

СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ И ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В НАУКАХ О ПРИРОДЕ И ОБЩЕСТВЕ

СБОРНИК НАУЧНЫХ ТРУДОВ
Основан в октябре 2011 года

№1(12)-2(13)'2017

Донецк



УДК 001.5:004.9

Системный анализ и информационные технологии в науках о природе и обществе (САИТ-2017). № 1(12)–2(13)'2017. – Донецк: ДонНТУ, 2017. – 117 с.

Публикуется по решению Ученого совета Государственного высшего учебного заведения «Донецкий национальный технический университет» (протокол № 5 от 02.06.2017).

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

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

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

System analysis and information technology in environmental and social sciences (SAIT-2017). no.1(12)–2(13)'2017. Donetsk, DonNTU, 2017: 117 p. (in Russian)

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

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

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

Учредитель и издатель – ГВУЗ «Донецкий национальный технический университет».

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

Редакционная коллегия: Аноприенко А.Я., канд. техн. наук, проф. (главный редактор); Аверин Г.В., д-р техн. наук, проф. (заместитель главного редактора); Звягинцева А.В., канд. техн. наук, доц. (отв. секретарь сборника); Андриухин А.И., канд. техн. наук, доц.; Беловодский В.Н., канд. техн. наук, доц.; Белоусов В.В., д-р техн. наук, проф.; Глушак А.В., д-р физ.-мат. наук, проф. (РФ, НИУ «БелГУ»); Голубева О.В., канд. физ.-мат. наук, доц. (Республика Беларусь, ПГУ); Григорьев А.В., канд. техн. наук, доц.; Губенко Н.Е., канд. техн. наук, доц.; Ехилевский С.Г., д-р техн. наук, проф. (Республика Беларусь, ПГУ); Жиляков Е.Г., д-р техн. наук, проф. (РФ, НИУ «БелГУ»); Карабчевский В.В., канд. техн. наук, доц.; Климко Г.Т., канд. физ.-мат. наук, с.н.с.; Константинов И.С., д-р техн. наук, проф. (РФ, НИУ «БелГУ»); Недопекин Ф.В., д-р техн. наук, проф.; Павлий В.А., канд. техн. наук; Скобцов Ю.А., д-р техн. наук, проф.; Толстых В.К., д-р техн. наук, проф.; Фельдман Л.П., д-р техн. наук, проф.

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

© Авторы статей
© ГВУЗ «Донецкий национальный технический университет»

**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(12)–2(13)'2017

ДОНЕЦК

СО Д Е Р Ж А Н И Е

Введение.....	8
Систематизация знаний, построение теорий и систем измерения	
<i>Аверин Г.В.</i> О вероятностной природе смыслов в дискретных языковых единицах.....	11
<i>Звягинцева А.В., Михайлова А.А.</i> Эконометрические шкалы и критерии для комплексной оценки развития регионов	19
Прикладной системный анализ и моделирование	
<i>Беловодский В.Н., Букин С.Л.</i> Плоские колебания вибрационной машины с шарниром Гука в трансмиссии центробежного вибропривода.....	29
<i>Достлев Ю.С., Чередникова О.Ю.</i> Особенности учета и обработки асинхронных событий в системах реального времени.....	36
<i>Михайлова А.А., Звягинцева А.В.</i> Региональные особенности развития субъектов Российской Федерации, исходя из анализа статистических данных.....	44
<i>Ехилевский С.Г.</i> Влияние динамической сорбционной активности на температурный режим регенеративного патрона дыхательного аппарата на химически связанном кислороде.....	63
<i>Звягинцева А.В.</i> Оценка рисков опасных и неблагоприятных событий по данным мониторинга городской среды.....	69
<i>Курганов А.В.</i> Развитие математического моделирования процесса двойникования в титане.....	79

<i>Аверин Г.В., Звягинцева А.В.</i> Феноменологический метод описания темпоральных массивов данных.....	84
<i>Михайлова А.А.</i> О законодательном и нормативно-методическом обеспечении стратегического планирования в Российской Федерации.....	90
<i>Зенкевич Д.А.</i> Работа трассировщика пути в движках визуализации трёхмерной графики.....	105
Сведения об авторах на русском языке.....	111
Сведения об авторах на украинском языке.....	113
Сведения об авторах на английском языке.....	115

Системний аналіз та інформаційні технології

ЗБІРНИК НАУКОВИХ ПРАЦЬ

ЗАСНОВАНО У ЖОВТНІ 2011 РОКУ

№1(12)-2(13)'2017

З М І С Т

Вступ.....	8
Систематизація знань, побудова теорій та систем вимірювання	
<i>Аверін Г.В.</i> Про ймовірнісну природу смислів в дискретних мовних одиницях.....	11
<i>Звягінцева Г.В., Михайлова А.О.</i> Економетричні шкали та критерії для комплексної оцінки розвитку регіонів.....	19
Прикладний системний аналіз та моделювання	
<i>Беловодський В.М., Букін С.Л.</i> Плоскі коливання вібраційної машини з шарніром Гука в трансмісії відцентрового віброприводу.....	29
<i>Достлев Ю.С., Череднікова О.Ю.</i> Особливості урахування та обробки асинхронних подій у системах реального часу	36
<i>Михайлова А.О., Звягінцева Г.В.</i> Регіональні особливості розвитку суб'єктів Російської Федерації, виходячи з аналізу статистичних даних.....	44
<i>Єхилевський С.Г.</i> Вплив динамічної сорбційної активності на температурний режим регенеративного патрона дихального апарату на хімічно пов'язаному кисні.....	63
<i>Звягінцева Г.В.</i> Оцінка ризиків небезпечних і несприятливих подій за даними моніторингу міського середовища.....	69
<i>Курганов А.В.</i> Розвиток математичного моделювання процесу двійникування в титані.....	79

<i>Аверін Г.В., Звягінцева Г.В.</i> Феноменологічний метод опису темпоральних масивів даних.....	84
<i>Михайлова А.О.</i> Про законодавче та нормативно-методичне забезпечення стратегічного планування в Російській Федерації.....	90
<i>Зенкевич Д.О.</i> Робота трасувальника шляху в движках візуалізації тривимірної графіки.....	105
Відомості про авторів російською мовою	111
Відомості про авторів українською мовою.....	113
Відомості про авторів англійською мовою.....	115

CONTENTS

Introduction.....	8
Systematization of knowledge, construction of theories and measurement systems	
<i>Averin G.V.</i> On the stochastic nature of meanings in the discrete language units.....	11
<i>Zviagintseva A.V., Mikhailova A.A.</i> The econometric scales and criteria for the comprehensive assessment of regionals development.....	19
Applied systems analysis and modeling	
<i>Belovodskiy V.N., Bukin S.L.</i> Flat oscillations of a vibrating machine with Hooke's hinge in a transmission of a centrifugal vibration drive.....	29
<i>Dostlev Y.S., Cherednikova O.Y.</i> Features of accounting and processing of asynchronous events in real-time systems.....	36
<i>Mikhailova A.A., Zviagintseva A.V.</i> Regional features of development of subjects The Russian Federation, based on the analysis of statistical data.....	44
<i>Ekhilevskiy S.G.</i> Influence of dynamic sorption activity on the temperature regime of regenerative cartridge of the respiratory apparatus on chemically bound oxygen.....	63
<i>Zviagintseva A.V.</i> Risk assessment of dangerous and adverse events according to urban environment monitoring data.....	69
<i>Kurganov A.V.</i> Development of mathematical modeling of the twinning process in titanium.....	79

<i>Averin G. V., Zviagintseva A.V.</i> Phenomenological method of temporal data sets description.....	84
<i>Mikhailova A.A.</i> About legislative and normative and methodical ensuring strategic planning in the Russian Federation.....	90
<i>Zenkevich D.A.</i> Operation of the path tracer in the engines visualizations three-dimensional graphics.....	105
Information about the Authors in Russian.....	111
Information about the Authors in Ukrainian.....	113
Information about the Authors in English.....	115

Введение

Я считаю Октябрьскую революцию
одним из величайших событий
в истории.

Герберт Уэллс, 1932

Сто лет назад в 1917 году свершилась Октябрьская революция, которая потрясла человечество и стала одним из величественных и трагических событий XX века. Революция оказала огромное влияние на развитие народов Российской империи и всего мира, во многом определила историческую картину прошлого века. Путем индустриализации, коллективизации, культурной революции, всеобщего просвещения населения и тотальной пропаганды, мобилизации грандиозных ресурсов и многих человеческих жертв в 30–60 годы XX века был обеспечен невиданный ранее прогресс на значительной территории Евразии. В этот период было создано социалистическое общество, которое ставило перед собой большие созидательные цели и достигало их.



Цена любой революции – это сложный исторический вопрос, который в социальной среде отдается на откуп идеологов, историков, политологов и публицистов. Понимание ценности таких событий формируется на исторических периодах времени, которые измеряются в столетиях. Поэтому истинное, не предвзятое и исторически взвешенное понимание всего наследия Революции придёт скорее всего внукам наших внуков.

Специалистов в области системного анализа и моделирования систем всегда интересовал генезис революций и фундаментальные вопросы – почему они происходят, можно ли прогнозировать и предсказывать такие глобальные события? Настоящие революции несут в себе коренное изменение социально-экономических формаций и полную смену властных и экономических элит. В философии революция – это скачок, представляющий собой коренное, качественное изменение объекта или явления, превращение старого качества в новое в результате количественных изменений. В теории моделирования – это точки бифуркаций, отражающие качественные изменения и метаморфозы в развитии объектов, событий, процессов и явлений.

Качественные скачкообразные изменения – катастрофы, катаклизмы, кризисы, революции, метаморфозы, аварии, чрезвычайные события, несчастные случаи, редкие опасные события и другие аналогичные феномены пока не поддаются достоверному прогнозированию. Вся теория моделирования и прогнозирования направлена на описание эволюционных процессов в природе и обществе. Теория катастроф затрагивает динамические системы, которые описываются дифференциальными уравнениями, то есть системы, для которых уже существуют естественнонаучные

аналитические теории. Теория опасности и риска, как формирующаяся естественная наука, направлена на оценку и анализ различных неблагоприятных событий и находится на этапе формирования собственной феноменологии. Экспертное оценивание охватывает различные эвристические методы познания, которые субъективны по своей природе и часто далеки от объективности и достоверности.

Проблема моделирования и прогнозирования подобных процессов и явлений связана с отсутствием систематизированных баз данных, неимением естественнонаучной систематики всего множества наблюдаемых в природе и обществе событий, отсутствием общей теории описания систем и явлений различной природы, крайне ограниченными методами оценки, измерения и описания качеств объектов и явлений, а также умозрительными представлениями о случайности, как основной сущности, изменяющихся во времени процессов. Г. Рейхенбах считал, что будущее полностью не детерминировано и случайно, а прошлое детерминировано (то, что произошло уже не может быть случайным).

В ближайших сборниках научных трудов САИТ хотелось бы уделить особое внимание фундаментальным проблемам в области моделирования систем и прогнозирования процессов – формированию проблемно-ориентированных баз данных, позволяющим выйти на этап создания феноменологических теорий; классификации событий в различных прикладных областях знаний и изучению соответствующих причинно-следственных и вероятностных связей; проблемам становления и прогнозирования событий; методам социо-эконометрических измерений и построению универсальных моделей объектов и явлений; оценке и измерению сложности систем и качеств объектов; вопросам предсказания редких масштабных событий, расширению сферы и средств моделирования в гуманитарных областях; важным философским проблемам в области моделирования объектов и явлений. Это можно рассматривать как предложение авторам будущих статей в области формирования наиболее актуальной тематики журнала.

Двенадцатый и тринадцатый номера сборника научных трудов «Системный анализ и информационные технологии в науках о природе и обществе» включают публикации, которые охвачены рубриками: Систематизация знаний, построение теорий и систем измерения; Прикладной системный анализ и моделирование.

Редакция надеется, что изданные номера сборника САИТ будут интересны специалистам, занимающимся системным анализом, прикладным моделированием и прогнозированием, а также использованием информационных технологий в различных областях научной и практической деятельности.



проф. Г.В. Аверин

Раздел 1

Систематизация знаний, построение теорий и систем измерения

О вероятностной природе смыслов в дискретных языковых единицах

Аверин Г.В.

Донецкий национальный технический университет
Белгородский государственный национальный исследовательский университет
averin.gennadiy@gmail.com

Аверин Г.В. «О вероятностной природе смыслов в дискретных языковых единицах». На практическом примере анализа лингвистических данных показана возможность изучения вероятностной природы смыслов слов в русском языке. Предлагаемый подход основан на статистическом анализе группы слов, содержащих смысл, по отношению к аналогичной группе бессмысленных слов. Для решения задачи сформировано многомерное фазовое пространство оцифрованных слов, где последовательности букв алфавита поставлена в соответствие последовательность целых чисел. Это позволило представить множество существующих слов, как со смыслом, так и без смысла, в виде математических объектов. Слова со смыслом взяты из филологического словаря, бессмысленные слова образованы с помощью генераторов случайных чисел с равномерным распределением. При оценке вероятностной природы смыслов предложено использовать объективные критерии в виде вероятностей событий, для чего используется статистическая вероятность положения слова, как многомерной точки, в заданном объеме фазового пространства. Данная вероятность находится алгоритмически, исходя из непосредственного подсчета вероятности совместных событий одновременного наблюдения значений оцифрованных букв. В процессе анализа установлено специфическое различие между смысловыми и бессмысленными языковыми единицами, что связано со скрытыми вероятностными особенностями и закономерностями, которые существуют в двух однородных, но качественно разных группах слов. Получены статистические распределения для изучаемых групп объектов. Предложенный метод дает возможность разработать системы оценки смыслового содержания в оцифрованных словах и предложить соответствующие шкалы для семантических измерений.

Ключевые слова: семантика, слова, вероятностная оценка смыслов, системы сравнения смысловых феноменов.

Введение

Одно из перспективных направлений математической семантики связано изучением языковых явлений и процессов словообразования на основе создания вероятностных моделей языка [1].

Сегодня для обработки данных применяются различные методы интеллектуального анализа информации, позволяющие с помощью современных информационных технологий устанавливать различные виды особенностей и закономерностей в данных и извлекать из них новые знания. Text Mining является одной из разновидностей интеллектуального анализа информации и включает в себя методы анализа текстовых массивов, например, тематическое индексирование, извлечение различных сущностей, получение ответов на разного вида запросы, поиск по ключевым словам и т.п. [2–4].

На фоне широкого применения информационных технологий при анализе текстовой информации практически отсутствуют методы, которые позволяли бы

оценивать смысловое содержание в дискретных языковых единицах. Это связано с тем, что механизмы функционирования языка и формирования смыслов остаются практически не изученными. Решение проблемы соотношения языка и смысла невозможно без математического и экспериментального изучения смысловых феноменов, исходя из анализа имеющихся опытных данных.

Вся феноменология любой предметной области начинает формироваться в основном с момента установления возможности измерения и оценки наблюдаемых феноменов. Поэтому задачи, направленные на измерение или сравнение смысла в словах, приобретают особое значение в семантике.

Постановка задачи

В конце восьмидесятых годов русским математиком Василием Налимовым была высказана идея вероятностной природы смыслов и предложена вероятностно-смысловая модель человеческой личности [1, 5, 6]. Это одно из современных направлений вероятностно-

ориентированной философии. Налимов развивает идею смыслового континуума, что позволяет говорить о существовании поля смыслов. По мнению ученого вполне возможно построение теории поля, объединяющей физическое и семантическое описание окружающего мира. Конечно, подобное утверждение является довольно амбициозным, однако оно имеет право на существование.

Естественно, что в данном контексте возникает прикладная задача: как описать это поле и как количественно оценить смыслы? Выскажем гипотезу, что континуальное пространство смыслов может быть описано на основе выявления вероятностных закономерностей, характерных для этого пространства.

Исходя из этого, целью данной статьи является изучение вероятностной природы смыслов и реализация попытки построения системы измерения соответствующих смысловых феноменов на примере анализа смыслового содержания в группах дискретных языковых единиц, в качестве которых выступают группы слов с определенным количеством букв.

В работах [7–12] показано, что при построении моделей систем использование принципа континуальности фазового пространства состояний объектов, принципа инвариантности эмпирических мер, а также принципа соответственных состояний, заключающегося в наличии измеряемого сходства в состояниях объектов, позволяет установить групповые закономерности статистики и динамики для целого ряда систем различной природы. Используем предложенные методы при изучении смысловых феноменов в различных словах.

Гипотезы и метод анализа данных

Слова, построенные из букв, могут в своем содержании нести определенный смысл или могут быть бессмысленными по своей природе. Будем искать вероятностные закономерные связи между этими двумя классами объектов.

Ганс Рейхенбах считал, что наше знание о прошлом и настоящем основывается на протоколах [13, 14]. Под такими протоколами подразумеваются любые документы о прошедших событиях, собранные летописи, словари, различная информация и данные о функционировании и поведении объектов и систем в прошлом и настоящем, описания и базы данных, отражающие наше знание об окружающем мире. Рейхенбах утверждал, что прошлое детерминировано, а будущее не детерминировано, случайно. Исходя из этого, существующее знание, основанное на данных, может быть однозначно описано с помощью моделей различных видов.

Если исходить из этой гипотезы, то все словари, содержащие слова, как особый вид структурированных протоколов прошлого и настоящего, могут быть представлены в формализованном количественном виде. С этой целью множество существующих слов, как со смыслом, так и без смысла, необходимо представить в виде оцифрованных математических объектов.

Будем изучать однородную группу слов, несущих смысл, по отношению к аналогичной группе бессмысленных слов (например, группы слов из одинакового количества букв). Слова со смыслом возьмем из филологического словаря и для однородной группы слов сформируем фазовое пространство состояний. Положению каждой буквы слова (первая, вторая и т.д. буква) поставим в соответствие свою числовую ось, на которой буквам алфавита присвоим свое число из последовательности целых чисел: букве «а» – число 1, букве «б» – число 2, ..., букве «я» – присвоим число 33. Это даст возможность в фазовом пространстве состояний объектов, в качестве которых выступают различные слова, выполнить параметризацию изучаемых элементов. Для этого выделяем основные параметры, отражающие положение слов в многомерном фазовом пространстве, и присваиваем им численные значения. В результате каждое слово будет представлено многомерной точкой с координатным кодом.

В свою очередь, бессмысленные слова сформируем с помощью генераторов случайных чисел с равномерным распределением и полученные оцифрованные объекты также представим в общем фазовом пространстве в соответствии с их кодом.

Формализация данной задачи приведена на рисунке 1, где дана схема представления многомерного фазового пространства оцифрованных слов. Для наглядности рассмотрено трехмерное пространство (слова состоят из трех букв).

Объем информации для обработки и анализа данных будет определяться следующими показателями:

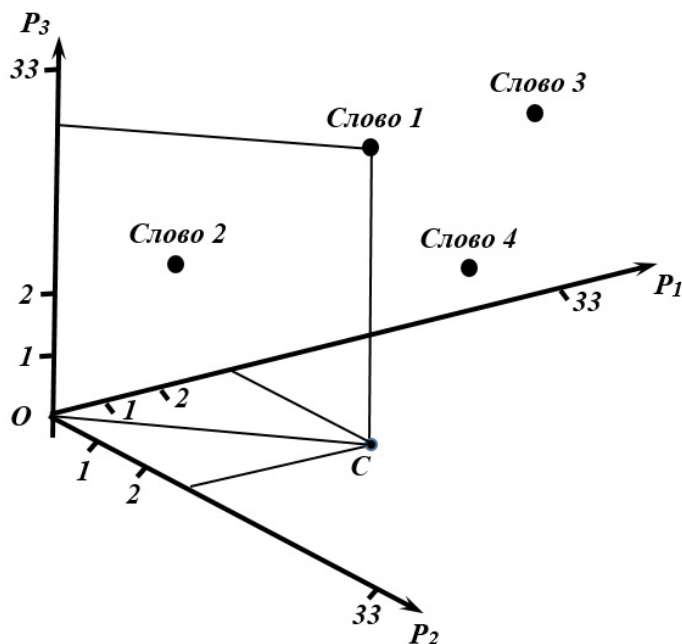
- количество наиболее употребляемых слов – около 40 тысяч единиц;
- количество букв в алфавите – 33;
- количество букв в слове – от 2 до 25.

Таким образом, для статистического анализа будем иметь около $n=24$ однородных групп слов со смыслом с разным количеством букв, а также 24 однородные группы бессмысленных слов.

В качестве практического примера изучим однородный класс объектов – слова из четырех букв. Построим для этих слов четырехмерное дискретное фазовое пространство состояний по аналогии, так как это показано на рисунке 1.

Тогда, каждая буква слова будет представлена в фазовом пространстве определенной координатой, а каждое слово –

многомерной точкой относительно координат четырех числовых осей Op_1, Op_2, Op_3 и Op_4 .



Координатные оси пространства:

- ✓ Op_1 – первая буква слова из t букв;
- ✓ Op_2 – вторая буква слова из t букв;
- ✓;
- ✓ Op_n – последняя буква слова из t букв

Значения координатных осей:

- ✓ 1 – буква «а»;
- ✓ 2 – буква «б»;
- ✓ 3 – буква «в»;
- ✓;
- ✓;
- ✓ 32 – буква «ю»;
- ✓ 33 – буква «я»

Рисунок 1. – Схема представления многомерного фазового пространства состояний для оценки смысла слов

Обычно для сравнения состояний объектов составляют вектор показателей каждого объекта, после чего вводят различные меры схожести. Большинство мер схожести (евклидово расстояние, степенное расстояние, «взвешенное» евклидово расстояние, потенциальная функция и т.д.) являются мерами сходства между различными объектами (состояниями объектов).

Алгоритмические меры сходства между объектом и классом (расстояние Махаланобиса, меры близости, расстояние до «центра тяжести» и др.) позволяют оценить схожесть объектов по отношению ко всей изучаемой группе объектов, однако являются в своем большинстве метрическими величинами.

