader. Gedel, Esher, Bah. Eta beskonechnaya girlyanda [This endless garland]. Samara, 2001. – 752 p.
3. Nalimov V.V. Veroyatnostnaya model yazyika [The probabilistic model of language]. M.: Nauka, 1979. – 303 p.
4. Neyman D. Veroyatnostnaya logika i sintez nadezhnykh organizmov iz nenadezhnykh component [Probabilistic logic and synthesis of reliable organisms from unreliable components] // Shennon K.E., Makkarti D. – Avtomaty Sbornik statey. – Per. s angl. – M.: Izdatelstvo inostrannoy literatury, 1956. – 403 p.
5. Andryuhin A.I., Kuznetsov A.V. Kompyuternoe issledovanie fizicheskikh aspektov refleksivnosti myshleniya cheloveka [Computer research of the physical aspects of reflective thinking person] // Nauchnyye trudy DGTU. Seriya: “Problemy modelirovaniya i avtomatizatsii proektirovaniya dinamicheskikh system”. – Vyip. 29. 2002. – pp. 218 – 226.
6. Lefebvre, V.A. A Psychological Theory of Bipolarity and Reflexivity. Lewiston, N.Y.: The Edwin Mellen Press. 1992.
7. Andryuhin A.I., Artemenko V.A. Refleksivnaya kompyuternaya model i logicheskaya identifikatsiya sostoyaniya kolektiva agentov [Reflective computer model and logical identification of the state of the collective agents] // Naukovi pratsi DonNTU. Seriya «Informatika, kibernetika ta obchislyvalna tekhnika». – Vip. 15 (203). – pp. 101 – 106.
8. Lepskiy V.E., Zorina G.I. Refleksivnoye predpriyatie XXI veka [Reflexive company of the XXI century] // Refleksivnyye protsessy i upravlenie, № 2, 2005, Volume 5. – pp. 21 – 40.
9. Wenpin Jiao. Multi-agent cooperation via reasoning about the behavior of others // Computational Intelligence, Vol. 26, Num. 1, 2010. – pp. 57 – 83.

10. J.M. Vidal. Fundamentals of Multiagent Systems with NetLogo Examples // March 1, 2010.
11. Vityaev E.E., Perlovskiy L.I, Kovalerchuk B.Ya., Speranskiy S.O. Veroyatnostnaya dinamicheskaya logika myishleniya [Probabilistic dynamic logic thinking] // Neyroinformatika, 2011, Volume 5, no 1.
12. Pinar Korkmaz, “Probabilistic CMOS (PCMO) in the Nanoelectronics Regime”, PhD Thesis, Georgia Institute of Technology, December 2007.
13. A. Darwiche. Modeling and Reasoning with Bayesian Networks. – New York, Cambridge University Press, 2009.
14. Pearl D. Probabilistic Reasoning in Intelligent Systems: Networks of Plausible Inference. – Morgan-Kaufmann, 1988.
15. Mill D.S. Sistema logiki sillogisticheskoy i induktivnoy: Izlozhenie printsipov dokazatelstva v svyazi s metodami nauchnogo issledovaniya [System of syllogistic logic and inductive: Statement of principles of proof in relation to the methods of scientific investigation]. – M.: LENAND, 2011. – 832 p.
16. Malugin V.D. Parallelnyye logicheskie vyichisleniya posredstvom arifmeticheskikh polinomov [Parallel logical calculations by the arithmetic of polynomials]. – M.: Nauka, Fizmatlit, 1997.

Звягинцева А.В.

Модели существования и распространения видов животных для количественной оценки биологического разнообразия:

1. Vyimiranie biologicheskikh vidov, poterya bioraznoobraziya i zdorove cheloveka [The extinction of species, loss of biodiversity and human health]. – Elektr. resurs. URL: <http://base.safework.ru/iloenc?doc&nd=857100187&nh=0&ssect=0> (14.10.2013).
2. Entsiklopediya “Zhivotnyie” [Encyclopedia “Animals”] / Pod red. D. Byorni, per. s angl. – M.: Astrel, AST, 2008. – 624 p.
3. Globalnyie izmeneniya biologicheskogo raznoobraziya [Global changes in biodiversity] / <http://bibliofond.ru/view.aspx?id=432952> (15.11.2013).
4. A.A. Tishkov. Sohranenie biologicheskogo raznoobraziya v Rossii [Conservation of biological diversity in Russia] // Rossiya v okruzhayuschem mire: 2005 (Analiticheskii ezhegodnik). Otv. red. N.N. Marfenin / Pod obsch. red.: N.N. Marfenina, S.A. Stepanova. – M.: Modus. K – Eterna, 2006. – 320 p. – Elektr. resurs. URL: http://www.rus-stat.ru/stat/128Russia_2005-4_82-124.pdf (20.06.2013).
5. Groombridge Groombridge B., Jenkins M.D. Global Biodiversity. Earth s living resources in the 21st century. Cambridge: World Conservation Monitoring Center. Hoechst foundation, 2000. – 247 p.
6. Elektr. resurs. URL: <http://ecoportal.su/news.php?id=39788> (20.06.2013).
7. Elektr. resurs. URL: <http://www.derev-grad.ru/dendrologiya/biologicheskoe-raznoobrazie.html> (23.04.2013).
8. Upravlinnya u sferi zberezheniya biologichnogo riznomanitya Ukrayini [Management in Biodiversity Conservation in Ukraine] // v kn. Shmandiy V.M., Soloshich I.O. Upravlinnya prirodohoronnoyu diyalnisty: Navch. pos. – K.: Tsentri navch. lit-ri, 2004. – 296 p. – Elektr. resurs. URL: <http://eco.dt-kt.net/books/book-4/chapter-159/> (20.06.2013).
9. Chetvertyiy natsionalnyiy doklad “Sohranenie bioraznoobraziya v Rossiyskoy Federatsii” [Fourth national report “Biodiversity Conservation in the Russian Federation”] // Rukovoditel kollektiva ekspertov – prof., d.g.n. A.A. Tishkov. – M.: Ministerstvo prirodnykh resursov i ekologii RF, Programma razvitiya OON. 2009. – 114 p. – Elektr. resurs. URL: <https://www.cbd.int/doc/world/ru/ru-nr-04-ru.pdf> (27.01.2013).
10. Vtoroy natsionalnyiy doklad o sohraneni bioraznoobraziya [Second national report on biodiversity conservation <www.biodat.ru>: National Biodiversity Conservation Strategy of the Russian Federation] // Natsionalnaya strategiya sohraneniya bioraznoobraziya Rossiyskoy Federatsii. M.: Rossiyskaya akademiya nauk, Ministerstvo prirodnykh resursov Rossiyskoy Federatsii, Proekt GEF “Sohranenie bioraznoobraziya”, 2001. – 76 p. – Elektr. resurs. URL: www.biodat.ru
11. Pyatyiy natsionalnyiy doklad “Sohranenie bioraznoobraziya v Rossiyskoy Federatsii” [Fifth national report “Biodiversity Conservation in the Russian Federation”] // Rukovoditel kollektiva ekspertov – prof., d.g.n. A.A. Tishkov. – M.: Ministerstvo prirodnykh resursov i ekologii RF., 2014. – 114 p. – Elektr. resurs. URL: <https://www.cbd.int/doc/world/ru/ru-nr-04-ru.pdf> (27.05.2013).
12. Elektr. resurs. URL: <http://www.biofactory.ru/book/14/741.html> (21.02.2013).
13. Flint V. E. Sohranenie redkih vidov v Rossii (teoriya i praktika) [Conservation of rare species in Russia (theory and practice)] // V kn.: Sohranenie i vosstanovlenie bioraznoobraziya. M.: Proekt GEF “Sohranenie bioraznoobraziya”, 2002. – pp. 11 – 108.
14. Zalepuhin V.V. Teoreticheskie aspekty bioraznoobraziya. Uch. pos. Volgograd: VolGU [Theoretical aspects of biodiversity]. 2003. – 192 p. – Elektr. resurs. URL: http://window.edu.ru/window_catalog/files/r25793/volsu374.pdf (07.10.2013).
15. Elektr. resurs. URL: <http://www.ecolife.ru/e-lib/UR.pdf> (17.09.2012).
16. E. Megarran. Ekologicheskoe raznoobrazie i ego izmerenie [Ecological diversity and its measurement]. – M.: Mir, 1992. – 184 p.

17. A.A. Protasov. Bioraznoobrazie i ego otsenka. Kontseptualnaya diversikologiya [Biodiversity and its evaluation. Conceptual diversicology] // K.: In-t gidrobiologii NAN Ukrainyi, 2002. – 105 p.
18. A.P. Levich. Struktura ekologicheskikh soobshchestv [The structure of ecological communities] // M.: MGU, 1980. – 181 p.
19. V.K. Shitikov, G.S. Rozenberg. Otsenka bioraznoobraziya: popytka formalnogo obobscheniya [Biodiversity Assessment: an attempt to formal generalization] // Jahrbuch fur EcoAnalytic und EcoPatologic. 2004. – 39 p.
20. G.S. Rozenberg, V.K. Shitikov. O sootnoshenii matematiki i biologii v ekologii [On the relation between mathematics and biology in ecology] // Kolichestvennyye metody ekologii i gidrobiologii / Otv. red. chl.-korr. RAN G.S. Rozenberg. – Tolyatti: SamNTs RAN, 2005. – 404 p.
21. Averin G.V. Sistemodinamika: nauka o zakonomernostyakh processov izmeneniya i razvitiya sistem vo vremeni [Systemdynamics: the science of the laws of the processes of change and development systems in time]. – Palmarium Academic Publishing, 2014. – 488 p.
22. R. Uittaker. Soobshchestva i ekosistemy [Communities and ecosystems]. – M.: Progress, 1980. – 328 p.
23. P.K. Anohin. Uzlovyie voprosyi teorii funktsionalnoy sistemy [The central questions of the functional systems theory]. – M.: Nauka, 1980. – 197 p.
24. V.A. Kostitsyn. Evolyutsiya atmosferyi, biosferyi i klimata [The evolution of atmosphere, biosphere and climate] / Per. s frants. Pod red. N.N. Moiseeva. – M.: Nauka, 1984. – 96 p.
25. Mirovaya dinamika [World Dynamics] // Per. s angl. / D. Forrester. – M.: AST; S.-Pb.: Terra Fantastica, 2003. – 379 p.
26. Rukovodstvo po razrabotke i ispolzovaniyu natsionalnykh indikatorov bioraznoobraziya [Guide to the development and use of national biodiversity indicators] / UNEP: Vsemirnyiy Tsentri Monitoringa Sohraneniya, Kembriidzh, Velikobritaniya, 2011. – 40 p.
27. A.V. Zviagintseva. Biological diversity: the problem of modeling the distribution of species on the Earth / Materialy IX mezinarodni vėdecko – prakticka konference “Moderni vymoženosti vėdy – 2013”. – Dil 59. Biologicke vėdy: Praha. Publishing House “Education and Science” s.r.o. St. 12 – 20.
28. Identification, Monitoring, Indicators and Assessment. Materialyi Konventsii o bioraznoobrazii. – Elektr. resurs. URL: <http://www.cbd.int/indicators/intro.shtml> (21.09.2013).
29. V.K. Shitikov. Intellektualnyie tehnologii strukturnogo analiza ekologicheskikh system [Intellectual technologies for structural analysis of ecological systems] / Dis. na soisk. uch. step. dokt. biol. nauk, 2007. – Elektr. resurs. URL: http://www.ievbras.ru/ecostat/Kiril/Article/A24/My_dd.htm#Vv (27.09.2013).
30. J. Gallo, C. Ertur. Exploratory Spatial Data Analysis of the distribution of regional per capita GDP in Europe, 1980 – 1995 / University of Burgundy. – Elektr. resurs. URL: <http://www.u-bourgogne.fr/LATEC> (07.10.2013).
31. Globalnaya baza dannykh po bioraznoobraziyu – GBIF [Global Biodiversity Database]. – Elektr. resurs. URL: <http://data.gbif.org/welcome.htm/> (25.11.13).
32. AnAge: The Animal Ageing and Longevity Database. – Elektr. resurs. URL: <http://genomics.senescence.info/species> (25.11.13).
33. Bazyi dannykh proekta “Bioraznoobrazie Rossii” [Database project “Russia Biodiversity”]. – Elektr. resurs. URL: http://www.zin.ru/BioDiv/bd_dbas.htm (25.11.13).
34. Baza dannykh “Bioraznoobrazie Belorussii” [Database project “Belarus Biodiversity”]. – Elektr. resurs. URL: <http://florafaua.by/page/about/> (25.11.13).
35. Arhiviyi povtornogo analiza klimaticheskikh dannykh [Archives re-analysis of climate data]. – Elektr. resurs. URL: http://data-portal.ecmwf.int/data/d/interim_full_moda/; <http://nomads.ncdc.noaa.gov> (20.10.2012).
36. A.G. Platonov, M.Y. Ahalaya. Primenenie metoda probit-analiza v radiobiologii. Raschet poluletalnoy dozyi LD50 [Application of the probit analysis in radiobiology. Calculation of half-lethal dose LD50] // Uch.-metod. pos. – M.: NIIYAU MIFI, 2010. – 36 p. – Elektr. resurs. URL: http://library.mephi.ru/Data-IRBIS/book-mephi/Platonov_Primenenie_metoda_probit-analiza_v_radiobiologii_2010.pdf (09.09.2012).
37. Sostoyanie bioraznoobraziya prirodnkh ekosistem Rossii [Condition biodiversity of natural ecosystems in Russia] // Pod red. V.A. Orlova i A.A. Tishkova. M.: NIA-Priroda, 2004. – 116 p.