Обработка информации во многом основана на вероятностных закономерностях, поэтому выберем меру для оценки объекта по отношению ко всей группе объектов в виде статистической вероятности состояния в заданном объеме фазового пространства. Данную вероятность будем находить алгоритмически, исходя из определения вероятности совместных событий одновременного наблюдения значений оцифрованных букв. Соответствующие алгоритмы имеются в программных продуктах статистической обработки данных, а также были приведены в работах [8, 9].

Для построения вероятностной модели используем предложенную в работах [7–12]

методику анализа данных, применительно к данной задаче:

- составим массив слов со смыслом из четырех букв, которые возьмем из словаря;
- сформируем четырехмерное фазовое пространство в соответствии с изложенным выше методом;
- на основе имеющихся данных составим массив числовых данных в виде таблицы, столбцы которой включают в себя: слова, числовой параметр первой, второй третьей и четвертой букв слова;
- задаем среди всех слов одно слово в качестве опорного объекта для построения измерительной шкалы сходства объектов;
- выбираем вероятностную меру для оценки схожести объектов в виде вероятности наблюдения совместных событий наблюдения значений оцифрованных букв;
- алгоритмически определяем статистическую вероятность наблюдения объектов в заданном объеме фазового пространства путем непосредственного подсчета относительных частот совместных событий. Для этого все пространство разделим по осям на одинаковое количество интервалов и в образованных многомерных параллелепипедах методом перебора подсчитываем количество наблюдаемых точек, которое относим к общему количеству точек (слов);
- с использованием генератора случайных чисел формируем группу

бессмысленных слов и для них выполняем те же действия, что описаны выше;

- найдем распределения вероятностей событий для групп слов, несущих смысл, и слов без смысла. Далее проведем анализ полученных распределений для оценки сходства двух групп объектов по вероятностным характеристикам.

Таким образом, возьмем в качестве опорного объекта слово «мама» и из словаря отберем все 2596 слов со смыслом из 4 букв, количество сгенерированных слов без смысла из 4 букв также примем 2596 единиц. Статистические распределения будем искать с помощью регрессионного анализа с применением программного продукта Statistica.

Результаты анализа данных

Используем сформированную базу данных для оцифрованных слов для оценки вероятностных закономерностей смысловых феноменов. Найденные статистические распределения приведены на рисунках 2 и 3 и представлены следующими зависимостями:

- для слов со смыслом:

$$\ln w_m = -5,258 + s, \quad (1)$$

$$s = 0,7440 \ln \left(\frac{p_1}{p_{1_0}} \right) + 0,5756 \ln \left(\frac{p_2}{p_{2_0}} \right) + \dots$$

$$\dots + 0,8368 \ln \left(\frac{p_3}{p_{3_0}} \right) + 0,5608 \ln \left(\frac{p_4}{p_{4_0}} \right);$$

- для слов без смысла:

$$\ln w = -8,145 + s, \quad (2)$$

$$s = 0,9811 \ln \left(\frac{p_1}{p_{1_0}} \right) + 0,9254 \ln \left(\frac{p_2}{p_{2_0}} \right) + \dots$$

$$\dots + 0,9125 \ln \left(\frac{p_3}{p_{3_0}} \right) + 0,9095 \ln \left(\frac{p_4}{p_{4_0}} \right),$$

где w_m , w – статистическая вероятность соответственно слов со смыслом и без него, определенная алгоритмически; s – эмпирическая энтропия; p_k , p_{k_0} – значения оцифрованных букв для различных слов и опорного слова.

Энтропия пространства состояний подсчитывается на основе теоретических представлений, изложенных в работе [15]. Диапазон изменения энтропии для уравнения (1) составляет от -3 до 5, а для уравнения (2) – от 0 до 8. Коэффициент корреляции уравнения (1) для слов со смыслом составил 0,96, а уравнения (2) для слов без смысла – 0,99.

На рисунке 4 в одном фазовом пространстве представлены результаты обработки данных и четко видно, что группы слов со смыслом и без смысла образуют разные

кластеры, распределения объектов которых подчиняется различным вероятностным закономерностям.

Сравнение уравнений (1) и (2) указывает на различие в коэффициентах при величинах $s_k = \ln(p_k/p_{k_0})$. В уравнении (2) данные коэффициенты близки между собой по значениям, что естественно для объектов, имеющих равномерное распределение. В уравнении (1) эти величины различны. Это связано с тем, что в словах со смыслом имеются скрытые вероятностные закономерности, которые объясняются существованием условных вероятностей, характеризующих события наблюдения значений оцифрованных букв. В свою очередь, события наблюдения значений букв в словах без смысла являются независимыми.

Если аналогичные результаты будут получены для слов из другого количества букв, то вероятностное поле смыслов может быть описано по отношению равновероятному полю моделирующей среды, которая не несет в себе смыслового содержания. Предложенный подход позволяет представить множество существующих слов, как со смыслом, так и без смысла, в виде математических объектов. Это дает возможность применить апробированные статистические методы анализа данных при изучении смыслового содержания в таких объектах.

При наличии подобных закономерностей для всех групп слов из словаря может быть построена шкала для оценки смыслов в словах и относительного сравнения таких объектов между собой. Для этого следует использовать безразмерные индексы в форме его однозначной связи с вероятностной мерой схожести объектов анализируемого класса, отличающегося наличием определенного рода феноменов.

Способ построения такой шкалы заключается в следующем. Исходя из последовательности букв, проверяется факт отношения слова к объекту, имеющему или не имеющему смысл. Далее в соответствии с уравнением (1) определяется статистическая вероятность w_m , характеризующая положение слова в фазовом пространстве.

Для построения линейной шкалы индекса выберем опорную точку (объект), для которой $w_m = w_0$, и проведем линейное шкалирование статистической вероятности. Для этого данной точке присвоим значение, равное, например, 0 (градусов, пунктов или баллов), а точке с максимальной вероятностью $w_m = 1$ – значение, равное 100 (градусов, пунктов или баллов).

Построим линейную шкалу интервалов в виде некоторого индекса θ :

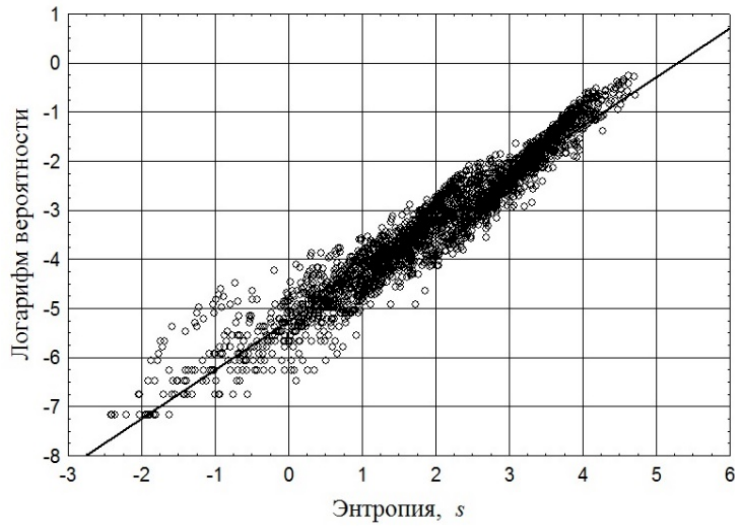


Рисунок 2. – Распределение вероятностей совместных событий наблюдения букв в словах со смыслом (слова из четырех букв)

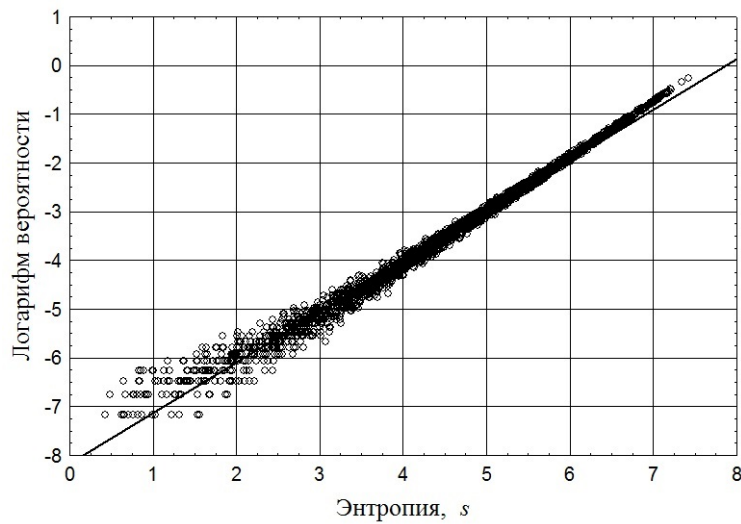


Рисунок 3. – Распределение вероятностей совместных событий наблюдения букв в словах без смысла (слова из четырех букв)

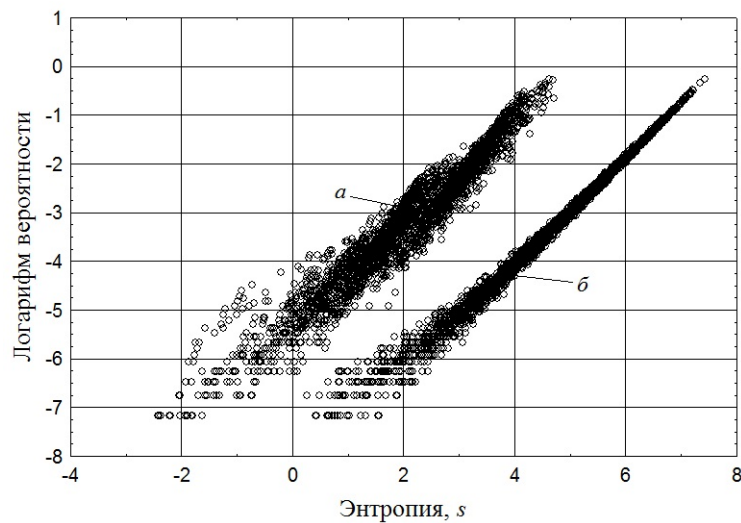


Рисунок 4. – Сравнение двух групп слов из четырех букв по их смысловосодержанию:
а) слова со смыслом; б) слова без смысла

$$\theta = 100 \frac{w_m - w_0}{1 - w_0} \quad (3)$$

В результате можно присвоить каждому слову значение индекса, который будет отражать его смысловое значение в математической интерпретации (табл. 1). Все это дает возможность иметь для каждого слова свой геометрический образ и цифровой код, характеризующие его положение в многомерном пространстве смыслов.

Таблица 1. – Значения индекса θ для слов со смыслом из четырех букв

№	Слово	Индекс θ	№	Слово	Индекс θ
1	авиа	-0,42	28	небо	0,91
2	ария	1,58	29	нимб	2,54
3	база	-0,48	30	нуль	19,59
4	барс	0,27	31	овал	-0,02
5	вата	-0,30	32	овес	2,27
6	врач	0,06	33	пакт	2,33
7	галс	0,49	34	пион	11,10
8	гимн	3,02	35	ранг	0,93
9	двор	2,07	36	рейд	3,04
10	день	4,35	37	рысь	37,59
11	дюза	0,71	38	сажа	-0,11
12	жало	1,01	39	село	7,67
13	жюри	10,86	40	тема	1,39
14	заря	2,78	41	тире	8,13
15	змея	5,49	42	трос	20,48
16	игра	0,59	43	угол	6,88
17	изюм	12,14	44	узел	4,67
18	июнь	20,85	45	факт	2,93
19	камп	2,30	46	флаг	0,24
20	киви	1,24	47	фтор	22,21
21	клен	4,07	48	хаос	3,89
22	лава	-0,39	49	хвоя	10,80
23	лань	3,01	50	цель	13,35
24	луна	2,50	51	часы	6,35
25	мама	0,00	52	шелк	8,29
26	марш	3,49	53	этюд	25,59
27	миля	12,64	54	ящур	46,36

Выводы

В данной статье показано каким образом можно подойти к решению проблемы исследования вероятностной природы смыслов и изучению соответствующих смысловых феноменов. Предлагаемый подход основан на вероятностной оценке группы слов, содержащих смысл, по отношению к аналогичной группе бессмысленных слов. Это может позволить разработать системы оценки смыслового содержания в оцифрованных словах и предложить соответствующие шкалы измерений.

Специфическое различие между смысловыми и бессмысленными объектами связано со скрытыми вероятностными особенностями, которые существуют в двух качественно разных группах слов. Для того, чтобы систематизировать существующие группы объектов по факту наблюдаемых статистических закономерностей необходимо выделить некоторый простой класс как основу для всех относительных сравнений, своего рода эталонный класс объектов. Для этого при формировании группы бессмысленных слов использовано понятие хаотических систем – группы однородных объектов, которые отличаются независимыми и равновероятными состояниями. Такие объекты имеют равномерные распределения значений параметров и обладают самыми простыми статистическими закономерностями. Распределения вероятностей состояний для таких систем будут определяться размерностью фазового пространства и диапазонами изменения значений переменных состояния (значениями оцифрованных букв) и могут быть заданы в каждом конкретном случае с применением имитационных моделей.

Если использовать такие системы как эталоны при сравнении между собой различных групп слов (слов с различным количеством букв), то возможна оценка смыслового содержания объектов по факту их сложности.

Полученные результаты указывают на возможность построения измерительных шкал, позволяющих количественно оценить смысловое содержание слов.

Список литературы

1. Налимов В.В. Вероятностная модель языка. О соотношении естественных и искусственных языков. 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Наука, 1979. – 303 с.
2. Feldman R, Sanger J. 2007. Text Mining Handbook: Advanced Approaches in Analyzing Unstructured Data. New York, Cambridge University Press, 391 p.
3. Gaikwad S., Chaugule A., Patil P. 2014. Text Mining Methods and Techniques. International Journal of Computer Applications, Volume 85, no 17: 42–45.
4. Fast A., Miner G., Elder J., Delen D., Hill T., Nisbet R. 2012. Practical Text Mining and Statistical Analysis for Non-structured Text Data Applications. Elsevier Inc., Academic Press, 1045 p.
5. Налимов В.В. Спонтанность сознания. Вероятностная теория смыслов и смысловая архитектура личности. – М.: Прометей, 1989. – 288 с.
6. Событие и смысл: Синергетический опыт языка / Отв. ред.: Л.П. Киященко, П.Д. Тищенко. – М.: ИФРАН, 1999. – 279 с.

7. Аверин Г.В., Константинов И.С., Звягинцева А.В. О континуальном подходе к модельному представлению данных // Вестник компьютерных и информационных технологий, №10. 2016. – С. 47–52. URL: <http://www.vkit.ru/index.php/archive-rus/541-047-052> (30.03.17).
8. Аверин Г.В. Системодинамика. Донецк: Донбасс, 2014. – 405 с. URL: <http://dSPACE.bsu.edu.ru/handle/123456789/17840> (30.03.17).
9. Звягинцева А.В. Вероятностные методы комплексной оценки природно-антропогенных систем / Под ред. проф. Г.В. Аверина, 2016. – М.: Спектр. – 257 с. URL: <http://dSPACE.bsu.edu.ru/handle/123456789/17837> (30.03.17).
10. Аверин Г.В., Звягинцева А.В. О справедливости принципа соответственных состояний для систем различной природы // Научные ведомости Белгородского государственного университета. Сер. Экономика. Информатика №16(265), вып. 43. 2017. – С. 104–112. URL: <http://dSPACE.bsu.edu.ru/handle/123456789/21056> (29.03.17).
11. Averin G.V., Zviagintseva A.V., Shevtsova M.V. and Kurtova L.N. 2017. On Representation of Discrete Information of Temporal Databases in the Continuous Form. Journal of Engineering and Applied Sciences. Vol. 12. Issue 15: 3884–3889, DOI: 10.3923/jeasci.2017.3884.3889.
12. Аверин Г.В. О некоторых феноменологических закономерностях биологической жизни // Системный анализ и информационные технологии в науках о природе и обществе, №1(10)–2(11). 2016. – С. 11–31. URL: <http://sait.csm.donntu.org/> (28.03.17).
13. Рейхенбах Г. Направление времени. – М.: Едиториал УРСС. 2003. – 360 с.
14. Рейхенбах Г. Философия пространства и времени: Пер. с англ. / Общ. Ред. А.А. Логинова и Ю.Б. Молчанова. Изд. 3-е. – М.: Книжный дом «Либроком», 2009. – 320 с.
15. Аверин Г.В. О принципе существования и законе возрастания энтропии в свете общесистемных представлений системодинамики // Системный анализ и информационные технологии в науках о природе и обществе, №1(8)–2(9). 2015. – С. 12 – 42. URL: <http://sait.csm.donntu.org/> (28.03.17).
3. Gaikwad S., Chaugule A., Patil P. 2014. Text Mining Methods and Techniques. International Journal of Computer Applications, Volume 85, no 17: 42 – 45.
4. Fast A., Miner G., Elder J., Delen D., Hill T., Nisbet R. 2012. Practical Text Mining and Statistical Analysis for Non-structured Text Data Applications. Elsevier Inc., Academic Press, 1045 p.
5. Nalimov V.V. Spontannost' soznaniya. Verojatnostnaja teorija smyslov i smyslovaja arhitektonika lichnosti [Spontaneity of consciousness. Probabilistic theory of meanings and semantic architectonics of personality]. Moscow, Prometej, 1989, 288 p. (in Russian).
6. Sobytie i smysl: Sinergeticheskij opyt jazyka [Event and meaning: a Synergistic experience of the language] / Otv. red.: L.P.Kijashhenko, P.D.Tishhenko. Moscow, IFRAN, 1999, 279 p. (in Russian).
7. Averin G.V., Konstantinov I.S., Zviaginceva A.V. O kontinual'nom podhode k model'nomu predstavleniju dannyh [On the Continual Approach to the Model Data Presentation]. Vestnik komp'juternyh i informacionnyh tehnologij, no 10. 2016: 47–52. Available at: <http://www.vkit.ru/index.php/archive-rus/541-047-052> (accessed March 30, 2017). (in Russian).
8. Averin G.V. Sistemodinamika [Systemdynamics]. Doneck, Donbass, 2014, 405 p. Available at: <http://dSPACE.bsu.edu.ru/handle/123456789/17840> (accessed March 28, 2017). (in Russian).
9. Zviaginceva A.V. Verojatnostnye metody kompleksnoj ocenki prirodno-antropogennyh system [Probabilistic Methods of a Complex Assessment of Natural and Anthropogenic Systems] / Pod nauch. red. d.t.n., prof. G.V. Averina, 2016, Moscow, Spektr, 257 p. Available at: <http://dSPACE.bsu.edu.ru/handle/123456789/17837> (accessed March 30, 2017). (in Russian).
10. Averin G.V., Zviaginceva A.V. O spravedlivosti principa sootvetstvennyh sostojanij dlja sistem razlichnoj prirody [On justice of the principle of corresponding conditions for various systems]. Nauchnye vedomosti Belgorodskogo gosudarstvennogo universiteta. Ser. Jekonomika. Informatika, no 16(265). Issue 43. 2017: 104–112. Available at: <http://dSPACE.bsu.edu.ru/handle/123456789/21056> (accessed March 29, 2017). (in Russian).
11. Averin G.V., Zviagintseva A.V., Shevtsova M.V. and Kurtova L.N. 2017. On Representation of Discrete Information of Temporal Databases in the Continuous Form. Journal of Engineering and Applied Sciences Vol. 12. Issue 15: 3884–3889, DOI: 10.3923/jeasci.2017.3884.3889.
12. Averin G.V. O nekotoryh fenomenologicheskikh zakonomernostjakh biologicheskoi zhizni [On some phenomenological regularities of biological life] // Sistemnyj analiz i informacionnye

References (transliteration)

1. Nalimov V.V. Verojatnostnaja model' jazyka. O sootnoshenii estestvennyh i iskusstvennyh jazykov [Probabilistic model of language. On the relationship between natural and artificial languages]. Issue 2, pererab. i dop. Moscow, Nauka, 1979, 303 p. (in Russian).
2. Feldman R, Sanger J. 2007. Text Mining Handbook: Advanced Approaches in Analyzing Unstructured Data. New York, Cambridge University Press, 391 p.

- tehnologii v naukah o prirode i obshhestve, no (10)–2(11). 2016: 11–31. Available at: <http://sait.csm.donntu.org/> (accessed March 30, 2017). (in Russian).
13. Rejhenbah G. Napravlenie vremeni [Direction of time]. Moscow, Editorial URSS. 2003, 360 p. (in Russian).
14. Rejhenbah G. Filosofija prostranstva i vremeni [Philosophy of space and time]: Per. s angl. / Obshh. Red. A.A. Loginova i J.B. Molchanova. Issue 3. Moscow, Knizhnyj dom “Librokom”, 2009, 320 p. (in Russian).
15. Averin G.V. O principe sushhestvovaniya i zakone vozrastaniya jentropii v svete obshhesistemnyh predstavlenij sistemodinamiki [On the principle of existence and the law of increase of entropy in the context of general-system representations of a system dynamics]. Sistemnyj analiz i informacionnye tehnologii v naukah o prirode i obshhestve, no 1(8)–2(9). 2015: 12–42. Available at: <http://sait.csm.donntu.org/> (accessed March 28, 2017). (in Russian).