Достлев Ю.С.

Повышение информационной надежности оценки текущего состояния объекта автоматизации:

1. Gusev B.S. i dr. Avtomatizatsiya potochnogo kontrolya i ucheta prokata na blyumingah “Krivorozhstal” [Automation in-line monitoring and accounting rolled on a blooming “Krivorozhstal”]. – Metall i lite Ukrainyi, 5 – 6, 2000. – 17 p.

A. Kharytonov

Automation of data transfer and analysis of the effectiveness in the energy management of municipal institutions:

1. Prakticheskoe rukovodstvo po povysheniyu energoeffektivnosti munitsipalnykh sistem [The practical guide to improving energy efficiency of municipal systems] / Pod red. A.S. Kopetsa i R.V. Kishkanya. – Donetsk, 2007. – 204 p.
2. Ukaz Prezidenta Ukrainy “O reshenii Soveta natsionalnoy bezopasnosti i oborony Ukrainy ot 30 maya 2008 goda “O sostoyanii realizatsii gosudarstvennoy politiki po obespecheniyu effektivnogo ispolzovaniya toplivno-energeticheskikh resursov” no 679/2008 ot 28.07.2008 [Presidential Decree “On the decision of the National Security and Defense Council of 30 May 2008 on the status of implementation of the state policy to ensure efficient use of energy resources” no. 679/2008 from 28.07.2008].
3. Strategiya razvitiya g. Donetska na period do 2020 g. [Development Strategy of Donetsk for the period up to 2020] / Pod red. A.I. Amosha. – Donetsk: Donetskiy gorodskoy sovet. – 2008. – 308 p.
4. Safyants S., Averin G., Haritonov A. i dr. Otchet o nauchno-issledovatel'skoy rabote “Avtomatizatsiya ucheta potrebleniya energore-surov byudzhethoy sfery g. Donetska” [Report on the research work “Accounting automation in public sector energy consumption in Donetsk”]. – Ch. 1. – 2008. – 162 p.
5. Haritonov A.Y. K voprosu sozdaniya effektivnykh avtomatizirovannykh sistem dlya polucheniya energii [On the development of efficient automated systems for energy generation] / A.Y. Haritonov // Nauch. trudy Donetskogo Natsionalnogo tekhnicheskogo universiteta. – 2008. – no 9. – pp. 292 – 295.

Пометун Е.Д., Кузнецов Д.Н.

Сравнение чувствительности термоанемометров двух типов: импульсного и постоянной температуры:

1. Vedomstvennyye stroitelnyye normy po teplotekhnicheskim obsledovaniyam naruzhnykh ograzhdayushchikh konstruksiy zdaniy s primeneniem teplovizorov [Departmental building codes for Thermal surveys exterior building envelopes using thermal imagers] // VSN 43 – 96. – [vved. 01.10.1996]. – M.: Mosstroylitsenziya, 1996. – 12 p.
2. Pometun E.D., Lebedev V.N., Nikula M.A. Optimizatsiya funktsii approksimatsii graduirovchnoy karakteristiki termoane-mometra [Optimization function for thermal anemometer approximation calibration characteristics] // Zbimik naukovih prats stud. nauk. konf. Donetskogo natsionalnogo universiteta. Donetsk: DonNU.
3. Kuznetsov D.N., Lebedev V.N., Perebeynos V.V. Issledovanie impulsnogo termoanemometra s termoparoy v kachestve termochuvstvitelnogo elementa [Investigation of pulsed thermal anemometer with a thermocouple as a temperature sensor] // Nauchnyye trudy Donetskogo natsionalnogo tekhnicheskogo universiteta. Seriya: Vyichislitel'naya tekhnika i avtomatizatsiya. Vyipusk 23 (201). – Donetsk: DonNTU, 2012. – pp. 170 – 176.
4. GSI. Rekomendatsii po mezghosudarstvennoy standartizatsii. Metrologiya. Osnovnyye terminy i opredeleniya. RMG 29 – 13 – Vzamen RMG 29 – 99 [State system for ensuring the uniformity of measurements. Recommendations on interstate standardization (RIS). Metrology. Basic terms and definitions. RIS 29–13 instead RIS 29–99]. – [Vved. 01.01.99]. – M.: Standartinform, 2014. – 58 p.
5. Kuznetsov D.N., Dyachenko A.A., Chupis D.A. Nastroyka optimalnogo regul'yatora temperatury vozdušnogo potoka aerodinamicheskogo stenda ADS – 200/250 [Setting the optimal temperature control air flow aerodynamic stand ADS – 200/250] // Nauchnyye trudy Donetskogo natsionalnogo tekhnicheskogo universiteta. Seriya: Vyichislitel'naya tekhnika i avtomatizatsiya. Vyipusk – 21 (183) – Donetsk, DonNTU, 2011. – pp. 171 – 177.

Харитонова В.В.

Особенности преподавания дисциплины «Цветоведение» будущим программистам медиасистем

1. Terri Li Stoun. Dizayn tsveta. Praktikum [Color Design. The Workshop]. – M.: RIP-holding, 2006. – 240 p.
2. Kravkov S.V. Tsvetovoe zrenie [Color Vision]. – M.: Akademiya nauk SSSR, 1951. – 175 p.
3. Vangeleva V.V., Haritonova V.V. Opredelenie osnovnykh pravil pri vyibore tsvetovogo resheniya v protsesse razrabotki interfeysov informatsionnykh sistem [Defining basic rules in choosing the color scheme during the development of information systems interfaces] / Vangeleva V.V., Haritonova V.V. // Zbirka materialiv IV Vseukr. nauk.-tekhnich. konf. studentiv, aspirantiv ta molodih vchenih “Informatsiyni upravlyayuchi sistemi ta komp'yuterniy monitoring”. – Donetsk: DonNTU, – 2013. – pp. 289 – 295.
4. Guskova V.G., Haritonova V.V. Analiz osnovnykh problem web-saytov [Analysis of the web-sites main problems] / Guskova V.G., Haritonova V.V. // El. zbirka materialiv IV Vseukr. nauk.-tekhnich. konf. studentiv, aspirantiv ta molodih vchenih “Informatsiyni upravlyayuchi sistemi ta komp'yuterniy monitoring”. – Donetsk: DonNTU, – 2013. – pp. 246 – 250.
5. Medvedev V.Y. Tsvetovedenie koloristika: uch. pos [Chromatics. Coloristics]. – S.-Pb.: IPTs SPGUTD, 2005. – 116 p.
6. Psihologiya tsveta: teoriya i praktika [Color Psychology: Theory and Practice]. – Elektr. resurs. URL: http://www.syntone.ru/library/books/content/4312.html?current_book_page=all (20.11.2013).

Научное издание

**Системный анализ и информационные технологии в науках
о природе и обществе
Сборник научных трудов**

(на русском, украинском, английском языках)

№1(4)–2(5)'2013

Ответственный за выпуск *А.В. Звягинцева*
Технические редакторы *В.М. Беловодский, А.С. Хоруженко*
Компьютерная верстка *В.А. Павлий*
Дизайн обложки *А.Р. Хохлов, Д.П. Шерекин*