Аверін Г.В. «Про ймовірнісну природу смислів в дискретних мовних одиницях». На практичному прикладі аналізу лінгвістичних даних показана можливість вивчення ймовірнісної природи смислів слів в російській мові. Запропонований підхід засновано на статистичному аналізі групи слів, що містять смисл, по відношенню до аналогічної групи безглузвих слів. Для вирішення задачі сформовано багатовимірний фазовий простір оцифрованих слів, де послідовності букв алфавіту поставлена у відповідність послідовності цілих чисел. Це дозволило представити безліч існуючих слів, як зі смислом, так і без нього, у вигляді математичних об'єктів. Слова зі смислом взято з філологічного словника, безглузді слова сформовано за допомогою генераторів випадкових чисел з рівномірним розподілом. При оцінці ймовірнісної природи смислів запропоновано використовувати об'єктивні критерії у вигляді ймовірностей подій і, зокрема, статистичну ймовірність положення слова як багатовимірної точки в заданому обсязі фазового простору. Дана ймовірність знаходиться алгоритмічно, виходячи з безпосереднього підрахунку ймовірності спільних подій одночасного спостереження оцифрованих значень букв. У процесі аналізу встановлено специфічну відмінність між смисловими і безглуздими мовними одиницями, що пов'язано з прихованими ймовірносними особливостями, які існують в двох однорідних, але якісно різних групах слів. Отримано статистичні розподіли для досліджуваних груп об'єктів. Запропонований метод дає можливість розробити системи оцінки смислів в цифрованих словах і запропонувати відповідні шкали для семантичних вимірів.

Ключові слова: семантика, слова, ймовірнісна оцінка смислів, системи порівняння смислових феноменів

Averin G.V. “On the stochastic nature of meanings in the discrete language units”. The possibility of studying the stochastic nature of the meanings of words in the Russian language is shown on the practical example of the analysis of linguistic data. The proposed approach is based on a statistical analysis of a group of words containing meaning in relation to a similar group of meaningless words. To solve the problem, a multidimensional phase space of digitized words is formed, where the sequence of letters of the alphabet is put in correspondence with the sequence of integers. This made it possible to present many existing words, both with and without meaning, in the form of digital mathematical objects. Words with meaning are taken from the philological dictionary, meaningless words are formed by random number generators with uniform distribution. When assessing the probabilistic nature of meanings, it is proposed to use objective criteria in the form of event probabilities, for which the statistical probability of the word position as a multidimensional point in a given volume of phase space is used. This probability is found algorithmically, based on the direct calculation of the probability of joint events of simultaneous observation of the values of the digitized letters. In the process of analysis, a specific difference between semantic and meaningless linguistic units was established, which is associated with hidden probabilistic features and laws that exist in two homogeneous, but qualitatively different groups of words. Statistical distributions for the studied groups of objects are obtained. The proposed method makes it possible to develop a system for assessing the meaning content in digitized words and propose appropriate scales for semantic measurements.

Keywords: semantics, words, probabilistic evaluation of meanings, systems of comparison of semantic phenomena.

Статья поступила в редакцию 31.03.2017
Рекомендована к публикации проф. А.Я. Аноприенко

Эконометрические шкалы и критерии для комплексной оценки развития регионов

Звягинцева А.В.^{1,2}, Михайлова А.А.²

¹Донецкий национальный технический университет

²Белгородский государственный национальный исследовательский университет
anna_zv@ukr.net, mikhajlovaangela@yandex.ru

Звягинцева А.В., Михайлова А.А. «Эконометрические шкалы и критерии для комплексной оценки развития регионов». Статья посвящена построению эконометрических шкал и разработке критериев для комплексной оценки развития социально-экономических объектов, и, в частности, стран, регионов и городов. Основная идея работы связана с изучением возможности создания социо-эколого-экономических моделей, отличающихся описанием состояний объектов (геометрических точек) и их процессов (кривых) в многомерных пространствах состояний на основе имеющихся статистических данных. Построение моделей основывается на использовании принципа соответственных состояний, согласно которому положения объектов в многомерных пространствах состояний могут быть описаны одним уравнением, если построить эффективную шкалу для сравнения состояний объектов между собой. Для получения шкал для комплексных измерений предложено использовать различные меры схожести. Это дает возможность построить несколько шкал для сравнения состояний объектов между собой и выбрать наиболее качественное уравнение состояния. Используя общую измерительную шкалу, можно в одном пространстве состояний для разных объектов получить функции комплексного индекса, зависящие от времени и характеризующие процессы развития объекта по совокупности показателей. В статье также показано, что изучение особенностей устойчивого развития стран, регионов и городов может быть выполнено методом кластерного анализа данных с последующим построением предложенных комплексных измерительных шкал. Для сравнения объектов используется опорный вектор развития, который строится для контрольной группы объектов, являющихся наиболее развитыми по показателям достижения целей устойчивого развития. В прикладном плане разработаны измерительные шкалы для оценки состояния и развития регионов, а также критерии, характеризующие устойчивость их развития. Полученные критерии основаны на относительном сравнении вектора развития каждого региона с опорным вектором развития контрольной группы регионов. В качестве примера приведен сравнительный анализ развития 80 регионов России по 13 показателям, характеризующим устойчивое социо-эколого-экономическое развитие.

Ключевые слова: страны, регионы и города; устойчивое развитие; эконометрические шкалы и критерии комплексной оценки; многомерное пространство состояний; опорный вектор; модели группового развития объектов.

Введение

Концепция Устойчивого развития совершенствуется уже почти три десятилетия. Однако следует отметить, что за этот период в области теоретических подходов был достигнут крайне незначительный прогресс. Используемые теории и модели в основном предполагают применение экспертных методов и простых комплексных оценок.

Общепринятое понятие устойчивого развития изложено в Декларации Генеральной Ассамблеи ООН [1]. Под устойчивым развитием понимается развитие, которое способствует процветанию и расширению экономических возможностей, повышению уровня благосостояния и защите окружающей среды.

С 1987 года, когда появилась первая формулировка устойчивого развития [2], и до настоящего времени, концепция устойчивого развития остается популярной и красивой идеей. Данная концепция излагается на качественном уровне без определенной конкретики, которая позволяла бы создавать количественные модели устойчивого развития анализируемых объектов.

Целью данной работы является разработка эконометрических шкал и критериев для комплексной оценки развития стран, регионов и городов, позволяющих сформировать представления о векторе устойчивого развития как отдельных объектов, так и групп однородных объектов.

В последние годы стремительно развивается область систематических исследований, основанных

на применении естественных и физических методов в экономических и социальных науках [3–9]. В этих методах на первое место выходят данные, определяющие весь ход исследования и построения модели.

Методология комплексной оценки развития сложных объектов

Будем считать, что положение каждого социально-экономического объекта определяется совокупностью значений его показателей, которые формируются в определенный момент времени. Для описания положения объекта относительно всех остальных объектов изучаемого класса будем использовать естественнонаучное понятие пространства состояний – абстрактное пространство, образуемое переменными состояниями. В качестве переменных состояния примем для социо-эконометрического анализа показатели, которые считаются значимыми среди экспертов и которые характеризуют изучаемые объекты в определенном аспекте.

Пусть для n социально-экономических объектов (стран, регионов или городов) имеются статистические данные для значений показателей z_1, z_2, \dots, z_n , которые будем считать переменными состояниями. Сформируем n -мерное пространство состояний в виде декартовой системы координат.

Основная идея работы связана с изучением возможности создания моделей, отличающихся описанием геометрических точек (состояний) и линий (процессов) в многомерных пространствах состояний социально-экономических объектов на основе имеющейся статистической информации. Моделирование основано на гипотезе существования различных мер схожести состояний объектов $W = W(z_1, z_2, \dots, z_n)$ [10–16]. Данная величина рассматривается как функция нескольких переменных.

Построение моделей основывается на применении принципа соответственных состояний [10], согласно которому положения объектов в пространстве состояний могут быть описаны одним уравнением состояния, если построить эффективную шкалу для сравнения состояний между собой и использовать некоторые приведенные переменные. Обычно уравнение состояния представляется в виде: $F(z_1/z_{1_0}, z_2/z_{2_0}, \dots, z_n/z_{n_0}) = 0$, где z_{k_0} – значения показателей для опорного состояния. При таком подходе объект моделирования – это состояния объектов, которые могут характеризоваться общим уравнением, справедливым для всего многомерного пространства состояний.

Для построения уравнения состояния из группы объектов, выбирается опорный объект или опорное состояние, и все остальные

состояния соотносятся с выбранной точкой в пространстве состояний. Справедливость принципа в каждом конкретном случае проверяется по имеющимся данным.

Принцип соответственных состояний позволяет построить шкалу для относительного сравнения положения объектов между собой, в виде некоторого индекса θ [10]. В целом содержание разработанного метода заключается в следующем. Выберем некий линейный эталонный процесс l_0 для некоторого объекта и на нем отметим опорное состояние M_0 . На линии данного процесса отмечаем второе опорное состояние M'_0 . Первое опорное состояние может соответствовать начальному времени сбора данных статистических наблюдений, например, как в нижеприведенном примере, 2012 году, а второе опорное состояние – последнему году сбора данных, например, 2015 году. Полученный отрезок делим на заданное количество одинаковых интервалов, например, 100, и устанавливаем длину полученных отрезков σ , исходя из принятой меры сходства состояний объектов W . Далее из начала координат проводим луч OM_0 и находим длину отрезка OM_0 в принятой системе измерений величины W . Шкалу измерений для состояний объектов формируем в виде некоторого индекса θ применительно к лучу OM_0 с единицей измерения σ , при этом длина отрезка OM_0 в данной шкале составит $\theta_0 = OM_0/\sigma$. Для определенности зададим соответствующую единицу измерения величины θ в виде градуса ($^\circ T$), который геометрически будет равен длине σ . Более наглядно система построения шкалы индекса θ по отношению к опорному состоянию и эталонному процессу представлена на рисунке 1 в работе [17, стр. 16].

Используя различные меры схожести W , в полученной шкале можно измерить каждое состояние в градусах индекса θ . Таким образом, индекс θ в целом характеризует состояния объектов и является эмпирической мерой для их измерения. Это основной критерий для определения положения стран, регионов и городов по совокупности различных социально-экономических показателей в многомерном пространстве состояний.

Длины отрезков в пространстве состояний, имеющем евклидову метрику, можно определять исходя из евклидова расстояния:

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

где a и b – начало и конец некоего отрезка ab .

Теперь для описания статистических данных можно искать модель группового развития объектов в виде уравнения состояния [10]:

$$\theta = f(z_1/z_{1_0}, z_2/z_{2_0}, \dots, z_n/z_{n_0}). \quad (2)$$

Аналогичным образом, используя различные меры схожести, можно построить несколько различных шкал для сравнения состояний объектов между собой. Выбор наиболее качественного уравнения позволит получить и оптимальную шкалу для социо-эконометрических измерений.

Для различных периодов времени, используя общую шкалу эконометрических измерений, можно в одном пространстве состояний получить для разных объектов различные значения комплексного индекса θ , как функции времени. Это позволит изучать не только состояния, но и процессы развития объектов.

Показатели устойчивого развития. Сегодня для целей устойчивого развития используется 247 индикаторов, рекомендованных ООН, 47 индикаторов, предложенных Всемирным банком, и 35 национальных индикаторов, которые рекомендуются к применению Госстатом России [18–20].

Для примера из перечня 35 национальных индикаторов для комплексной оценки устойчивого развития регионов России [20] выбрано 13 показателей, которые были скомпонованы в две группы. В группу, которая характеризует социально-экономическую устойчивость развития регионов отнесены:

- валовый региональный продукт на душу населения, руб/чел, z_{1s} ;
- среднедушевые денежные доходы населения, руб, z_{2s} ;
- средний размер назначенных пенсий, руб, z_{3s} ;
- объем перевозок грузов железнодорожным и автомобильным транспортом, тыс. тонн/чел, z_{4s} ;
- объем экспорта, пересчитанный по курсу доллара, руб/чел, z_{5s} ;
- объем импорта, пересчитанный по курсу доллара, руб/чел, z_{6s} ;
- объем работ, выполненных по видам экономической деятельности «Строительство», руб/чел, z_{7s} .

Данная группа по отношению к регионам компоновалась по принципу «чем больше значение показателя, тем лучше».

В группу, характеризующую экологическую устойчивость развития регионов отнесены:

- инвестиции в основной капитал, направленные на охрану окружающей среды, руб/чел, z_{8s} ;
- выбросы загрязняющих атмосферу веществ, отходящих от стационарных и передвижных источников, кг/чел, z_{9s} ;
- забор воды из природных водных объектов, м³/чел, z_{10s} ;
- сброс загрязненных сточных вод в поверхностные водные объекты, м³/чел, z_{11s} ;

- энергоемкость ВРП, кг условного топлива на 10 тыс. руб., z_{12s} .

- младенческая смертность, число детей, умерших в возрасте до 1 года на 1000 родившихся, z_{13s} .

Группа показателей экологической устойчивости развития регионов компоновалась по принципу «чем меньше значение показателя, тем лучше».

Данные по указанным выше показателям собирались за период 2012–2015 гг. для 80 регионов России. Изучение особенностей устойчивого развития регионов осуществлялось методом кластерного анализа данных с последующим построением социо-эконометрических шкал для сравнения состояний объектов. Кластеризация проводилась методом k -средних с применением программы Statistica отдельно для групп показателей, характеризующих социально-экономическую и экологическую устойчивость развития регионов. Методика кластеризации предполагала использование метода ближайшего соседа, где в качестве меры кластеризации использовалось евклидово расстояние. Изучаемые показатели предварительно стандартизировались путем приведения их к виду: $z_k^{st} = (z_k - z_k^{sr}) / \sigma_k$, где z_k^{sr} – среднее значение k -того показателя, σ_k – среднеквадратичное отклонение. Для анализа социально-экономической устойчивости использовались приведенные выше семь показателей z_{1s}, \dots, z_{7s} , для анализа экологической устойчивости – шесть показателей z_{8s}, \dots, z_{13s} . Число кластеров определялось методом иерархической кластеризации в программном продукте Statistica путем построения дендрограмм.

Кластеризация регионов по данным наблюдений значений показателей социально-экономической устойчивости позволила выделить три группы регионов. Характеристика областей кластеризации по стандартизированным показателям приведена в таблице 1.

Первый кластер содержал 7 регионов, второй 26 и третий 47 регионов:

- первый кластер – города Москва и Санкт-Петербург, Тюменская и Томская области, Республика Саха (Якутия), Сахалинская область и Чукотский автономный округ;

- второй кластер – Белгородская, Калужская, Липецкая, Московская области, Республика Карелия, Республика Коми, Архангельская, Вологодская, Калининградская, Ленинградская, Мурманская, Новгородская области, Республика Татарстан, Пермский край, Самарская, Свердловская области, Республика Алтай, Республика Хакасия, Красноярский край, Иркутская, Кемеровская, Томская области, Камчатский край, Приморский край, Хабаровский край, Амурская область;

- третий кластер – все оставшиеся регионы России.

Таблица 1. – Характеристика областей кластеризации по стандартизированным показателям социально-экономической устойчивости

Кластеры	Статистики	Стандартизированные показатели						
		z_{1s}	z_{2s}	z_{3s}	z_{4s}	z_{5s}	z_{6s}	z_{7s}
Первый кластер	Среднее значение	2,668	2,433	2,076	0,4	1,737	1,077	2,426
	Среднеквадратичное отклонение	1,467	1,077	1,455	1,684	2,782	1,849	1,343
Второй кластер	Среднее значение	0,128	0,204	0,344	0,700	0,155	0,274	0,249
	Среднеквадратичное отклонение	0,330	0,644	0,847	1,104	0,403	1,290	0,571
Третий кластер	Среднее значение	-0,468	-0,475	-0,499	-0,450	-0,344	-0,312	-0,499
	Среднеквадратичное отклонение	0,248	0,430	0,271	0,416	0,162	0,221	0,345

Из таблицы 1 видно, что для регионов, входящих в первый кластер, наблюдаются высокие показатели социально-экономической устойчивости, так как из семи показателей кластеризации шесть имеют самые высокие средние. Данные регионы в контексте всей страны в целом можно рассматривать в качестве примеров устойчивого социально-экономического развития.

Кластеризация регионов по данным наблюдений значений показателей экологической устойчивости позволила также выделить три группы регионов:

- первый кластер (12 регионов) – Липецкая область, Республика Карелия, Республика Коми, Архангельская, Вологодская, Мурманская

области, Пермский край, Тюменская, Челябинская области, Красноярский край, Иркутская и Кемеровская области;

- второй кластер (12 регионов) – Костромская, Тверская, Ленинградская области, Республика Дагестан, Республика Ингушетия, Карачаево-Черкесская Республика, Республика Северная Осетия-Алания, Чеченская Республика, Республика Тыва, Республика Хакасия, Еврейская автономная область, Чукотский автономный округ;

- третий кластер (56 регионов) – все оставшиеся регионы России.

Характеристика областей кластеризации по показателям экологической устойчивости приведена в таблице 2.

Таблица 2. – Характеристика областей кластеризации по стандартизированным показателям экологической устойчивости

Кластеры	Статистики	Стандартизированные показатели					
		z_{8s}	z_{9s}	z_{10s}	z_{11s}	z_{12s}	z_{13s}
Первый кластер	Среднее значение	1,190	1,656	0,156	1,500	0,934	-0,391
	Среднекв. отклонение	1,911	1,496	0,567	1,442	1,564	0,338
Второй кластер	Среднее значение	-0,506	-0,217	1,133	-0,376	0,602	1,509
	Среднекв. отклонение	0,162	0,743	2,158	0,643	1,158	1,439
Третий кластер	Среднее значение	-0,147	-0,308	-0,276	-0,240	-0,329	-0,240
	Среднекв. отклонение	0,560	0,416	0,278	0,601	0,547	0,641

Из приведенных данных видно, что регионы, входящие в первый и второй кластеры, имеют низкие показатели экологической устойчивости. Из многочисленной группы

регионов третьего кластера по значениям экологических показателей было отобрано 12 регионов, которые можно рассматривать как регионы устойчивого экологического развития в

контексте всей страны в целом: Белгородская, Воронежская, Ивановская, Курская, Тамбовская, Кировская, Пензенская, Курганская, Новосибирская области, Республика Мордовия, Удмуртская Республика, Чувашская Республика.

Таким образом, на основе результатов кластерного анализа данных сформировано две контрольные группы регионов, которые выделены по показателям социально-экономической и экологической устойчивости.

Критерии комплексной оценки

Критерии для сравнения регионов по показателям устойчивого развития в многомерном пространстве состояний основаны на выборе опорных векторов.

Если взять две контрольные группы регионов и усреднить их значения показателей для 2012 и 2015 годов, то в пространстве состояний можно построить векторы, характеризующие в целом направления наиболее устойчивого развития для всей группы из 80 регионов России за данный период времени.

В связи с тем, что показатели имеют различную размерность и разные значения чисел, анализ будем проводить по стандартизированным значениям показателей:

$$z_k^{st} = (z_k - z_k^{sr}) / \sigma_k.$$

Сформируем опорный вектор \vec{F}_{1s} социально-экономической устойчивости регионов. Для этого вектора опорное состояние M_0 соответствует наблюдаемым значениям показателей z_{1s0}, \dots, z_{7s0} в 2012 году. Второе опорное состояние M'_0 для данного вектора соответствует наблюдаемым значениям показателей z_{1s*}, \dots, z_{7s*} выбранной группы из 7 регионов в 2015 году. По этим данным находим модуль вектора $|\vec{F}_{1s}|$ и делим его на 100 одинаковых частей. Это дает возможность установить длину отрезка σ как безразмерную единицу социо-эконометрической шкалы для сравнения регионов между собой, которая составила 0,01398.

Аналогичным образом сформируем второй опорный вектор \vec{F}_{2y} экологической устойчивости регионов. Для этого вектора первое опорное состояние M_0 соответствует значениям показателей z_{8s0}, \dots, z_{13s0} в 2012 году, а второе опорное состояние M'_0 для данных 2015 года – z_{8s*}, \dots, z_{13s*} . Находим модуль вектора $|\vec{F}_{2s}|$ и делим его на 100 одинаковых частей и устанавливаем длину отрезка $\sigma = 0,00976$, как единицу социо-эконометрической шкалы для сравнения регионов между собой по экологической устойчивости.

Векторы устойчивости, заданные по выделенным небольшим контрольным группам регионов, которые будем рассматривать в качестве примеров устойчивого развития в контексте всей страны в целом, можно использовать для формирования критериев комплексной оценки. При этом значение модуля вектора будем использовать в качестве одного из таких критериев. На его основе создадим соответствующую социо-эконометрическую шкалу. Измерения по этой шкале позволят сравнивать регионы России между собой.

Индекс θ , как мера схожести состояний, будет находиться по длине вектора, характеризующего развитие каждого региона в определенный период времени, например, в 2012–2015 годах. Данный индекс определяет уровень устойчивого развития региона по отношению к опорному вектору, который характеризует наиболее развитую группу регионов в этом отношении.

Следует отметить, что вектор \vec{F}_s может характеризоваться не только длиной, но и направлением развития в пространстве состояний объектов. Поэтому вторым критерием устойчивого развития региона по отношению к наиболее развитой группе регионов может выступать угол φ между опорным вектором и вектором развития региона.

Чем меньше угол φ , тем больше направление развития анализируемого региона соответствует по показателям устойчивости приоритетному развитию наиболее развитой контрольной группы.

Третьим критерием может выступать, например, проекция вектора развития каждого региона на опорный вектор, измеренная в шкале θ .

Сравнение регионов России по показателям устойчивого развития

Выполним комплексную оценку социально-экономической и экологической устойчивости регионов по приведенным выше показателям достижения целей устойчивого развития. Будем использовать методику комплексной оценки развития социально-экономических объектов, приведенную ранее. В таблице 3 дано сравнение регионов России по совокупности показателей, на основе созданных шкал социально-экономической и экологической устойчивости.

Как видно из полученных данных, в пятерку регионов, имеющих по удельным показателям (отнесенным к численности населения) высокий уровень социально-экономической устойчивости входят Сахалинская, Белгородская, Калининградская области, Республика Алтай, Тюменская область.

Таблица 3. – Сравнение регионов России по комплексу показателей социально-экономической и экологической устойчивости

Субъекты Российской Федерации	Значения величины θ , °Г		Ранг региона в группе	
	Социально- экономическая устойчивость	Экологическая устойчивость	Социально- экономическая устойчивость	Экологическая устойчивость
Сахалинская область	598,28	64,47	1	33
Белгородская область	499,37	40,17	2	15
Калининградская область	432,99	81,90	3	44
Республика Алтай	262,08	44,70	4	16
Тюменская область	259,12	312,50	5	77
г. Москва	214,16	17,56	6	3
г. Санкт-Петербург	206,95	61,39	7	30
Калужская область	171,79	90,35	8	52
Смоленская область	141,46	32,22	11	7
Ленинградская область	138,76	89,10	13	51
Иркутская область	135,33	79,95	14	41
Приморский край	134,48	339,31	15	78
Оренбургская область	120,21	90,45	18	53
Краснодарский край	113,41	9,22	20	1
Самарская область	85,86	33,25	24	9
Московская область	81,37	53,90	25	22
Республика Татарстан	78,96	58,02	27	25
Ростовская область	76,13	54,27	28	23
Воронежская область	70,75	35,40	32	11
Вологодская область	70,34	154,75	33	69
Красноярский край	69,11	93,76	34	55
Архангельская область	68,91	60,22	35	28
Новосибирская область	68,28	33,26	36	10
Кемеровская область	67,86	107,42	37	59
Волгоградская область	65,51	180,31	38	71
Курская область	60,94	81,05	43	43
Тульская область	45,91	80,30	48	42
Саратовская область	45,63	82,25	49	45
Нижегородская область	44,96	10,60	50	2
Владимирская область	39,51	108,49	53	60
Астраханская область	34,46	132,55	57	66
Алтайский край	30,38	36,94	59	14
Пермский край	29,52	292,63	60	75
Ивановская область	29,26	48,15	61	17
Ульяновская область	24,01	60,88	66	29
Ставропольский край	19,75	32,42	72	8
Омская область	19,69	64,26	73	32
Томская область	16,99	115,29	75	61
Рязанская область	16,09	74,56	77	39
Кировская область	13,55	69,06	78	35
Чувашская Республика	11,91	68,16	79	34
Тверская область	6,42	273,13	80	74

Значение величины θ для принятых опорных векторов развития равно 100.

В свою очередь, в пятерку регионов, имеющих по удельным показателям высокий уровень экологической устойчивости входят Краснодарский край, Нижегородская область, город Москва, Свердловская область и Кабардино-Балкарская Республика. Нахождение

Москвы в данной группе объясняется значительным количеством населения (12,3 млн. чел.) и тем, что при комплексной оценке рассматривались удельные показатели экологической устойчивости (отнесенные к количеству населения).

Выводы и перспективы

На выше представленном примере показано, что изучение особенностей устойчивого развития стран, регионов и городов может быть выполнено методом кластерного анализа данных с последующим построением эконометрических шкал для сравнения состояний объектов между собой по совокупности показателей. Для сравнения объектов предложено использовать опорный вектор развития, который строится для контрольной группы объектов, которые являются наиболее развитыми по показателям достижения целей устойчивого развития.

Все это позволяет предложить социо-эконометрические шкалы для оценки развития регионов, а также критерии, характеризующие их устойчивость развития, которые основаны на относительном сравнении вектора развития каждого региона с опорным вектором развития контрольной группы регионов.

Список литературы

1. Преобразование нашего мира: Повестка дня в области устойчивого развития на период до 2030 года. – Электр. ресурс. URL: <https://sustainabledevelopment.un.org/index.php?menu=2361> (05.04.17).
2. Report of the World Commission on Environment and Development: Our Common Future. Available at: <https://docplayer.net/9698-Report-of-the-world-commission-on-environment-and-development-our-common-future.html> (accessed 5 apr 2017).
3. Encyclopedia of complexity and systems science / R.A. Meyers (Editor-in-chief). Berlin, Springer, 2009, 10370 p.
4. Econophysics and sociophysics: trends and perspectives / B.K. Chakrabarti, A. Chakraborti, A. Chatterie (eds.). Berlin, Wiley-VCH, 2006, 622 p.
5. Mathematical modeling of collective behavior in socio-economic and life sciences / G. Naldi, L. Pareschi, G. Toskani (eds.). Berlin, Springer, 2010, 438 p.
6. The dynamics of complex urban systems. An interdisciplinary approach / S. Albeverio et al. (eds.). Berlin, Springer, 2007, 504 p.
7. Вайдлих В. 2010. Социодинамика: Системный подход к математическому моделированию в социальных науках. Пер. с англ. Изд.3. М.: Либроком, 480 с.
8. Словохотов Ю.Л. 2012. Физика и социофизика. Ч. 1–3. Проблемы управления, №1: 2–20, №2: 2–31, №3: 2–34.
9. Lillo F. 2008. Econophysics and the challenge of efficiency. Complexity. Vol. 14, no 3: 39–54.
10. Аверин Г.В., Звягинцева А.В. О справедливости принципа соответственных состояний для систем различной природы // Научные ведомости Белгородского государственного университета. Сер. Экономика. Информатика №16(265), вып. 43. 2017. – С. 104–112. URL: <http://dspace.bsu.edu.ru/handle/123456789/21056> (05.04.17).
11. Звягинцева А.В. Вероятностные методы комплексной оценки природно-антропогенных систем / Под ред. проф. Г.В. Аверина, 2016. – М.: Спектр. – 257 с. URL: <http://dspace.bsu.edu.ru/handle/123456789/17837> (05.04.17).
12. Averin G.V., Zviagintseva A.V., Shevtsova M.V. and Kurtova L.N., 2017. On Representation of Discrete Information of Temporal Databases in the Continuous Form. Journal of Engineering and Applied Sciences. Vol. 12. Issue 15: 3884–3889, DOI: 10.3923/jeasci.2017.3884.3889.
13. Averin G.V., Zviagintseva A.V., Shevtsova M.V. and Kurtova L.N., 2016. Probabilistic methods of a complex assessment of quantitative information. Research Journal of Applied Sciences, 11(7): 415–418.
14. Звягинцева А.В. Методика событийной оценки и результаты ранжирования стран, регионов и городов по комплексу показателей // Системный анализ и информационные технологии в науках о природе и обществе. 2016, №1(10)–2(11) – С. 147–184.
15. Аверин Г.В. Системодинамика. – Донецк: Донбасс, 2014. – 405 с. URL: <http://dspace.bsu.edu.ru/handle/123456789/17840> (05.04.17).
16. Аверин Г.В., Константинов И.С., Звягинцева А.В. 2016. О континуальном подходе к модельному представлению данных // Вестник компьютерных и информационных технологий, 10: 47–52.
17. Аверин Г.В. О некоторых феноменологических закономерностях биологической жизни // Системный анализ и информационные технологии в науках о природе и обществе. 2016, №1(10)–2(11) – С. 11–31.
18. United Nations Sustainable Development Knowledge Platform. Available at: <https://sustainabledevelopment.un.org> (accessed 5 apr 2017).
19. The Little Green Data Book 2006. Word Bank, Washington DC, 2006, 256 p.
20. Данные по показателям достижения целей устойчивого развития Российской Федерации. – [Электронный ресурс]: офиц. сайт. URL: http://www.gks.ru/free_doc/new_site/m-sotrudn/CUR/cur_main.htm (05.04.17).

References (transliteration)

1. Preobrazovanie nashego mira: Povestka dnja v oblasti ustojchivogo razvitija na period do 2030 goda [Transforming our world: the 2030 Agenda for Sustainable Development]. Available at: <https://sustainabledevelopment.un.org/index.php?menu=2361> (accessed 5 apr 2017).
2. Report of the World Commission on Environment and Development: Our Common Future. Available at: <https://docplayer.net/9698-Report-of-the-world-commission-on-environment-and-development-our-common-future.html> (accessed 5 apr 2017).
3. Encyclopedia of complexity and systems science / R.A. Meyers (Editor-in-chief). Berlin, Springer, 2009, 10370 p.
4. Econophysics and sociophysics: trends and perspectives / B.K. Chakrabarti, A. Chakraborti, A. Chatterie (eds.). Berlin, Wiley-VCH, 2006, 622 p.
5. Mathematical modeling of collective behavior in socio-economic and life sciences / G. Naldi, L. Pareschi, G. Toskani (eds.). Berlin, Springer, 2010, 438 p.
6. The dynamics of complex urban systems. An interdisciplinary approach / S. Albeverio et al. (eds.). Berlin, Springer, 2007, 504 p.
7. Vajdlil V. 2010. Sociodinamika: Sistemnyj podhod k matematicheskomu modelirovaniju v social'nyh naukah [Sociodynamics a Systematic Approach to Mathematical Modelling in the Social Sciences]. Per. s angl. Issue 3. Moscow, Librokom, 480 p. (in Russian).
8. Slovohtov J.L. 2012. Fizika i sociofizika [Physics and social physics]. Ch. 1–3. Problemy upravlenija, no 1: 2–20, no 2: 2–31, no 3: 2–34. (in Russian).
9. Lillo F. 2008. Econophysics and the challenge of efficiency. Complexity. Vol. 14, no 3: 39–54.
10. Averin G.V., Zviagitseva A.V. O spravedlivosti principa sootvetstvennyh sostojanij dlja sistem razlichnoj prirody [On justice of the principle of corresponding conditions for various systems]. Nauchnye vedomosti Belgorodskogo gosudarstvennogo universiteta. Ser. Jekonomika. Informatika. 2017, no 16. Issue 43: 104–112. Available at: <http://dspace.bsu.edu.ru/handle/123456789/21056> (accessed 5 apr 2017). (in Russian).
11. Zviagitseva A.V. Verojatnostnye metody kompleksnoj ocenki prirodno-antropogennyh sistem [Probabilistic Methods of a Complex Assessment of Natural and Anthropogenic Systems] / Pod red. prof. G.V. Averina, 2016. Moscow, Spektr, 257 p. Available at: <http://dspace.bsu.edu.ru/handle/123456789/17837> (accessed 5 apr 2017). (in Russian).
12. Averin G.V., Zviagitseva A.V., Shevtsova M.V. and Kurtova L.N., 2017. On Representation of Discrete Information of Temporal Databases in the Continuous Form. Journal of Engineering and Applied Sciences. Vol. 12. Issue 15: 3884–3889, DOI: 10.3923/jeasci.2017.3884.3889.
13. Averin G.V., Zviagitseva A.V., Shevtsova M.V. and Kurtova L.N., 2016. Probabilistic methods of a complex assessment of quantitative information. Research Journal of Applied Sciences, 11(7): 415–418.
14. Zviagitseva A.V. Metodika sobytijnoj ocenki i rezul'taty ranzhirovanija stran, regionov i gorodov po kompleksu pokazatelej [Events evaluation Methodic and the countries, regions and cities ranking results on a set of indicators] // Sistemnyj analiz i informacionnye tehnologii v naukah o prirode i obshhestve, no 1(10)–2(11). 2016: 147–184. (in Russian).
15. Averin G.V. Sistemodinamika [Systemdynamics]. Donetsk, Donbass. 2014, 405 p. Available at: <http://dspace.bsu.edu.ru/handle/123456789/17840> (accessed 5 apr 2017). (in Russian).
16. Averin G.V., Konstantinov I.S., Zviagitseva A.V. 2016. O kontinual'nom podhode k model'nomu predstavleniju dannyh [On the Continual Approach to the Model Data Presentation]. Vestnik komp'juternyh i informacionnyh tehnologij, 10: 47–52. (in Russian).
17. Averin G.V. O nekotoryh fenomenologicheskikh zakonmernostjakh biologicheskoy zhizni [On some phenomenological regularities of biological life] // Sistemnyj analiz i informacionnye tehnologii v naukah o prirode i obshhestve. 2016, no (10)–2(11): 11–31. (in Russian).
18. United Nations Sustainable Development Knowledge Platform. Available at: <https://sustainabledevelopment.un.org> (accessed 5 apr 2017).
19. The Little Green Data Book 2006. Word Bank, Washington DC, 2006, 256 p.
20. Dannie po pokazateljam dostizhenija celej ustojchivogo razvitija Rossijskoj Federacii [Data on indicators of achievement of the sustainable development goals of the Russian Federation]. Available at: http://www.gks.ru/free_doc/new_site/m-sotrudn/CUR/cur_main.htm (accessed 5 apr 2017). (in Russian).

Звягинцева Г.В., Михайлова А.О. «Эконометричні шкали та критерії для комплексної оцінки розвитку регіонів». Стаття присвячена побудові економітричних шкал і розробці критеріїв для комплексної оцінки розвитку соціально-економічних об'єктів, і, зокрема, країн, регіонів і міст. Основна ідея роботи пов'язана з вивченням можливості створення соціо-еколого-економічних моделей, які відрізняються описом станів об'єктів (геометричних точок) і їхніх процесів (кривих) в багатовимірних просторах станів на основі наявних статистичних даних. Побудова моделей базується на використанні принципу відповідних станів, згідно з яким положення об'єктів в багатовимірних просторах станів може бути описано одним рівнянням, якщо побудувати ефективну шкалу для порівняння станів об'єктів між собою. Для отримання шкал для комплексних вимірювань запропоновано використовувати різні міри схожості. Це дає можливість побудувати кілька шкал для порівняння станів об'єктів між собою та вибрати найбільш якісне рівняння стану. Використовуючи загальну вимірювальну шкалу, можна в одному просторі станів для різних об'єктів отримати функції комплексного індексу, які залежать від часу та характеризують процеси розвитку об'єкта за сукупністю показників. У статті також показано, що вивчення особливостей сталого розвитку країн, регіонів і міст може бути виконано методом кластерного аналізу даних з наступною побудовою запропонованих комплексних вимірювальних шкал. Для порівняння об'єктів використовується опорний вектор розвитку, що будується для контрольної групи об'єктів, які є найбільш розвиненими за показниками досягнення цілей сталого розвитку. У прикладному плані розроблено вимірювальні шкали для оцінки стану та розвитку регіонів, а також критерії, які характеризують стійкість їхнього розвитку. Отримані критерії засновані на відносному порівнянні вектора розвитку кожного регіону з опорним вектором розвитку контрольної групи регіонів. Як приклад, наводиться порівняльний аналіз розвитку 80 регіонів Росії за 13 показниками, які характеризують стійкий соціо-еколого-економічний розвиток.

Ключові слова: країни, регіони і міста; стійкий розвиток; економітричні шкали та критерії комплексної оцінки; багатовимірний простір станів; опорний вектор; моделі групового розвитку об'єктів.

Zviagintseva A.V., Mikhailova A.A. "The econometric scales and criteria for the comprehensive assessment of regionals development". The article is devoted to the construction of the econometric scales and the development of criteria for a comprehensive assessment of the development of socio-economic objects, and in particular, countries, regions and cities. The main idea of the work is related to the study of the possibility of creating socio-ecological and economic models, which differ in the description of the equipment status (geometric points) and their processes (curves) in multidimensional state spaces on the basis of available statistical data. The construction of models is based on the use of the principle of corresponding states, according to which the positions of objects in multidimensional state spaces can be described by one equation, if you build an effective scale for comparing the states of objects with each other. To obtain scales for complex measurements, it is proposed to use different measures of similarity. This makes it possible to build several scales to compare the States of objects among themselves and choose the most qualitative equation of state. It is possible in the same state space for different objects to obtain the functions of a complex index if its se a common measuring scale, time-dependent and characterizing the processes of development of the object on a set of indicators. The article also shows that the study of the features of sustainable development of countries, regions and cities can be performed by the method of cluster data analysis followed by the construction of the proposed complex measurement scales. To compare objects use reference vector of development, which is built to control groups of objects, which is the most developed in terms of achieving sustainable development goals. In terms of the application of the developed measurement scales to assess the status and development of the regions, as well as the criteria, characterizing sustainability of their development. The obtained criteria are based on the relative comparison of the vector of development of each region with the reference vector of development of the control group of regions. As an example, a comparative analysis of the development of 80 regions of Russia on 13 indicators characterizing sustainable socio-ecological and economic development.

Keywords: countries, regions and cities; sustainable development; econometric scales and criteria for comprehensive assessment; multi-dimensional state space; support vector; models of group development objects.

Стаття поступила в редакцію 17.04.2017
Рекомендована к публикации д-ром техн. наук Г.В. Авериньм

Раздел 2

Прикладной системный анализ и моделирование

Плоские колебания вибрационной машины с шарниром Гука в трансмиссии центробежного вибропривода

Беловодский В.Н., Букин С.Л.

Донецкий национальный технический университет
v.belovodskiy@gmail.com, s.bukin08@gmail.com

Беловодский В.Н., Букин С.Л. «Плоские колебания вибрационной машины с шарниром Гука в трансмиссии центробежного вибропривода». В работе выполнен анализ известных подходов к формированию полигармонических колебаний в вибромашинах. В качестве одного из новых способов предложено использовать шарнир Гука с несоосным расположением ведущего и ведомого валов в приводе трансмиссии. Данное предложение основано на известном обстоятельстве, состоящем в том, что при таком соединении вращение ведомого вала становится неравномерным даже при равномерном вращении ведущего. Рассмотрена одномассовая машина с инерционным приводом такого типа и плоскими перемещениями рабочего органа, отмечен неперриодический характер колебаний и, путем численного моделирования в среде Matlab, выполнен их анализ при угле разворота валов, равном $\pi/4$. На «стационарном» участке движения выделен участок «почти-периодичности» движений рабочего органа, определен их спектральный состав, путем наложения графиков продемонстрирована адекватность полученных разложений, проведено построение траектории рабочего органа. Определены особенности колебаний вибрационных машин с таким приводом, отмечены их достоинства и недостатки.

Ключевые слова: *вибрационная машина, вибровозбудитель, дебаланс, привод, трансмиссия, шарнир Гука, соосность валов, математическая модель, рабочий орган, плоские колебания, моделирование, траектория.*

Введение

Процессы гомогенизации и диспергирования широко используются в пищевой, химической, металлургической и других отраслях промышленности. Анализ современного состояния техники и технологических режимов перемешивания, разрыхления, сушки, измельчения сыпучих пищевых и других продуктов показал перспективность применения вибрационных тепломассообменных установок [1, 2]. При определенных условиях использование вибрации может обеспечить псевдооживление сыпучих материалов, что является эффективным направлением снижения энергоёмкости рабочих процессов. Виброоживленный и виброкипящий слой позволяет улучшить перемешивание материала и тем самым в несколько раз повысить значения коэффициентов тепло- и массообмена [3–5].

Одним из перспективных направлений повышения технологической эффективности работы вибрационных тепломассообменных установок является использование полигармонических колебаний рабочего органа. Такие колебания положительно влияют на процессы теплообмена твёрдых зёрен (частиц) с жидкостью или газом, что, в конечном счёте, приводит к существенному увеличению скорости протекания и стабильности

технологических операций, таких как смешивание, сушка, нагрев, охлаждение, промывка, дегазация, экстракция, диспергирование [6]. Поэтому, поиск эффективных способов формирования полигармонических вибраций и разработка новых типов вибрационных машин, их реализующих, является важной задачей в различных отраслях промышленности.

Анализ выполненных работ

К числу традиционных способов формирования полигармонических колебаний в вибрационных машинах относится использование полигармонических вибровозбудителей. К этой группе можно отнести динамические (центробежные и планетарные), кинематические, гидравлические, пневматические, электромагнитные и электродинамические вибровозбудители. Преимущественное распространение из них получили дебалансные благодаря простоте конструкции, невысокой стоимости, возможности достижения большой величины относительной возбуждающей силы, широком диапазоне частоты вибровозбуждения и низкой чувствительности к изменениям внешних воздействий. К их недостаткам можно отнести сложность независимого регулирования амплитуды и частоты вынуждающей силы, длительность переходного процесса при выбеге и сравнительно небольшой ресурс работы.

К прогрессивно развивающимся направлениям можно отнести использование в вибрационных машинах эффектов нелинейных систем, что позволяет при чисто гармоническом возбуждении генерировать полигармонические вибрации рабочих органов. Широкие возможности по этой части предоставляют сложные (суб- и супергармонические) резонансы, возбуждение которых имеет место в нелинейных системах при определенных соотношениях параметров. К основополагающим результатам в этом направлении следует отнести создание супергармонического привода, реализующего неравномерность вращения дебалансов (И.И. Быховский), разработку нелинейных асимметричных вибромашин резонансного типа (Б.И. Крюков, Л.М. Литвин, Е.А. Логвиненко), субгармонических транспортирующих машин с электромагнитным приводом (М.В. Хвингия). Заметная роль в изучении вибрационных эффектов нелинейных систем принадлежит, также, учёным Рижской школы вибротехники (группа С.Л. Цыфанского).

Авторы статьи продолжают эти исследования. В результате выполненных работ [7–11] установлена возможность генерирования полигармонических колебаний в многомассовых вибромашинах, однако выявлен ряд проблем, связанный с формированием заданной нелинейной характеристики упругой связи подвижных масс. Был проведен анализ нелинейных свойств упругих элементов, выполненных на базе постоянных магнитов или при использовании фасонных стальных пружин [12, 13]. И, несмотря на возможность их применения в конструкциях вибромашин, реализующих суб- и супергармонические резонансы, авторов не удовлетворила сложность технических решений, трудоёмкость изготовления и, соответственно, их стоимость. Поэтому и в настоящее время продолжают поиски более простых конструктивных вариантов, которые могли бы быть использованы при создании новых и модернизации серийно выпускаемых вибромашин. В этой связи, внимание авторов привлекла одна из особенностей универсального шарнира Гука. Так, несоосное соединение ведомого и ведущего валов через один шарнир Гука вызывает неравномерные вращения ведомого вала даже в том случае, когда вращение ведущего вала вполне равномерно. Эта зависимость описывается соотношением [14–16]

$$\dot{\varphi}(t) = \frac{\omega \cdot \cos \beta}{1 - \sin^2 \beta \cdot \cos^2(\alpha t)}, \quad (1)$$

где ω и $\dot{\varphi}$ – угловые скорости ведущего и ведомого валов, соответственно; β – угол разворота валов; t – время.