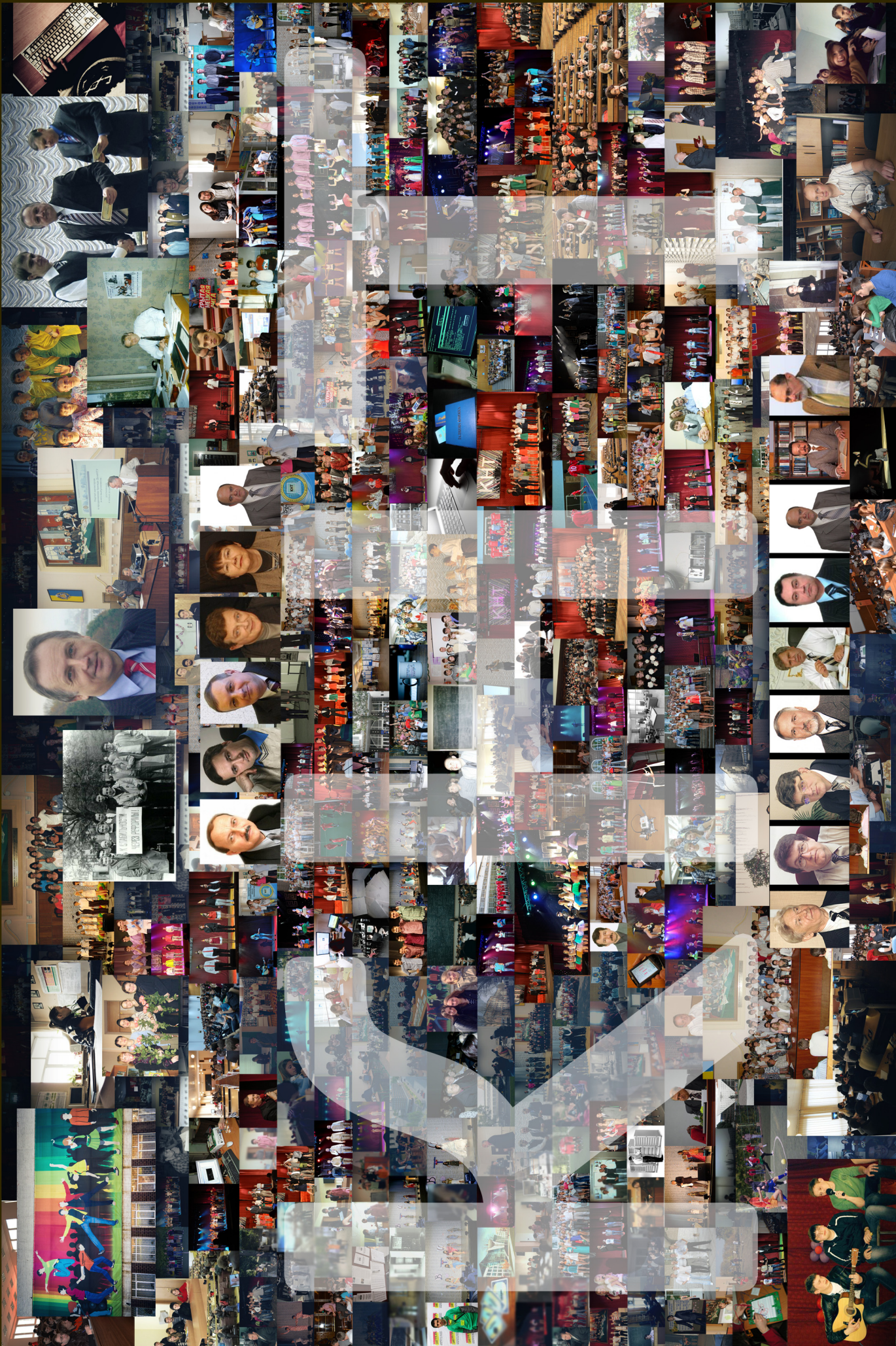
Подписано к печати 27.06.2014. Формат 60×84 ¹/₈.
Бумага офсетная. Печать ризографическая.
Усл. печ. лист. 10. Уч.- изд. лист. 7,1.
Тираж 100 экз.

Адрес редакции: Украина, 83001, г. Донецк, ул. Артема, 58, ГБУЗ «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>

Издатель Государственное высшее учебное заведение «Донецкий национальный технический университет»
Украина, 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-ИНФО»
Украина, 83001, г. Донецк, ул. Артема, 58, к. 113, тел.: +38 (062) 335-64-55



Факультет компьютерных наук и технологий

Тел: +38 (062) 345-09-35

<http://cs.donntu.org>

© 1972-2013



Кафедра компьютерных систем
мониторинга

Тел: +38 (062) 301-08-51

Web site: <http://csm.donntu.org>

E-mail: averin@cs.dgtu.donetsk.ua

© 2003-2013