В работе [14] рассмотрена математическая модель одномассовой машины такого типа с однонаправленными перемещениями рабочего органа, проведен анализ неравномерности вращения дебалансного вала при развороте ведущего и ведомого валов. Результаты оправдывают продолжение исследований в данном направлении.

Цель работы

Состоит в рассмотрении плоских колебаний инерционной вибромашины с шарниром Гука в трансмиссии привода при несоосном соединении валов.

Основная часть

Расчётная динамическая схема вибрационной машины приведена на рисунке 1. При формировании ее математической модели были приняты традиционные, для вибрационной техники, допущения: упругие связи являются линейными, колеблющиеся массы абсолютно твёрдыми, а электродвигатель вибровозбудителя имеет неограниченную мощность. Введём обозначения: m^* – масса колеблющихся частей вибромашин; c_z , c_x – коэффициенты жёсткости упругих элементов вдоль осей Z и X соответственно (далее, полагаем $c_z = c_x$); b_z , b_x – коэффициенты вязких сопротивлений виброизоляторов; m_0 , r – масса и эксцентриситет неуравновешенных частей дебалансного вибровозбудителя соответственно. Согласно гипотезе вязкого трения [17] коэффициенты приняты равными $b_z = b_x = \mu \cdot c_x$, где μ – коэффициент неупругих сопротивлений материала упругих связей.

Динамика плоских движений рабочего органа вибрационной машины, при этих допущениях, описывается системой уравнений

$$\begin{cases} m\ddot{x} + c_x(\mu\dot{x} + x) = -m\gamma \cdot \left(\frac{\cos \beta}{1 - \sin^2 \beta \cdot \cos^2 \alpha t} \omega \right)^2 \cdot \sin \left(\frac{\cos \beta}{1 - \sin^2 \beta \cdot \cos^2 \alpha t} \alpha t \right) \\ m\ddot{z} + c_z(\mu\dot{z} + z) = -m\gamma \cdot \left(\frac{\cos \beta}{1 - \sin^2 \beta \cdot \cos^2 \alpha t} \omega \right)^2 \cdot \cos \left(\frac{\cos \beta}{1 - \sin^2 \beta \cdot \cos^2 \alpha t} \alpha t \right) \end{cases} \quad (2)$$

где $m = m^* + m_0$; ω – угловая скорость вращения вала электродвигателя привода вибровозбудителя в рабочем (стационарном) режиме; β – угол разворота ведомого вала относительно ведущего в плоскости XOZ (рис. 1).

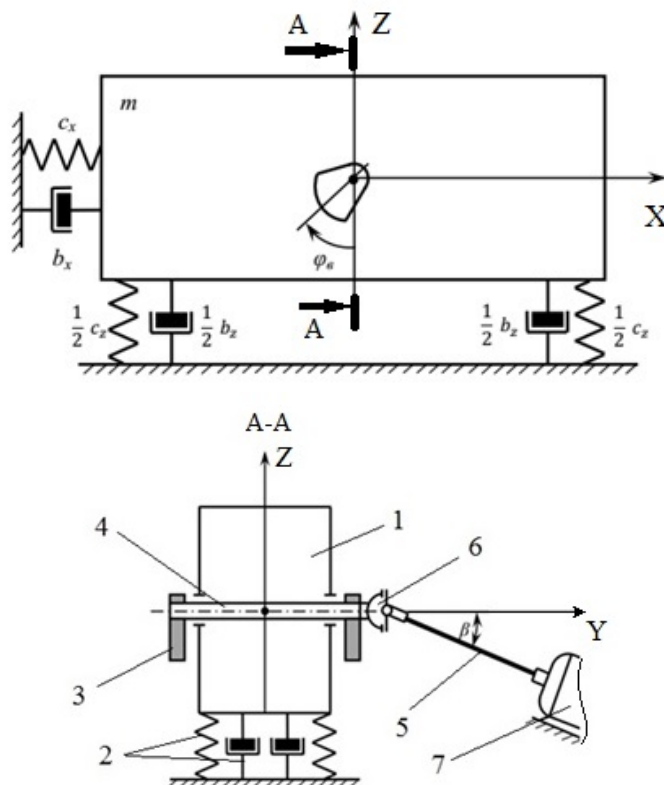


Рисунок 1. – Расчётная динамическая схема вибромашины:

- 1 – рабочий орган вибромашины; 2 – упругие опоры (подвеска); 3 – дебаланс вибровозбудителя;
4 – вал вибровозбудителя; 5 – приводной вал; 6 – универсальный шарнир (шарнир Гука);
7 – электродвигатель

Приведём систему (2) к безразмерной форме. С этой целью, разделим каждое из уравнений на m и перейдём к дифференцированию по безразмерному времени $\tau = p_0 \cdot t$, где $p_0 = (c_x/m)^{1/2}$ – собственная частота системы. Далее, приняв $x = \Delta \cdot \xi$, $z = \Delta \cdot \zeta$ ($\Delta = 10^{-3}$ м), разделив уравнения на $\Delta \cdot p_0^2$ и, обозначив $\eta = \omega/p_0$, $\varepsilon = m_0 \cdot r \cdot \eta^2 / (m \cdot \Delta)$, получим

$$\begin{cases} \xi'' + v\xi' + \xi = -\varepsilon \cdot \left(\frac{\cos \beta}{1 - \sin^2 \beta \cdot \cos^2 \eta \tau} \right)^2 \cdot \sin \left(\frac{\eta \cos \beta}{1 - \sin^2 \beta \cdot \cos^2 \eta \tau} \tau \right) \\ \zeta'' + v\zeta' + \zeta = -\varepsilon \cdot \left(\frac{\cos \beta}{1 - \sin^2 \beta \cdot \cos^2 \eta \tau} \right)^2 \cdot \cos \left(\frac{\eta \cos \beta}{1 - \sin^2 \beta \cdot \cos^2 \eta \tau} \tau \right) \end{cases} \quad (3)$$

Значения параметров примем равными $v=0,1$, $\varepsilon=54$, $\eta=3$, что соответствует вибромашинам технологического назначения, а угол разворота валов $\beta = \pi/4$. Временной промежуток исследуемой области выберем равным $\tau \in [0, 400]$, что с запасом обеспечивает установление режима при соосном соединении валов ($\beta=0$), а начальные условия при интегрировании системы (3) будем считать нулевыми, т.е. полагаем $\xi(0) = \xi'(0) = 0$, $\zeta(0) = \zeta'(0) = 0$.

Анализ системы уравнений (3) проведем путем численного моделирования в среде

Matlab с использованием функции ode45, реализующей одношаговый метод Рунге-Кутты 4-5-го порядка точности. Предварительные сравнительные расчеты, выполненные многошаговым методом Адамса-Башфорта-Моултона, реализованного в функции ode113, показали близкие результаты и поэтому выбор был остановлен на методе Рунге-Кутты, как более быстродействующем. Шаг интегрирования в обоих случаях был принят равным $\Delta \tau = 0,01$. Приближенный спектральный анализ колебаний выполнен с использованием процедуры ifft, реализующей обратное преобразование Фурье. Суть этой методики заключается в следующем.

На первом этапе проводится численное решение системы (3) и на «стационарном» участке движения рабочего органа выделяется временной промежуток $[\tau, \tau+T]$, на котором происходит «замыкание» фазовых траекторий, т.е. выполняется $\xi(\tau) \approx \xi(\tau+T)$, $\xi'(\tau) \approx \xi'(\tau+T)$, $\zeta(\tau) \approx \zeta(\tau+T)$, $\zeta(\tau) \approx \zeta(\tau+T)$. Значение T , в этом случае, принимается в качестве «почти-периода» колебаний и на промежутке $[\tau, \tau+T]$, затем, проводится приближенный спектральный анализ перемещений рабочего органа и определяются гармонические составляющие его закона движения. При этом малые гармоники не

рассматриваются и учитываются лишь те из них, амплитуды которых составляют не менее 3% от наибольшей. Далее, по результатам спектрального анализа формируется описание режима движения в виде усечённого ряда Фурье, его мы будем называть «восстановленным», и адекватность «восстановленного» режима численному расчёту качественно оценивается наложением графиков. Не вдаваясь в детали выполнения спектрального анализа отметим, что в системе Matlab предполагается комплексная форма представления ряда Фурье, т.е.

$$\xi(\tau) = \sum_{n=-N}^N c_n e^{in\omega\tau}, \text{ где } c_n = \bar{c}_{-n},$$

а переход к традиционной тригонометрической форме, т.е. к виду

$$\xi(\tau) = \sum_{n=-N}^N A_n \cos(n\omega\tau - \varphi_n),$$

может быть осуществлён по соотношениям

$$A_n = 2\sqrt{c_n c_{-n}},$$

$$\varphi_n = \begin{cases} \arccos \frac{2 \cdot \operatorname{Re}(c_n)}{A_m(n)}, & \operatorname{Im}(c_n) > 0 \\ -\arccos \frac{2 \cdot \operatorname{Re}(c_n)}{A_m(n)}, & \operatorname{Im}(c_n) < 0 \end{cases}.$$

Перейдем к полученным результатам.

В данном случае, в качестве промежутка «периодичности» был выбран промежуток $\tau \in [354, 47, 372, 28]$, «почти-период» колебаний составил $T=17,81$. Согласно выполненного спектрального анализа, закон горизонтальных перемещений рабочего органа на этом участке, с точностью до малых гармоник, описывается выражением

$$\xi(\tau) = 0,0547 \cos(2\eta\tau + 2,5237) + 0,1456 \cos(3\eta\tau + 2,3043) + 0,0420 \cos(4\eta\tau + 1,6293) + 0,7637 \cos(5\eta\tau - 3,0511) + 0,2341 \cos(6\eta\tau - 2,7989) + 0,0564 \cos(11\eta\tau + 2,7164) + 0,0891 \cos(12\eta\tau - 0,0299) + 0,0251 \cos(22\eta\tau + 0,0278), \quad (4)$$

где $\eta_1 = 2\pi/T \approx 0,3528$.

Результат его наложения на численный расчёт представлен на рисунке 2а (i – номер точки на промежутке $\tau \in [354, 47, 372, 28]$) и он свидетельствует о вполне адекватном соответствии, достигнутом при разложении. Отметим, что наиболее весомы в спектре горизонтальных перемещений третья, пятая и шестая гармонические составляющие, из них наибольшей является пятая, две другие составляют не более 30% от неё.

Аналогичным образом, был выполнен и анализ вертикальных перемещений рабочего органа. Заметим, что уравнения системы (3) не связаны и допускают независимое рассмотрение. Разложение Фурье закона вертикальных перемещений описывается следующим выражением:

$$\zeta(\tau) = 0,0225 \cos(\eta\tau - 2,7220) + 0,0670 \cos(2\eta\tau - 0,8153) + 0,2468 \cos(3\eta\tau - 0,0630) + 0,0683 \cos(4\eta\tau + 0,9412) + 0,7470 \cos(5\eta\tau + 1,7096) + 0,2084 \cos(6\eta\tau - 1,0811) + 0,0687 \cos(11\eta\tau + 1,2633) + 0,0964 \cos(12\eta\tau + 1,5245) + 0,0232 \cos(22\eta\tau - 1,5542). \quad (5)$$

Наложение восстановленного режима на результат численного расчёта представлен на рисунке 2б и также демонстрирует адекватность полученного результата. Траектория рабочего органа вибрационной машины на этом же временном участке, построенная уже по разложению (4), (5) представлена на рисунке 3.

В качестве анализа результатов отметим наличие близких доминирующих гармоник в законах горизонтальных и вертикальных перемещений. Таковыми являются составляющие с частотами $(3 \div 6)\eta_1$, напомним, что скорость вращения вала двигателя составляет $\eta=3$. Таким образом, в данном случае реализуются субгармонические, по отношению к вращению вала, колебания. Обращает на себя внимание, также, и существенное снижение полуразмахов колебаний. Так, при соосном соединении валов амплитуда как горизонтальных, так и вертикальных колебаний составляет $\varepsilon/(\eta^2-1) = 54/8 = 6,75$ мм, в то время как при величине $\beta = \pi/4$, – немногим более 1 мм (рис. 2а, 2б и 3).

Заключение

Шарнир Гука широко используется в трансмиссии вибрационных машин для надёжной передачи крутящего момента при колебаниях рабочего органа с большой амплитудой, в частности, в момент прохождения резонанса при разгоне и выбеге двигателя. Известно, что в таком виброприводе изменение угла разворота валов влечёт неравномерное вращение ведомого вала даже при постоянной угловой скорости вращения ведущего вала. Проведенное исследование позволило получить более полное представление об уровне полигармонических колебаний вибрационных машин при несоосном соединении валов в приводе возбудителя колебаний. В частности, следует отметить существенное усиление вклада высших гармоник в частотный спектр колебаний рабочего органа при одновременном снижении их интенсивности, выражаемое в уменьшении полуразмахов его колебаний. Обращает, также, на себя внимание нетиповая траектория движения исполнительного органа, что позволяет прогнозировать повышение технологической эффективности некоторых типов вибрационных машин. Окончательные акценты, в части целесообразности использования такого подхода для формирования полигармонических колебаний, можно расставить лишь после проведения эксперимента.

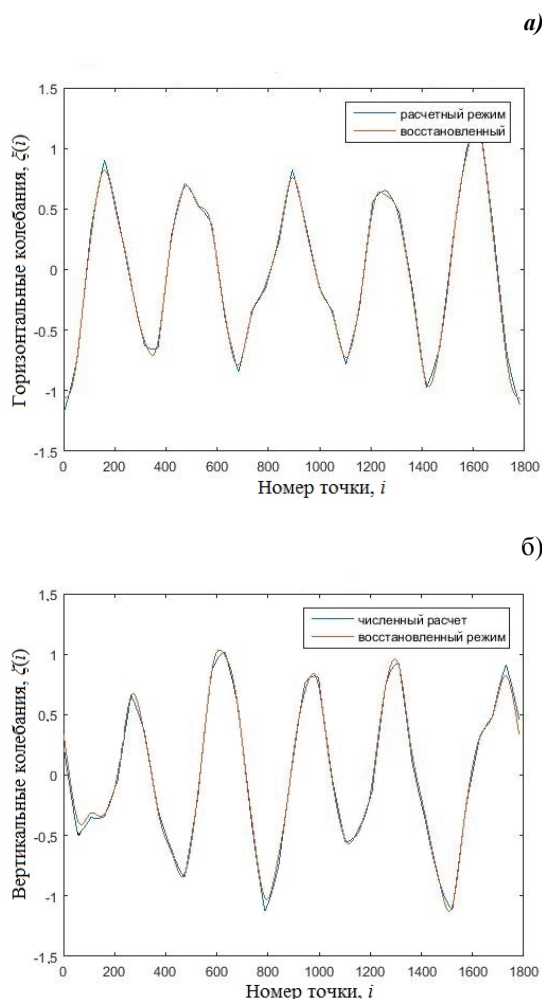


Рисунок 2. – Наложение численного расчета перемещений рабочего органа вибромашины и результатов его гармонического анализа на временном участке $\tau \in [354, 47, 372, 28]$:

а – горизонтальные колебания;
б – вертикальные колебания

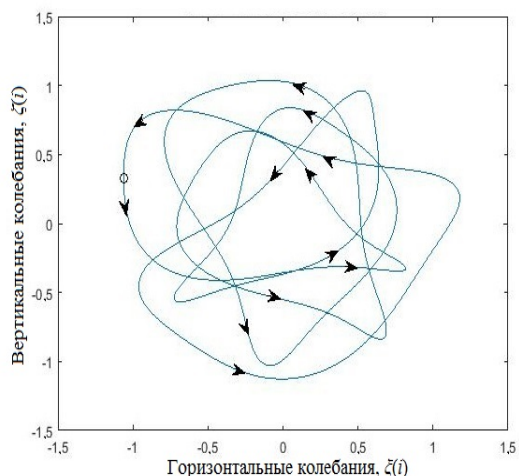


Рисунок 3. – Траектория рабочего органа вибромашины на временном участке $\tau \in [354, 47, 372, 28]$

Список литературы

1. Лаптев А.Г. Методы интенсификации и моделирования теплообменных процессов / А.Г. Лаптев, Н.А. Николаев, М.М. Башаров. – М.: Теплотехник, 2011. – 355 с.
2. Оробинская В.Н. Разработка малоотходной технологии экстрагирования биологически активных веществ из плодово-ягодного сырья методом низкочастотного вибрационного воздействия / В.Н. Оробинская, О.Н. Писаренко // Международный научно-исследовательский журнал. Выпуск №7(38). Ч. 2. 2015. – С. 117–122.
3. Членов В.А. Виброкипящий слой / В.А. Членов, Н.В. Михайлов. – М.: Наука, 1972. – 326 с.
4. Тепломассообмен и вибрация / Под общ. ред. В.Ф. Приснякова. – Одесса: Нептун-Технология, 2001. – 208 с.
5. Бандура В.М. Обоснование конструкции вибрационной сушилки для подсолнечника / В.М. Бандура, М.Ф. Друкованый, И.А. Зозуляк // Харчова наука і технологія, №3(20). 2012. – С. 91–94.
6. Букин С.Л. Сравнение результатов процесса измельчения в вибрационной мельнице с гармоническим и бигармоническим режимами работы / С.Л. Букин, П.В. Сергеев, А.С. Букина // Качество минерального сырья: сб. науч. тр. – Кривой Рог. 2014. – С. 149–159.
7. Belovodskiy V.N. Combination Resonances and Their Bifurcations in the Nonlinear Vibromachines with a Polynomial Characteristic of Restoring Force and Periodic Excitation / V.N. Belovodskiy, M.Y. Sukhorukov // Vibration Problems ICOVP 2011. The 10th Internat. Conf. on Vibration Problems, Series: Springer Proceedings in Physics, Vol. 139, Springer Science+Business Media, 2011: 235–240.
8. Belovodskiy V.N. Nonlinear Antiresonance Vibrating Screen / V.N. Belovodskiy, S.L. Bukin, M.Y. Sukhorukov // Advances in Mechanisms Design / Proceeding of TMM 2012 / Springer, London, 2012: 167–173.
9. Belovodskiy V.N., Bukin S.L., Sukhorukov M.Y., Babakina A.A. 2015. 2:1 Superharmonic Resonances in Two-Masses Vibrating Mashines // Journal of vibrational engineering and technologies. Vol 3, no 2: 123–135.
10. Belovodskiy V.N. Harmonic Balance Method and Combination Resonances in Nonlinear Systems with Polynomial Nonlinearities and Periodic Excitation / V.N. Belovodskiy, S.L. Bukin // Transactions on Electrical Engineering. Vol. 2. 2013, no 4: 121–125.
11. Беловодский В.Н. Возбуждение полигармонических колебаний в вибромашине с нелинейной упругой связью подвижных масс нового типа / В.Н. Беловодский, С.Л. Букин / Прогрессивные технологии и системы машиностроения: Междунар. сб. научных трудов. 2015. Вып. 1(51). – С. 32–41.

12. Belovodskiy V.N. To the question of forming biharmonic oscillations in the two masses nonlinear vibrating machines under ideal harmonic excitation / V.N. Belovodskiy, M.Y. Sukhorukov, S.L. Bukin // Наукові праці ДонНТУ. Серія «Проблеми моделювання та автоматизації проектування». 2013. №2(12)–2(13). – С. 43–54.
 13. Excitation of Polyharmonic Vibrations in Single-Body Vibration Machine with Inertia Drive and Elastic Clutch / S. Bukin, V. Kondrakhin, V. Belovodsky, V. Khomenko // Journal of Mining Sciences. 2014. Vol. 50, no 1: 101–107.
 14. Букин С.Л. Динамическая модель одномассовой вибромашины с карданным валом в трансмиссии дебалансного возбудителя колебаний / С.Л. Букин, А.С. Букина, В.В. Селиверстов // Прогресивні технології і системи машинобудування: Міжн. зб. наукових праць. – Донецьк: ДонНТУ. 2014. Вип. 4 (50). – С. 65–73.
 15. Кожевников С.Н. Теория механизмов и машин. – М.: Машиностроение, 1973. – 592 с.
 16. Проектирование трансмиссии автомобилей / Под общ. ред. А.И. Гришкевича. – М.: Машиностроение, 1984. – 272 с.
 17. Аснер В.И. Конструкции и расчёты фильтрующих центрифуг / В.И. Аснер, В.С. Каминский, Г.П. Ключко и др. – М.: Недра, 1976. – 216 с.
- References (transliteration)**
1. Laptev A.G. Metodyi intensifikatsii i modelirovaniya teploobmenniyh protsessov [Methods of intensification and modeling of heat exchange processes] / A.G. Laptev, N.A. Nikolaev, M.M. Basharov. Moscow, Teplotehnik, 2011, 355 p. (in Russian).
 2. Orobinskaya V.N. Razrabotka maloethodnoy tehnologii eksragirovaniya biologicheskii aktivnyih veschestv iz plodovo-yagodnogo syirya metodom nizkochastotnogo vibratsionnogo vozdeystviya [Development of low-waste technology of extraction of biologically active substances from fruit and berry raw materials by the method of low-frequency vibration exposure] / V.N. Orobinskaya, O.N. Pisarenko / Mezhdunarodnyy nauchno-issledovatel'skiy zhurnal. Issue 7(38). Chast 2. 2015: 117–122. (in Russian).
 3. Chlenov V.A. Vibrokipyaschiy sloy [Vibro Boil] / V.A. Chlenov, N.V. Mihaylov. Moscow, Nauka, 1972, 326 p. (in Russian).
 4. Teplomassoobmen i vibratsiya [Heat and Mass Transfer and Vibration] / Pod obsch. red. V.F. Prisnyakova. Odessa, Neptun-Tehnologiya, 2001, 208 p. (in Russian).
 5. Bandura V.M. Obosnovanie konstruktssii vibratsionnoy sushilki dlya podsolnechnika [Substantiation of the design of the vibration dryer for sunflower] / V.M. Bandura, M.F. Drukovanyiy, I.A. Zozulyak // Harchova nauka i tehnologiya. no 3(20). 2012: 91–94. (in Russian).
 6. Bukin S.L. Sravnenie rezultatov protsessa izmelcheniya v vibratsionnoy melnitse s garmonicheskimi i bigarmonicheskimi rezhimami raboty [Comparison of grinding process results in a vibratory mill with harmonic and biharmonic modes of operation] / S.L. Bukin, P.V. Sergeev, A.S. Bukina // Kachestvo mineralnogo syirya: sb. nauch. tr. Krivoy Rog. 2014: 149–159. (in Russian).
 7. Belovodskiy V.N. Combination Resonances and Their Bifurcations in the Nonlinear Vibromachines with a Polynomial Characteristic of Restoring Force and Periodic Excitation / V.N. Belovodskiy, M.Y. Sukhorukov // Vibration Problems ICOVP 2011. The 10th International Conference on Vibration Problems, Series: Springer Proceedings in Physics, Vol. 139, Springer Science Business Media, 2011: 235–240.
 8. Belovodskiy V.N. Nonlinear Antiresonance Vibrating Screen / V.N. Belovodskiy, S.L. Bukin, M.Y. Sukhorukov // Advances in Mechanisms Design / Proceeding of TMM 2012 / Springer, London, 2012: 167–173.
 9. Belovodskiy V.N., Bukin S.L., Sukhorukov M.Y., Babakina A.A. 2015. 2:1 Superharmonic Resonances in Two-Masses Vibrating Mashines // Journal of vibrational engineering and technologies. Vol 3, no 2: 123–135.
 10. Belovodskiy V.N. Harmonic Balance Method and Combination Resonances in Nonlinear Systems with Polynomial Nonlinearities and Periodic Excitation / V.N. Belovodskiy, S.L. Bukin // Transactions on Electrical Engineering. Vol. 2 (2013), no 4: 121–125.
 11. Belovodskiy V.N. Vozbuzhdenie poligarmonicheskikh kolebaniy v vibromashine s nelineynoy uprugoy svyazu podvizhnyih mass novogo tipa [Excitation of polyharmonic oscillations in a vibratory machine with a nonlinear elastic coupling of moving masses of a new type] / V.N. Belovodskiy, S.L. Bukin / Progressivnyie tehnologii i sistemy mashinostroeniya: Mezhdunar. sb. nauchnyih trudov. Donetsk, DonNTU. 2015. Issue 1(51): 32–41. (in Russian).
 12. Belovodskiy V.N. To the question of forming biharmonic oscillations in the two masses nonlinear vibrating machines under ideal harmonic excitation / V.N. Belovodskiy, M.Y. Sukhorukov, S.L. Bukin // Naukovi pratsi DonNTU. Seriya Problemi modelyuvannya ta avtomatizatsiyi proektuvannya. 2013, no 2(12)–2(13): 43–54.
 13. Excitation of Polyharmonic Vibrations in Single-Body Vibration Machine with Inertia Drive and Elastic Clutch / S. Bukin, V. Kondrakhin, V. Belovodsky and etc. // Journal of Mining Sciences. 2014. Vol. 50, no 1: 101–107.

14. Bukin S.L. Dinamicheskaya model odnomassovoy vibromashiny s kardannyim valom v transmissii debalansnogo vzbudatelya kolebaniy [Dynamic model of a single mass vibratory machine with a cardan shaft in the transmission of an unbalance exciter] / S.L. Bukin, A.S. Bukina, V.V. Seliverstov // Progresivni tehnologiyi i sistemi mashinobuduvannya: Mizhn. zb. naukovih prats. Donetsk, DonNTU. 2014. Issue 4(50): 65–73. (in Russian).
15. Kozhevnikov S.N. Teoriya mehanizmov i mashin [Theory of Mechanisms and Machines]. Moscow, Mashinostroenie, 1973, 592 p. (in Russian).
16. Proektirovanie transmissii avtomobiley [The design of the transmission of cars] / Pod obsch. red. A.I. Grishkevicha. Moscow, Mashinostroenie, 1984, 272 p. (in Russian).
17. Asner V.I. Konstruktsii i raschyoty filtryuschih tsentrifug [Constructions and calculations of filter centrifuges] / V.I. Asner, V.S. Kaminskiy, G.P. Klochko and etc. Moscow, Nedra, 1976, 216 p. (in Russian).

Беловодський В.М., Букін С.Л. «Плоскі коливання вібраційної машини з шарніром Гука в трансмісії відцентрового віброприводу». В роботі виконано аналіз відомих підходів до формування полігармонійних коливань у вібромашинах. В якості одного з нових способів запропоновано використовувати шарнір Гука з неспіввісним з'єднанням веденого та ведучого валів у приводі трансмісії. Зазначена пропозиція базується на відомому факті, який полягає в тому, що при неспіввісному з'єднанні в обертанні веденого валу стає нерівномірним навіть при рівномірному обертанні ведучого валу. Розглянута одномасова машина з інерційним приводом такого типу та плоскими переміщеннями робочого органу, відзначено неперіодичний характер коливань та, за допомогою чисельного моделювання в середовищі Matlab, виконано їхній аналіз при куті розвороту валів, рівному $\pi/4$. На «стаціонарній» ділянці руху виділена ділянка «майже-періодичності» рухів робочого органу, визначено їхній спектральний склад, шляхом накладення графіків продемонстрована адекватність отриманих розкладів, проведена побудова траєкторії робочого органу. Визначено особливості коливань вібраційних машин з таким приводом, відзначено їхні переваги і недоліки.

Ключові слова: вібраційна машина, віброзбудник, дебаланс, привод, трансмісія, шарнір Гука, співвісність валів, математична модель, робочий орган, плоскі коливання, моделювання, траєкторія.

Belovodskiy V.N., Bukin S.L. "Flat oscillations of a vibrating machine with Hooke's hinge in a transmission of a centrifugal vibration drive". In paper the known approaches to the forming of polyharmonic oscillations in vibrating machines were analyzed. As one of the new ways, it was proposed to use the Hooke hinge with non-axial arrangement of the driving and driven shafts in the transmission. This proposal was based on the well-known fact that with such a connection, the rotation of the driven shaft becomes uneven, even with a uniform rotation of the driving one. A single-mass machine with an inertial drive of this type and flat displacements of the working body was considered, the non-periodic character of oscillations was noted and by numerical simulation in Matlab their analysis was performed at the angle of the turning of the shafts equal to $\pi/4$. On the "stationary" part of the motion of the working body the area of "almost-periodicity" was allocated, spectral composition was determined, by overlaying the graphs the adequacy of the decompositions was demonstrated and the construction of the working body trajectory was carried out. This study allowed us to get a more complete picture concerning the level of polyharmonic oscillations of vibration machines when the shaft axes in the actuator of oscillations are misaligned by means single Hooke hinge. It should be noted the increase in the contribution of higher harmonics in the frequency spectrum of oscillations of the working body when increasing angle of the turning of the shafts.

Keywords: vibration machine, vibration exciter, unbalance, drive, transmission, Hooke's hinge, shaft alignment, mathematical model, working member, flat oscillations, modeling, trajectory.

Статья поступила в редакцию 06.04.2017
Рекомендована к публикации канд. физ.-мат. наук Г.Т. Климко

Особенности учета и обработки асинхронных событий в системах реального времени

Достлев Ю.С., Чередникова О.Ю.

Донецкий национальный технический университет
cs_yurij@donntu.org, olga.donntu@gmail.com

Достлев Ю.С., Чередникова О.Ю. «Особенности учета и обработки асинхронных событий в системах реального времени». Выполнен анализ параметрических особенностей асинхронных событий в составе систем реального времени. Рассмотрены возможные варианты форматов учета и представления параметров времени, как характеристик асинхронных событий. Предложены несколько форматов времени, содержание которых зависит от особенностей проблемных задач обработки асинхронных событий. Выделены два основных способа организации управления вызовов на исполнение задач обработки асинхронных событий в составе систем реального времени. Приведены типовые диаграммы управления обработкой асинхронных событий. Проведен анализ зависимости величины задержки вызова задачи обработки относительно иницилирующих сигналов асинхронных событий для каждого из способов управления вызовом задач обработки на исполнение. Рассмотрены достоинства и недостатки каждого из способов программной обработки асинхронных событий. На основе выполненного анализа предложен ряд критериев, позволяющих обоснованно назначать необходимые способы обработки для каждого из асинхронных событий системы реального времени, а также форматы параметра времени, учитывающих моменты возникновения этих событий.

Ключевые слова: система реального времени, асинхронные события, форматы параметра времени, решение задачи реального времени, задержка обработки состояний объекта, управление исполнением задач обработки асинхронных событий.

Введение

Решение задачи реального времени представляет собой некоторым образом организованную последовательность обработки событий, которые иницируются в соответствии с параметрами времени. Таким образом, в общем случае любой процесс реального времени при обработке его в вычислительной системе, то есть при решении задачи реального времени, может рассматриваться как событийная модель [1].

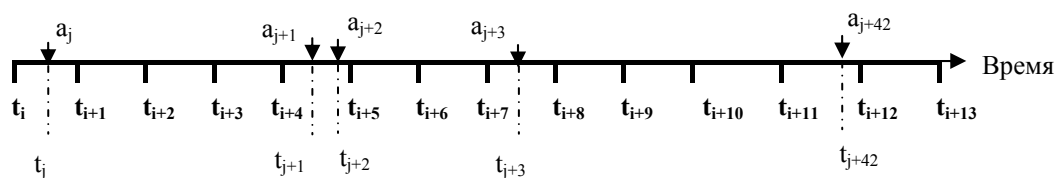
Основными видами событий в системах реального времени являются периодические и асинхронные [2]. Каждый из этих двух видов событий позволяет функционально полно отобразить все множество состояний, в которых может находиться объект системы РВ. Так, периодические события характеризуют количественные изменения в состоянии объекта, а асинхронные – качественные изменения состояния объекта [3].

Требования к обработке этих двух видов событий в большинстве случаев различны [4]. Различия в требованиях к задачам обработки связаны со специфичностью самих иницирующих сигналов, особенностями состояний процессов, иницирующих данные сигналы, и возможностями процессорного ресурса, реализующего обработку. Анализ совокупности всех этих, иногда противоречивых, требований и позволяет выполнить обоснование способа обработки асинхронных событий.

Понятие асинхронного события в среде CPB

Под асинхронными событиями будем понимать совокупность состояний объекта, изменения которых происходят, а соответственно и должны учитываться при обработке, с привязкой к моментам времени с максимальной точностью соответствующим моментам совершения изменения состояния, без синхронизации их с организацией счета времени в вычислительной среде реализации обработки (рис. 1).

В общем случае значения моментов времени t_j не совпадают с моментами синхронизации – тактирования внутренней переменной времени (t_i). Множество моментов синхронизации ($t_i \div t_{i+n}$) представляют собой ограниченное – счетное дискретное множество моментов изменения значений внутренних часов системы [5]. Поскольку внутренние часы в большинстве случаев имеют целочисленный формат и в последующие моменты $t_i \div t_{i+n}$ их значения увеличиваются на единицу, то все временные точки на интервале между t_{i+k} и t_{i+k+1} , в терминологии внутреннего представления времени, не определены и в единицах внутреннего времени в системе не могут быть представлены однозначно. На рисунке 1 это в первую очередь относится к событиям a_{j+1} и a_{j+2} .



t_{i+2} – моменты синхронного счета времени в системе;
 a_{j+1} – асинхронные события;
 t_{j+1} – моменты времени наступления асинхронного события

Рисунок 1. – Пример диаграммы распределения асинхронных событий на оси времени цифровой среды СРВ

С другой стороны, совокупность моментов $t_j \div t_{j+4}$ являются характеризующими параметрами по отношению к инициирующим их событиям: $a_j \div a_{j+4}$, а, в соответствии с этим, значения их обязаны быть определены.

Это первая и основная характеристика асинхронных событий – точное значение времени совершения события не может быть представлено в единицах внутреннего времени [6, 7].

Второй характеристикой асинхронных событий является обязательное наличие параметров приоритетов обработки для каждого из событий [8, 9]. При этом ряд событий могут быть равноприоритетными, то есть нет необходимости принудительного управления порядком их обработки в пределах группы данного приоритета.

Асинхронные события всегда функционально привязываются к определенным изменениям состояний объекта. В целом событийная модель системы реального времени характеризуется количественными и качественными изменениями состояний [10]. Именно качественные изменения состояний инициируют асинхронные события. В вычислительной среде аппаратной основой регистрации таких событий являются сигналы проблемных прерываний.

Особенности учета параметра времени возникновения асинхронного события

Простейшим вариантом определения значений времени для параметров $t_j \div t_{j+4}$, является использования значений параметра внутреннего времени в соответствии с текущим значением внутренних часов системы РВ на момент возникновения асинхронных событий [11, 12]. Это будет для данного примера как: $t_j = t_i$; $t_{j+1} = t_{i+4}$; $t_{j+2} = t_{i+4}$; $t_{j+3} = t_{i+7}$; $t_{j+4} = t_{i+11}$. Из приведенного эквивалентирования видно, что в данном простейшем варианте события a_{j+1} и a_{j+2} являются неразличимыми по параметру времени возникновения. Таким образом, простейший вариант определения параметров времени асинхронных событий (t_j) приемлем только в задачах РВ, для которых неразличимость событий по времени является допустимой.

При необходимости обеспечения в обработке асинхронных событий, когда наблюдается различие событий по фактору времени, требуется второй вариант управления значениями параметра времени наступления события. Для различимости событий параметр времени представляют двумя значениями.

Первое, как и в простейшем варианте содержит текущее на момент возникновения события значение внутренних часов, а второе значение содержит информацию, позволяющую обеспечить однозначную различимость событий.

В зависимости от требований задачи обработки асинхронного события второе значение может формироваться как значение счетчика асинхронных событий на основном интервале или как значение счетчика таймера, полученное «на лету» в момент возникновения события.

Первый вариант по быстродействию наиболее предпочтителен, но позволяет только определять последовательность возникновения событий без возможности определения количественных значений времени между событиями.

Получение значений счетчика таймера без его останова (считывание «на лету») снимает данное ограничение, поскольку каждое значение счетчика таймера будет уникальным для каждого события и даст возможность рассчитывать разность времен между событиями внутри основного интервала системы. Но при этом необходимо учитывать, что абсолютное значение полученного от таймера значения будет представлено целым числом в единицах «тиков» таймера. «Тик» таймера по длительности определяется назначенной тактовой частотой на входе как

$\langle \text{длительности тика} \rangle = 1 / \langle \text{значение частоты} \rangle$.

Таким образом, способ точного учета времени является машинно зависимым, поскольку необходимо дополнительно учитывать значение частоты сигнала, подаваемого на вход таймера [12].

Способы организации обработки асинхронных событий

В большинстве случаев асинхронные сигналы, поступающие от объекта, свидетельствуют об изменении состояния объекта, учет которого должен быть выполнен с минимальной задержкой относительно момента наступления нового состояния. Аналогом этого является выявление на объекте некоторых значений параметров или связанной совокупности значений параметров, выходящих за границы, регламентирующие достоверность математической модели некоторого текущего состояния. То есть это события, свидетельствующие об особом состоянии, требующем срочное изменение математической модели процессов объекта или некоторых управляющих воздействий. В ряде случаев это аварийное состояние процессов на объекте.

Будем считать, что в этом случае в вычислительной среде системы РВ должна быть инициирована программная обработка с ограничением на величину задержки. То есть разница времен между возникновением события и моментом начала его обработки. Основными способами управления программной обработкой асинхронных событий являются: *немедленная обработка* и *приведенная обработка*.

Независимо от используемого способа управления обработкой асинхронных событий, параметр времени поступления инициирующего сигнала формируется одним из способов в соответствии с ранее рассмотренной методикой.

Немедленная проблемная обработка асинхронных событий обеспечивается системными программными средствами в соответствии с диаграммой, показанной на рисунке 2.

Проблемные обработчики асинхронных событий, для которых в системе назначен немедленный способ обработки, вызываются на исполнение средствами модуля управления

задачами РВ (системное ПО РВ) путем прерывания текущего исполняемого процесса с передачей управления обработчику данного сигнала прерывания. Аппаратно–программно это реализуется вызовом по сигналу прерывания, который инициируется поступившим от объекта событием a_j (момент t_j), первоначально от модулей системного ПО РВ (супервизор РВ). Супервизор после идентификации сигнала прерывания и параметров его обработки запускает на исполнение соответствующую процедуру проблемной обработки (момент t_k).

Длительность исполнения проблемного обработчика планироваться не может. Задача обработки может завершить работу как в пределах текущего такта ($t_{i+1} - t_i$), на примере это момент t_k , так и в любой из последующих тактов (в примере это момент t'_{k+1}). В любом варианте по завершению проблемной обработки всегда получает супервизор РВ, функциями которого и выполняется восстановление прерванного процесса.

Таким образом, максимальная величина задержки вызова процедуры обработки относительно возникновения события определяется только аппаратной реализацией системы прерываний процессора и особенностями программной реализации модуля супервизора ($t_k - t_j$).

Дополнительно задержка немедленной обработки может быть больше на величину выполнения немедленной обработки других сигналов, для которых в системе назначен более высокий приоритет. По завершению обработки управление вернется в прерванную программу. Возврат управления выполняется под управлением системного модуля супервизора РВ. Непосредственно после завершения задачи обработки, супервизор проверяет очередь задач немедленной обработки. Такая очередь может возникнуть в результате появления событий немедленной обработки с приоритетом более низким, чем обрабатываемое состояние.

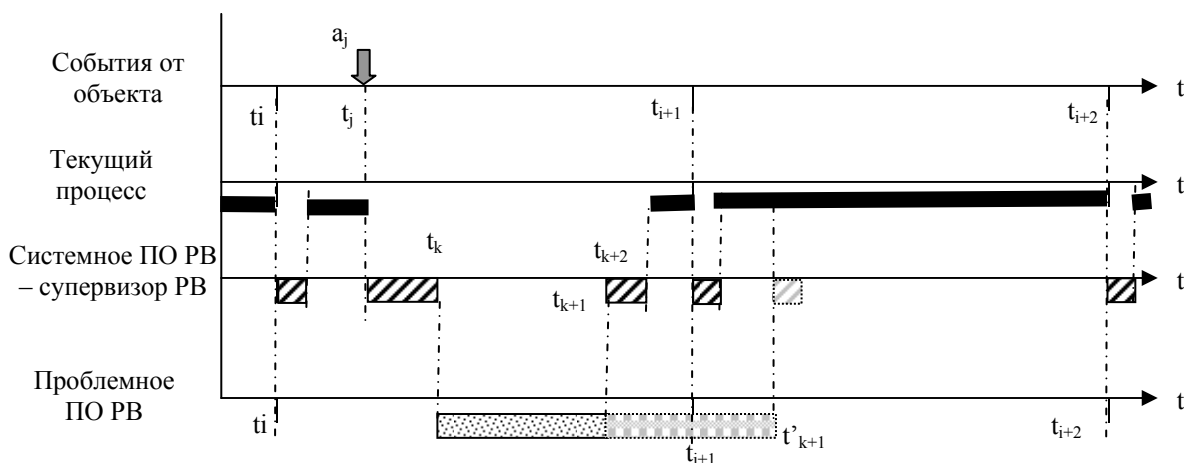


Рисунок 2. – Диаграмма управления немедленной обработкой асинхронного события

В случае если очередь не пуста, вызывается на исполнение следующая задача обработки из очереди и ей передается управление. Выбор из очереди задачи для вызова выполняется с учетом ее приоритета. Для этого задачи в очереди могут быть предварительно отсортированы по приоритетам. При работе с очередью необходимо решить вопрос, вызывать задачи в соответствии с приоритетами или приоритеты учитывать только для задач, у которых параметр времени наступления иницирующего события одинаков.

Так происходит до тех пор, пока при очередном возврате очередь не будет пуста. В результате на значительный интервал времени может быть задержана обработка других событий системы [13]. Это необходимо учитывать при назначении немедленного способа обработки и при программировании самих задач немедленной обработки событий асинхронных событий.

Возврат в прерванный текущий процесс может быть выполнен немедленно после получения супервизоров управления из задачи немедленной обработки или синхронно с ближайшим импульсом таймера счета времени.

Особенностью немедленной обработки является то, что процедура проблемной обработки получает управления после прерывания некоторого текущего процесса.

В ряде случаев некоторые процессы запрещают обработку прерываний до своего завершения. Наличие таких процессов в системе может приводить к определенным задержкам. Как правило, в качестве процессов, запрещающих обработку прерываний выступают системные процессы [14]. Такие модули выполняются с максимальной скоростью и не вносят значительных задержек в работу системы. Это обработка системных сигналов прерываний, которые участвуют в организации вычислительных процессов.

Немедленная обработка проблемных сигналов прерываний выполняется передачей управления проблемным модулям в момент, когда программная среда вычислителя находится в состоянии обработки прерывания. И здесь сразу возникают два ограничения на программную реализацию модуля обработки.

Во первых, время выполнения таких модулей должно быть минимально, задержки не должны превышать величин, значения которых приведут к нарушению темпа реального времени в системе. Ограничения на величины таких задержек определяются индивидуально для каждой проектируемой СРВ.

Во вторых процесс обработки не должен использовать обращений к системным, стандартным или проблемным библиотечным

процедурам или подпрограммам, которые не обладают свойствами реентерабельности, то есть не разрешают повторный вызов процедуры до завершения ее предыдущего вызова. Это приводит к резкому ограничению функциональности модулей обработки или специальному их проектированию на основе выделенных функциональных модулей. Решение с запуском обработчиков в отдельных потоках для систем реального времени не приемлемо, поскольку требует значительных задержек времени на подготовку нового потока.

Таким образом, достоинством немедленной обработки является минимальное значение величины задержки относительно времени наступления иницирующего события.

Недостатком является ограничение функциональности задач немедленной обработки в результате требования минимальности интервала задержки обработки и невозможности использовать все множество библиотечных или любых других процедур [15].

Вторым видом обработки асинхронных событий является *приведенная обработка*. В этом случае запуск процедуры обработки приводится, то есть откладывается, до выполнения некоторого условия (рис. 3).

Могут использоваться различные способы назначения условий, определяющих разрешение запуска задачи обработки, для которой ранее наступило иницирующее асинхронное событие. В состав условия могут включаться проверки соотношения различных переменных, контроль различных состояний объекта, а также анализ значений ранее возникших задержек времени обработки состояний объекта. Но обязательным по отношению к любому условию является текущее состояние системы «*свободна*».

Множественность условий приведения обработки асинхронных событий

Расчет условия выполняется непосредственно супервизором РВ при каждом получении управления в состоянии системы.

Само условие приведения представляет собой логическое выражение произвольного вида. Каждая составляющая такого выражения, терм, является логической переменной, совокупность которых связывается любыми операциями алгебры логики

$$\langle \text{условие приведения} \rangle = \langle \text{состояние системы } \textit{свободна} \rangle \& \langle \text{любое логическое выражение} \rangle.$$

При этом возможны два варианта управления вызовом задач проблемной обработки.



Рисунок 3. – Диаграмма управления приведенной обработкой асинхронного события

В одном случае в состав условия включается проверка требования привязки момента вызова к моменту поступления очередного сигнала периодизации времени от таймера (моменты поступления t_i) – тик таймера. Это вариант синхронизации условий приведения с моментами счета внутреннего времени в системе

$$\langle \text{условие приведения} \rangle = \langle \text{состояние системы свободна} \rangle \& \langle \text{тик таймера} \rangle \& \langle \text{любое логическое выражение} \rangle.$$

На примере (рис. 3) именно этот вариант расчета условий приведения и показан как основной, то есть расчет супервизором условий приведения в момент t_{i+3} – в момент ближайшего тика таймера после освобождения системы.

Логическое выражение в составе условия приведения позволяет очень гибко учитывать различные функциональные (проблемные) особенности отдельных сигналов асинхронных состояний и соответственно назначать их программную обработку.

В случае назначения приведенного способа обработки, когда в составе выражения условия отсутствует требование тика таймера, приводит к асинхронному вызову задачи обработки. Это вариант асинхронного условия. В соответствии с таким условием задача проблемной обработки будет вызвана на исполнение асинхронно к моментам счета внутреннего времени. На примере (рис. 3) вариант асинхронного условия показан как выполнение анализа супервизором условий непосредственно в момент освобождения системы – t_k . При асинхронном условии задача обработки была бы вызвана на исполнение не в момент t_{i3} , а в момент после отработки модуля супервизора – в момент t_k .

Если интервал исполнения задачи обработки имеет длительность более одного тика таймера, то на каждом тике задача прерывается для выполнения обязательных функций супервизора – счета времени.

Задачи обработки асинхронных сигналов с назначенным приведенным способом обработки всегда имеют более низкий приоритет по сравнению с задачами немедленной обработки и соответственно могут ими прерываться. Соотношение приоритетов задач приведенной обработки и периодических задач может быть произвольным и определяться только особенностями реализуемых ими функций в составе системы РВ.

Для учета прерываний, возникающих на интервале исполнения задачи приведенной обработки в системе супервизором, формируется очередь приведенных прерываний. Обработка этой очереди выполняется супервизором каждый раз при получении управления по завершении очередной задачи обработки. Обработка очереди приведенных прерываний может откладываться до завершения всех периодических задач в случае, если их приоритет выше.

Таким образом, использование приведенного способа обработки позволяет гибко назначать с помощью системы приоритетов порядок их вызова в соотношении с обработкой периодических событий. В отличие от приоритетов задач немедленной обработки, которые всегда имеют самый высокий приоритет по сравнению с задачами приведенной обработки и периодическими, между задачами приведенной обработки и периодическими приоритеты могут назначаться без соблюдения ограничений. Так, в ряду приоритетов могут чередоваться в любой последовательности задачи периодические и приведенной обработки.

Возникновение внутренних событий всегда синхронно с тиками таймера (пример события z_j в момент t_{i+6}), обработки их могут откладываться в соответствии с множеством поступающих сигналов асинхронных событий. На примере задача обработки внутреннего события не задерживается, поскольку в момент t_{i+6} система находилась в состоянии «*свободна*».

Назначение условий приведения с обязательной привязкой к состоянию системы «*свободна*», исключает вариант запуска обработчика с прерывание других проблемных программ обработки любого типа событий.

Достоинством такого метода является отсутствие функциональных ограничений на процедуры обработки и использования ими различного рода процедур и библиотечных модулей.

Недостатком приведенной обработки является недетерминированное значение величины задержки вызова процедуры обработки относительно момента возникновения события.

Для повышения оперативности обработки асинхронных событий программы, задачи приведенной обработки имеют более высокий приоритет по сравнению с обработчиками периодических событий.

Заключение. Рекомендации по организации обработки асинхронных событий в СРВ

Асинхронные события, как отображение особых ситуаций в состояниях технологических объектов в составе систем РВ, в большинстве случаев сигнализируют об аварийных состояниях или состояниях, требующих изменения всей вычислительной структуры математической модели процессов объекта. Таким образом, программная обработка асинхронных событий накладывает особые требования к задачной их реализации.

Знание особенностей способов обработки асинхронных событий позволяет программировать их обработку с максимальной эффективностью без создания коллизий в решающей среде системы РВ.

Список литературы

1. Достлев Ю.С., Чередникова О.Ю. Событийная модель технологического объекта в системах реального времени // Системный анализ и информационные технологии в науках о природе и обществе. №1(8)–2(9), 2015. – С. 68–72.
2. Достлев Ю.С. Особенности формирования свойств модулей обработки периодических событий в системах реального времени // Системный анализ и информационные технологии в науках о природе и обществе. №1(6)–2(7), 2014. – С. 117–120.
3. Достлев Ю.С. Повышение информационной надежности оценки текущего состояния объекта автоматизации // Системный анализ и информационные технологии в науках о природе и обществе. №1(4)–2(5), 2013. – С. 96–99.
4. Лапко В.В., Чередникова О.Ю. Математическая модель переходных аэродинамических процессов в вентиляционных сетях с сосредоточенными и распределенными параметрами // Научные труды ДонНТУ. Серия Проблемы моделирования и автоматизации проектирования динамических систем. №7(150), 2008. – С. 40–51.
5. Достлев Ю.С., Чередникова О.Ю. Оптимизация форматов представления параметров времени событий в системах реального времени // Системный анализ и информационные технологии в науках о природе и обществе, №1(10)–2(11), 2016. – С. 121–127.

6. Достлев Ю.С., Раскидкин В.В. Проектирование интерфейсной поддержки системы анализа информационной достоверности первичной информации о текущих состояниях объекта автоматизации // Системный анализ и информационные технологии в науках о природе и обществе, №1(10)–2(11), 2016. – С. 136–145.
 7. Дж. Мартин. Программирование для вычислительных систем реального времени. – М.: Наука, 1975. – 359 с.
 8. Древш Ю.Г. Системы реального времени: технические и программные средства. – М.: МИФИ, 2010. – 320 с.
 9. Сулейманова А.М. Системы реального времени: уч. пос. / Уфа: Уфимск. гос. авиац. техн. ун-т. 2004. – 292 с.
 10. Блэкман М. Проектирование системы реального времени. – М.: Мир, 2007. – 346 с.
 11. Tanenbaum, A. Modern Operating Systems. Upper Saddle River, NJ: Pearson/Prentice Hall. 2008, 160 p.
 12. Янг С.Д. Алгоритмические языки реального времени: конструирование и разработка. – М.: Мир, 2008. – 400 с.
 13. Rabih Chrabieh. Task-less Approach Simplifies RTOS Architecture. Available at: <http://archive.cotsjournalonline.com/articles/view/100030> (accessed 5 apr 2017).
 14. Бирюков О.В., Новиков А.Ю., Шишкевич А.А. EtherCAT – интерфейс территориально распределенных контрольно-измерительных систем реального времени // Электронные информационные системы, №1(4). 2015. – С. 49–59
 15. Бурдонов И.Б. Операционные системы реального времени. URL: http://www.ispras.ru/preprints/docs/prep_14_2006.pdf (05.04.17).
- References (transliteration)**
1. Dostlev Y.S., Cherednikova O.Y. Sobitnyaya model' tehnologicheskogo ob'ekta v sistemah real'nogo vremeni [Event model of a technological object in real-time systems]. *Sistemnyy analiz i informacionnye tekhnologii v naukah o prirode i obshchestve*, no1(8)–2(9). 2015: 68–72. (in Russian).
 2. Dostlev Y.S. Osobennosti formirovaniya svoystv modulej obrabotki periodicheskikh sobytij v sistemah real'nogo vremeni [Features of formation properties of processing units periodic events in real-time systems]. *Sistemnyy analiz i informacionnye tekhnologii v naukah o prirode i obshchestve*, no1(6)–2(7). 2014: 117–120. (in Russian).
 3. Dostlev Y.S. Povyshenie informacionnoj nadezhnosti ocenki tekushchego sostoyaniya ob'ekta avtomatizatsii. [Improving of information reliability for assessment of the current state of the automation object]. *Sistemnyy analiz i informacionnye tekhnologii v naukah o prirode i obshchestve*, no1(4)–2(5). 2013: 96–99. (in Russian).
 4. Lapko V.V., Cherednikova O.Y. Matematicheskaya model' perekhodnykh aehrodinamicheskikh processov v ventilyacionnykh setyah s sosredotochennymi i raspredeleennymi parametrami [A mathematical model of transient aerodynamic processes in ventilation systems with concentrated and distributed parameters]. *Nauchnye trudy DonNTU, seriya Problemy modelirovaniya i avtomatizatsii proektirovaniya dinamicheskikh sistem*, no7. 2008: 40–51. (in Russian).
 5. Dostlev J.S., Cherednikova O.Yu. Optimizatsiya formatov predstavleniya parametrov vremeni sobytij v sistemah real'nogo vremeni [Optimization of formats for representing the time parameters of events in real-time systems]. *Sistemnyy analiz i informacionnye tekhnologii v naukah o prirode i obshchestve*, no1(10)–2(11), 2016: 131–137. (in Russian).
 6. Dostlev J.S., Raskidkin V.V. Proektirovanie interfejsnoj podderzhki sistemy analiza informacionnoj dostovernosti pervichnoj informatsii o tekushchih sostojaniyah ob'ekta avtomatizatsii [Design of interface support for the system for analyzing the information reliability of primary information about the current states of the automation object]. *Sistemnyy analiz i informacionnye tekhnologii v naukah o prirode i obshchestve*, no1(10)–2(11), 2016: 136–145. (in Russian).
 7. D. Martin. Programmirovaniye dlja vychislitel'nykh sistem real'nogo vremeni [Programming for real-time computing]. Moscow, Nauka, 1975, 359 p. (in Russian).
 8. Drevs Y.G. Sistemy real'nogo vremeni: tehicheskie i programmnye sredstva [Real-time systems: hardware and software]. Moscow, MIFI, 2010, 320 p. (in Russian).
 9. Sulejmanova A.M. Sistemy real'nogo vremeni: uchebnoe posobie [Real-time systems: a tutorial]. Ufimsk. gos. aviaz. techn. universitet. Ufa, 2004, 292 p. (in Russian).
 10. Bljekman M. Proektirovanie sistemy real'nogo vremeni [Designing a real-time system]. Moscow, Mir, 2007, 346 p. (in Russian).
 11. Tanenbaum, A. Modern Operating Systems. Upper Saddle River, NJ: Pearson/Prentice Hall. 2008, 160 p.
 12. Jang S.D. Algoritmicheskie jazyki real'nogo vremeni: konstruirovaniye i razrabotka [Algorithmic real-time languages: design and development]. Moscow, Mir, 2008, 400 p. (in Russian).

13. Rabih Chrabieh. Task-less Approach Simplifies RTOS Architecture. Available at: <http://archive.cotsjournalonline.com/articles/view/100030> (accessed 5 apr 2017).
14. Birjukov O.V., Novikov A.J., Shishkevich A.A. EtherCAT – interfejs territorial'no raspredelennyh kontrol'no-izmeritel'nyh sistem real'nogo vremeni [EtherCAT is the interface of geographically distributed real-time monitoring and measurement systems]. Jelektronnye informacionnye sistemy, no1(4). 2015: 49–59. (in Russian).
15. Burdonov I.B. Operacionnye systemy real'nogo vremeni [Real-time operating systems]. Available at: http://www.ispras.ru/preprints/docs/prep_14_2006.pdf (accessed 5 apr 2017). (in Russian).

Достлев Ю.С., Череднікова О.Ю. «Особливості урахування та обробки асинхронних подій у системах реального часу». Виконано аналіз параметричних особливостей асинхронних подій у складі систем реального часу. Розглянуто можливі варіанти форматів урахування та представлення параметрів часу, як характеристик асинхронних подій. Запропоновано декілька форматів параметрів часу, склад яких залежить від особливостей проблемних задач обробки асинхронних подій. Виділено два основних засоби організації управління викликів на виконання задач обробки асинхронних подій у складі систем реального часу. Наведено типові діаграми управління обробкою асинхронних подій. Проведено аналіз залежності величини затримки виклику задачі обробки відносно ініціюючих сигналів асинхронних подій для кожного з способів управління викликом задач обробки на виконання. Розглянуто переваги та недоліки кожного з способів програмної обробки асинхронних подій. На основі виконаного аналізу запропонована низка критеріїв, які дозволяють обґрунтовано назначати необхідні засоби обробки для кожної з асинхронних подій системи реального часу, а також формати параметру часу, які враховують моменти виникнення подій.

Ключеві слова: система реального часу, асинхронні події, формати параметра часу, рішення задачі реального часу, затримка обробки станів об'єкту, управління виконанням задач обробки асинхронних подій.

Dostlev Y.S., Cherednikova O.Y. "Features of accounting and processing of asynchronous events in real-time systems". The analysis of parametric features of asynchronous events as part of real-time systems is performed. We consider various possible formats of accounting and presentation time parameter as the characteristics of asynchronous events. Several time formats are proposed, the content of which depends on the characteristics of the problem tasks of processing asynchronous events. Two main ways of organization of call control for execution of tasks of asynchronous events processing as a part of real-time systems are allocated. Shows typical diagram of the control processing of asynchronous events. The analysis of the dependence of the delay value of the processing task call with respect to the initiating signals of asynchronous events for each of the ways to control the call of processing tasks for execution is carried out. The advantages and disadvantages of each method of software processing of asynchronous events are considered. On the basis of the performed analysis, a number of criteria are proposed that allow reasonably assigning the necessary methods of processing for each of the asynchronous events of the real-time system, as well as formats of the time parameter that take into account the moments of occurrence of these events.

Keywords: real time system, asynchronous events, formats of the time parameter, the solution of the problem of real-time, managing the execution of tasks processing asynchronous events, processing delay of the object's state.

Стаття поступила в редакцію 28.03.2017
Рекомендована к публикации канд. техн. наук А.В. Звягинцевой

Региональные особенности развития субъектов Российской Федерации, исходя из анализа статистических данных

Михайлова А.А.¹, Звягинцева А.В.^{1,2}

¹Белгородский государственный национальный исследовательский университет

²Донецкий национальный технический университет

mikhajlovaangela@yandex.ru, anna_zv@ukr.net

Михайлова А.А., Звягинцева А.В. «Региональные особенности развития субъектов Российской Федерации, исходя из анализа статистических данных». Работа направлена на совершенствование эконометрического инструментария комплексной оценки социально-экономического положения регионов России с целью повышения эффективности принятия управленческих решений для обеспечения устойчивого и сбалансированного развития территориальных образований. В результате выполненного анализа отмечено, что в области комплексной оценки и стратегического планирования развития территорий имеется целый ряд нерешенных проблем, связанных с субъективностью используемых экспертных подходов, недостаточной проработанностью методического обеспечения и отсутствием эффективных эконометрических моделей для комплексной оценки регионов и городов по различным аспектам развития. Сформированы базы данных показателей и индикаторов для оценки регионального развития, осуществлен выбор показателей и разработаны эконометрические модели для описания положения и развития территориальных образований. В основу создания эконометрических моделей положен принцип соответственных состояний, а также использование мер схожести для взаимного сравнения положения объектов в многомерных пространствах их состояний. Сравнение состояний объектов осуществлено на основе применения безразмерного индекса в форме отношения меры схожести состояний анализируемого и эталонных объектов. В качестве меры схожести использовано евклидово расстояние применительно к многомерному пространству. Это позволило установить особенности и закономерности экономического развития регионов и по совокупности индикативных показателей выполнить их сравнительный анализ в двух аспектах развития: в секторе реальной экономики и в сфере внешнеэкономической деятельности. На основе полученных результатов впервые в практике стратегического планирования установлены ранги 80 регионов и 153 городов Российской Федерации по уровню и темпам развития, исходя из построения в каждом конкретном случае измерительных социо-эконометрических шкал для сравнения объектов. Определены регионы и города с высоким и низким уровнем развития, которое оценивалось по удельным показателям, отнесенным к численности населения. Установлены региональные особенности развития субъектов Российской Федерации, исходя из анализа статистических данных Федеральной службы государственной статистики.

Ключевые слова: субъекты Российской Федерации, статистические данные, социо-эконометрические шкалы, ранжирование регионов и городов, особенности и закономерности регионального развития.

Введение

Во многих странах на концептуальном уровне принято, что стратегическое планирование и национальная безопасность неразрывно связаны между собой, и эти составляющие государственной политики должны быть направлены на достижение долгосрочных целей, которые определяли бы достойное место страны в мире XXI века. Реализация такой политики немыслима без эффективной системы комплексной оценки и прогнозной аналитики

социально-экономического развития территориальных образований. Разработки в области математического и эконометрического обеспечения стратегического планирования ведутся уже более 50 лет. Комплексная оценка и прогнозирование социально-экономического положения субъектов Федерации позволяет сформулировать стратегические приоритеты, сценарные модели и экономические прогнозы развития регионов. Данная задача входит в перечень основных положений Федерального Закона «О стратегическом планировании в Российской Федерации».

Целью работы является установление закономерностей регионального развития субъектов Российской Федерации исходя из имеющихся статистических данных.

Данное направление исследований является актуальным для составления Программ развития территориальных образований и разработки мероприятий в области стратегического планирования.

Методика комплексной оценки объектов по совокупности показателей

Сегодня в Российской Федерации в качестве методического обеспечения в области комплексной оценки и стратегического планирования территориальных образований применяется более двадцати методических рекомендаций, положений, правил и схем, разработанных Минэкономразвития России [1–20]. Прогнозы и оценки основываются на вероятностном анализе внешних и внутренних условий социально-экономического развития субъектов Федерации, составлении и анализе трех основных сценариев развития (базовый, консервативный и целевой), а также экспертном и экстраполяционном прогнозировании целевых показателей. Однако многие ученые считают, что в данной области могут быть предложены для практического применения принципиально новые методы стратегического прогнозирования и планирования социально-экономического развития регионов [21–31].

Методика комплексной оценки социально-экономического положения регионов и городов по совокупности показателей основывается на научных результатах, полученных в более ранних работах авторов и наиболее полно описана в источниках [30, 32–34].

Процесс комплексного экономического анализа выполняется в несколько этапов.

На первом этапе формируется перечень используемых в модели зависимых и независимых переменных. В этом случае основная цель исследования – получение уравнений состояния регионов или городов Российской Федерации по нескольким выбранным показателям, которые представляются как переменные состояния. Так как число независимых (объясняющих) переменных обычно принимается в 6–7 раз меньше числа наблюдений, то общее их количество для регионов и городов не должно превышать 8–10 показателей. В данной группе величин должны быть исключены показатели с сильными мультиколлинеарными связями (коэффициент парной корреляции больше 0,7). Объясняющие переменные не должны быть связаны между собой функциональной или тесной корреляционной зависимостью. Для обоснования наиболее значимых объясняющих

показателей в работе применялся корреляционный анализ и метод пошагового отбора переменных.

В качестве объясняемой (зависимой) переменной во всех моделях использовался комплексный индекс $\theta = \theta(z_1, \dots, z_n)$, оцененный в созданных для этой цели эконометрических шкалах.

При изучении в определенный год статистических наблюдений реального сектора экономики регионов России использовались следующие показатели Федеральной службы государственной статистики (2005–2015 гг., 80 регионов):

- объем отгруженных товаров собственного производства, выполненных работ и услуг собственными силами. Добыча полезных ископаемых, млн. руб. (раздел С);
- объем отгруженных товаров собственного производства, выполненных работ и услуг собственными силами. Обрабатывающие производства, млн. руб. (раздел D);
- объем отгруженных товаров собственного производства, выполненных работ и услуг собственными силами. Производство и распределение электроэнергии, газа и воды, млн. руб. (раздел E);
- продукция сельского хозяйства, млн. руб.;
- объем работ, выполненных по виду экономической деятельности «Строительство», млн. руб. (раздел F);
- объем платных услуг населению, млн. руб.;
- оборот розничной торговли, млн. руб.

При изучении уровня экономического развития городов в определенный год статистических наблюдений использовались следующие показатели (2003–2015 гг., 159 городов):

- объем отгруженных товаров собственного производства, выполненных работ и услуг собственными силами по виду экономической деятельности «Обрабатывающие производства», млн. руб.;
- объем выполненных работ по виду деятельности «Строительство», млн. руб.;
- оборот розничной торговли, млн. руб.;
- объем инвестиций в основной капитал, млн. руб.

Для городов статистические данные по добыче полезных ископаемых, производству и распределению электроэнергии, газа и воды и платным услугам не являются полными для всего списка из 159 городов. Данные по продукции сельского хозяйства для городов чаще всего отсутствуют.

Указанные выше абсолютные показатели относились к количеству населения регионов или городов с получением удельных показателей с единицей измерения млн. руб./тыс. чел. (тыс. руб./чел.).

На втором этапе собиралась информация из различных открытых источников, формировались массивы статистических данных, верифицировались полученные данные и с помощью различных методов проводилось заполнение отдельных пропущенных значений. Для получения информации использовались:

- Единая межведомственная информационно-статистическая система (ЕМИСС), в которой размещается официальная региональная статистическая информация [35, 36];

- издания государственных статистических органов (годовые сборники «Регионы России. Социально-экономические показатели», «Демографический ежегодник России» и др. сборники согласно перечня официального Интернет-портала Росстата, раздел «Официальная статистика/Публикации/Каталог публикаций»);

- издания государственных органов Федеральной налоговой службы (<http://www.nalog.ru/>) и Федерального казначейства Российской Федерации (www.goskazna.ru);

- издания международных статистических источников (ООН, Международный валютный фонд, Всемирный банк и пр.).

Полученные массивы данных обрабатывались в программном продукте Statistica с использованием модулей статистического анализа: «Основные статистики», «Корреляционный анализ», «Множественная регрессия», «Кластерный анализ» и др.

На третьем этапе выполнялись работы, которые включают в себя выбор меры схожести состояний для комплексной характеристики состояний объектов, изучение различных вариантов построения системы измерения данной величины, построение эконометрической шкалы для комплексного сравнения (измерения) состояний в пространстве принятых объясняющих переменных, построение уравнений состояний для группы регионов или городов в виде регрессионных зависимостей и выбор наиболее качественных зависимостей, проверку гипотезы справедливости принципа соответственных состояний для изучаемой группы объектов и т.д.

Для построения уравнений состояний использовались методы линейной и нелинейной регрессии. Выбор конкретного вида уравнения регрессии в каждом случае проводился по результатам анализа имеющихся статистических данных на ретроспективном периоде, а также обосновывался проверкой качества модели и соответствующих статистических гипотез.

На четвертом этапе при получении хорошего качества уравнений состояний выполнялись варианты расчеты и сравнивались состояния изучаемых объектов между собой в созданной шкале комплексного

индекса. Далее на основе полученных результатов проводился сравнительный анализ экономического развития объектов, выявлялись региональные особенности развития субъектов Российской Федерации и оценивались перспективы и тенденции устойчивого сбалансированного развития территорий при стратегическом планировании. Положение объектов в многомерном пространстве показателей определялось по значениям комплексного индекса, темпы развития объектов – по изменениям значений комплексного индекса на определенном ретроспективном периоде. По данным величинами проводилось рейтингование регионов и городов.

Описанная выше методика использовалась при изучении региональных особенностей развития регионов и городов европейской части России применительно к четырем основным Федеральным округам (ЦФО, СЗФО, ЮФО, ПФО). В процессе анализа, исходя из различных аспектов развития территорий, выявлялись прогрессивные и отстающие регионы и города по отношению к исследуемым группам объектов и с учетом существующих среднестатистических закономерностей, а также изучались предпосылки и причины таких экономических процессов.

Особенности развития регионов России

Выполним комплексный анализ уровня и темпов развития регионов России в реальном секторе экономики по приведенным выше семи удельным экономическим показателям, которые отнесены к численности населения городов: объему товаров, выполненных работ и услуг в сфере добычи полезных ископаемых z_1 ; объему товаров, выполненных работ и услуг в сфере обрабатывающих производств z_2 ; объему товаров, выполненных работ и услуг в сфере производства и распределения электроэнергии, газа и воды z_3 ; продукции сельского хозяйства z_4 ; объему работ в строительстве z_5 ; объему платных услуг населению z_6 ; обороту розничной торговли z_7 . Анализ проведем для периода времени 2012–2015 годов.

В качестве расчетной меры для сравнения состояний регионов в пространстве показателей $z_1 - z_7$ примем евклидово расстояние в виде зависимости (1):

$$r = \sqrt{z_1^2 + z_2^2 + \dots + z_n^2}. \quad (1)$$

Учитывая, что в 2015 году объем платных услуг населению z_6 и оборот розничной торговли z_7 сильно коррелировали между собой (коэффициенты парной корреляции

больше 0,7), величина z_6 была исключена из уравнений регрессии. Аналогичным образом поступили и с объемом товаров, выполненных работ и услуг в сфере производства и распределения электроэнергии, газа и воды z_3 , а также объемом работ в строительстве z_5 , которые имеют тесные корреляционные связи с показателем добычи полезных ископаемых z_1 . В свою очередь, показатель продукции сельского хозяйства z_4 не является значимым в выбранном регрессионном уравнении.

Из корреляционного анализа данных для 2012 года следует, что объем платных услуг населению z_6 и оборот розничной торговли z_7 , а также показатель добычи полезных ископаемых z_1 и объем работ в строительстве z_5 сильно коррелируют между собой. Показатель продукции сельского хозяйства z_4 в регрессионном уравнении также не является значимым.

Для сравнения положения регионов России выберем линейный эталонный процесс l_0 , характеризующий развитие Белгородской области, для которой первое опорное состояние M_0 соответствует наблюдаемым значениям в 2012 году: $z_{1_0} = 61,12$; $z_{2_0} = 265,63$; $z_{3_0} = 16,39$; $z_{4_0} = 96,86$, $z_{5_0} = 51,93$, $z_{6_0} = 34,47$, $z_{7_0} = 129,70$. Единицы измерения данных величин – тыс. руб/чел. Условно считаем, что показатели, характеризующие развитие Белгородской области с 2012 по 2015 гг. изменялись линейно. На данном процессе отмечаем второе опорное состояние M'_0 , которое соответствует наблюдаемым значениям показателей региона в 2015 году: $z_{1^*} = 52,39$; $z_{2^*} = 363,93$; $z_{3^*} = 18,54$; $z_{4^*} = 142,39$, $z_{5^*} = 39,99$, $z_{6^*} = 48,00$, $z_{7^*} = 177,99$. На основании зависимости (2)

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

где a и b – начало и конец некоего отрезка ab , находим длину отрезка между опорными состояниями и полученный отрезок делим на 100 одинаковых интервалов. Это дает возможность установить длину отрезка σ , исходя из принятой меры сходства состояний объектов, которая составила 1,203.

Шкалу измерений для состояний регионов представляем в виде индекса θ с единицей измерения σ , при этом длина отрезка OM_0 в данной шкале составит соответственно в 2012 и 2015 годах: $\theta_0 = OM_0/\sigma = 268,93$; $363,12$ °Г.

Положение каждого субъекта Федерации измеряем в шкале величины θ .

Поиск уравнений состояний вида $\theta = \theta(z_1, \dots, z_7)$ основывался на изучении как линейных, так и нелинейных функций регрессии. Было установлено, что результаты сравнительной оценки регионов России в секторе реальной экономики могут быть описаны следующими уравнениями состояния (рис. 1):

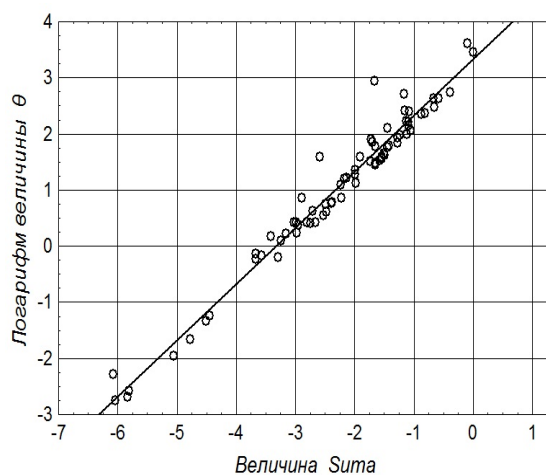
для 2012 года

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

для 2015 года

$$\ln \theta = 4,364 + 0,080 \frac{z_1}{z_{1_0}} + 0,6125 \frac{z_2}{z_{2_0}} + 0,455 \frac{z_7}{z_{7_0}}. \quad (4)$$

a)



b)

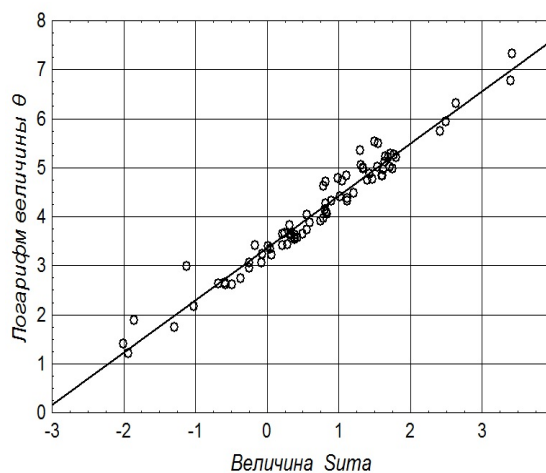


Рисунок 1. – Зависимость величины θ для регионов России от показателей, характеризующих реальный сектор экономики:

a) 2012: $Suma = 0,083 \frac{z_1}{z_{1_0}} + 0,751 \frac{z_2}{z_{2_0}} + 0,086 \frac{z_3}{z_{3_0}} + 0,508 \frac{z_7}{z_{7_0}}$;

b) 2015: $Suma = 0,080 \frac{z_1}{z_{1_0}} + 0,6125 \frac{z_2}{z_{2_0}} + 0,455 \frac{z_7}{z_{7_0}}$

Коэффициенты множественной корреляции уравнений (3) и (4) составили соответственно 0,97 и 0,98. Хорошее качество уравнений позволяет сделать вывод о справедливости принципа соответственных состояний для регионов России в данном случае.

Найденному уравнению состояния для 2012 года в целом соответствуют 77 регионов из 80. Из-за высоких значений показателей Тюменская область выпадает из изучаемой группы регионов, в свою очередь, Республики Тыва и Ингушетия также выпадают из данной группы из-за низких значений показателей. Уравнению состояния для 2015 года соответствуют 74 региона из 80; к указанным выше трем регионам добавились г. Москва, Сахалинская область и Чукотский автономный округ, имеющие в 2015 году очень высокие удельные показатели развития.

Сравнительный анализ регионов России в созданной шкале приведен в таблице 1.

Для изучения региональных особенностей выполним также анализ уровня экономической деятельности городов (153 города) за 2003–2015 годы по четырем удельным показателям, которые отнесены к численности населения городов: объему товаров, выполненных работ и услуг в сфере обрабатывающих производств z_2 ; объему работ в строительстве z_5 ; обороту розничной торговли z_7 ; объему инвестиций в основной капитал z_8 . В качестве меры сходства состояний городов в пространстве показателей z_2, z_5, z_7, z_8 также примем евклидово расстояние в виде зависимости (2). В этом случае по значениям показателей z_2, z_5, z_7, z_8 для каждого города можно найти значение принятой меры сходства W .

Выберем линейный эталонный процесс l_0 , характеризующий развитие г. Белгорода, для которого первое опорное состояние M_0 соответствует наблюдаемым значениям в 2003 году: $z_{2_0} = 41,46$; $z_{5_0} = 9,70$; $z_{7_0} = 42,12$; $z_{8_0} = 16,44$ (тыс. руб/чел.).

Условно считаем, что показатели, характеризующие развитие г. Белгорода с 2003 по 2015 гг., изменялись линейно. На данном процессе отмечаем второе опорное состояние M'_0 , которое соответствует наблюдаемым значениям показателей г. Белгород в 2015 году: $z_{2*} = 158,98$; $z_{5*} = 18,87$; $z_{7*} = 102,71$; $z_{8*} = 48,52$. Согласно (2) находим длину отрезка между опорными состояниями и делим его на 100 одинаковых интервалов. Это дает возможность установить длину отрезка σ , исходя из принятой меры

сходства состояний объектов, которая составила 1,3619.

Шкалу измерений для состояний городов представляем в виде индекса θ с единицей измерения σ , при этом длина отрезка OM_0 в данной шкале составит соответственно в 2003, 2005, 2013 и 2015 годах: $\theta_0 = OM_0/\sigma = 45,70$; 71,79; 144,79; 144,14 °Г. Аналогичным образом, положение каждого города в определенный период времени может быть измерено в шкале величины θ .

Результаты сравнительной оценки экономического развития городов России по комплексной шкале для совокупности показателей z_2, z_5, z_7, z_8 , которые входят в первую группу показателей, могут быть описаны следующими уравнениями состояния (рис. 2):

для 2003 года:

$$\theta = 57,45(z_2/z_{2_0})^{0,496}(z_7/z_{7_0})^{0,164}(z_8/z_{8_0})^{0,238}, k=0,94, \quad (5)$$

для 2005 года:

$$\theta = 62,05(z_2/z_{2_0})^{0,406}(z_7/z_{7_0})^{0,398}(z_8/z_{8_0})^{0,181}, k=0,93, \quad (6)$$

для 2013 года:

$$\theta = 56,89(z_2/z_{2_0})^{0,515}(z_5/z_{5_0})^{0,126}(z_8/z_{8_0})^{0,257}, k=0,97, \quad (7)$$

для 2015 года:

$$\theta = 56,77(z_2/z_{2_0})^{0,527}(z_8/z_{8_0})^{0,340}, k=0,96. \quad (8)$$

Здесь z_{k_0} – значения показателей для опорного состояния, которые соответствуют наблюдаемым значениям для г. Белгорода в 2003 году, k – коэффициент множественной корреляции.

Хорошее качество уравнений позволяет сделать вывод о справедливости принципа соответственных состояний по факту экономической деятельности для городов России в изучаемом варианте данных.

Как видно из приведенных уравнений, в данной группе показателей для данных 2003 и 2005 года значимыми являются объем товаров собственного производства, выполненных работ и услуг (обрабатывающие производства) z_2 , оборот розничной торговли z_7 и объем инвестиций в основной капитал z_8 . Соответственно, значимыми показателями для данных 2013 года являются показатели z_2, z_8 и объем выполненных работ в строительстве z_5 , а для данных 2015 года – показатели z_2, z_8 .

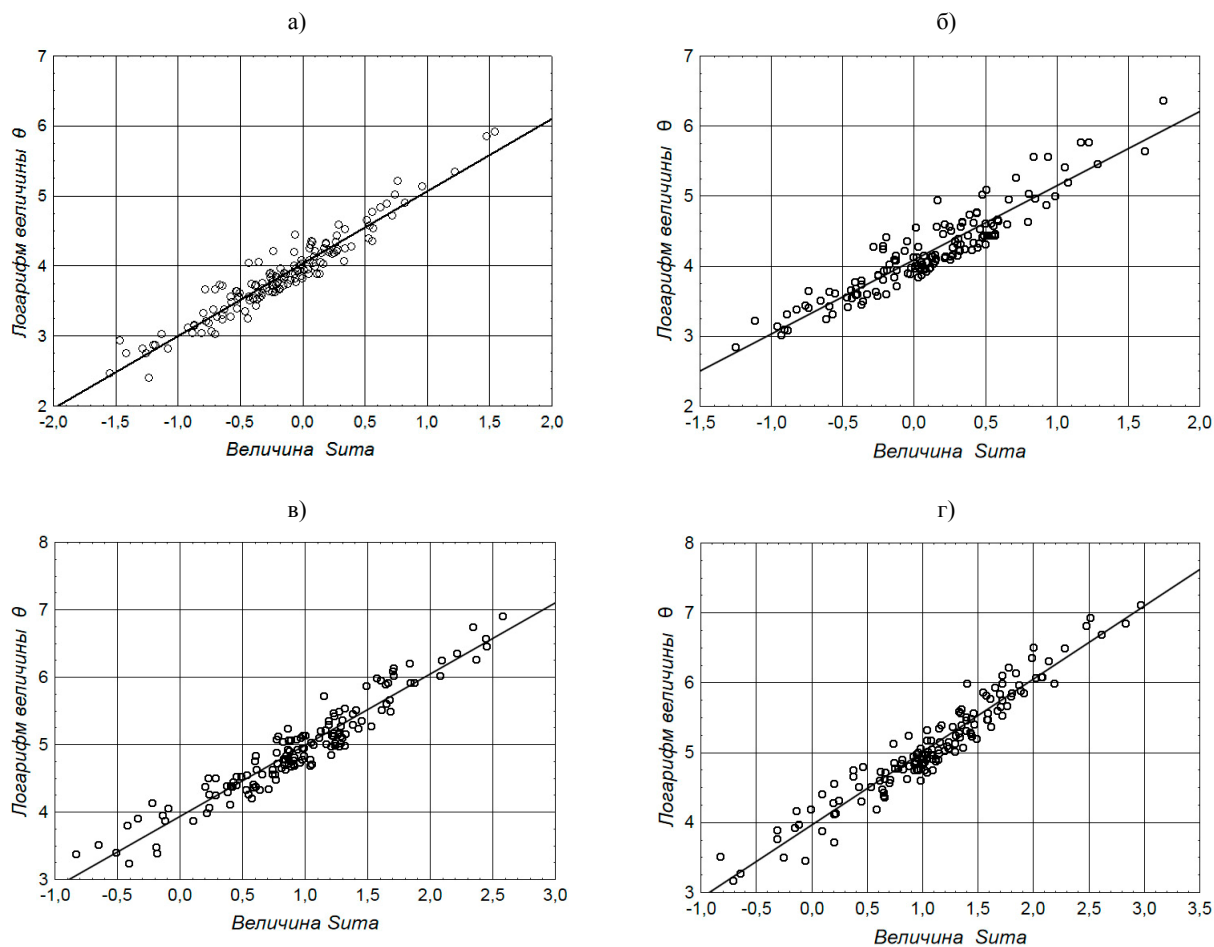
Различия в значимых показателях для различных периодов времени связаны с особенностями экономической деятельности в различные годы. Найденным уравнениям состояний в целом соответствуют 148 городов из 153; в силу определенной специфики города Элиста, Сочи, Махачкала, Ханты-Мансийск и Кызыл выпадают из общей тенденции развития.

Таблица 1. – Значения величины θ и ранги регионов России в сфере реального сектора экономики

Субъекты Российской Федерации	Значения величины θ , °Г		Ранг региона по положению в группе	
	2012	2015	по уровню развития 2015	по темпам развития 2012–2015
1	2	3	4	5
Чукотский автономный округ	582,11	1305,00	1	1
Сахалинская область	938,47	1243,50	2	2
Тюменская область	910,24	1047,93	3	7
Магаданская область	359,85	520,01	4	4
Республика Саха (Якутия)	311,72	480,68	5	3
г. Москва	330,43	472,13	6	6
Ленинградская область	276,08	431,89	7	5
Липецкая область	301,21	425,82	8	8
г. Санкт-Петербург	379,20	414,60	9	66
Калужская область	368,24	406,30	10	64
Калининградская область	303,01	385,40	11	16
Свердловская область	292,13	382,72	12	12
Республика Коми	313,59	376,09	13	32
Вологодская область	289,36	370,20	14	17
Республика Татарстан	283,50	366,23	15	15
Белгородская область	268,93	363,12	16	11
Нижегородская область	262,27	337,30	17	21
Пермский край	284,50	337,22	18	47
Омская область	283,61	330,54	19	52
Красноярский край	240,82	326,88	20	37
Тульская область	209,67	326,42	21	9
Московская область	241,23	315,56	22	24
Челябинская область	252,79	314,44	23	33
Новгородская область	202,08	309,52	24	10
Самарская область	244,63	299,53	25	45
Мурманская область	201,73	276,46	26	22
Архангельская область	194,12	269,66	27	20
Республика Башкортостан	237,24	268,54	28	72
Владимирская область	172,00	257,83	29	14
Кемеровская область	214,39	253,10	30	62
Ярославская область	177,82	248,19	31	27
Камчатский край	174,14	247,84	32	26
Волгоградская область	188,17	246,02	33	39
Оренбургская область	187,41	238,29	34	50
Хабаровский край	159,95	236,14	35	19
Воронежская область	157,69	234,68	36	18
Краснодарский край	172,20	231,14	37	37
Рязанская область	165,10	229,57	38	31
Иркутская область	160,00	228,05	39	28
Ростовская область	161,32	217,54	40	42
Удмуртская Республика	149,87	215,80	41	30
Смоленская область	159,65	215,48	42	43
Томская область	173,31	213,60	43	59
Курская область	149,42	210,13	44	35
Тамбовская область	133,66	208,20	45	23
Республика Марий Эл	130,23	204,12	46	25
Республика Хакасия	147,82	203,17	47	44
Ульяновская область	140,34	198,98	48	38
Брянская область	130,06	197,84	49	29
Тверская область	153,64	196,73	50	54
Амурская область	136,57	194,31	51	40
Новосибирская область	157,02	194,18	52	65
Астраханская область	132,57	190,00	53	41
Орловская область	127,71	188,62	54	34
Республика Карелия	146,11	188,55	55	57
Костромская область	153,84	186,60	56	68
Приморский край	131,47	183,07	57	49
Республика Дагестан	118,30	178,58	58	36
Исковская область	128,68	175,06	59	53
Ставропольский край	136,23	174,62	60	63
Кировская область	122,59	173,02	61	51
Пензенская область	118,56	171,83	62	46
Республика Мордовия	129,20	171,37	63	58
Саратовская область	125,45	168,36	64	55
Республика Адыгея	121,37	164,17	65	56
Республика Бурятия	111,25	163,94	66	48
Алтайский край	119,45	158,95	67	61
Ивановская область	117,70	157,67	68	60

Продолжение таблицы 1

1	2	3	4	5
Чувашская Республика	120,57	146,77	69	75
Курганская область	111,00	142,56	70	71
Камчатский край	174,14	247,84	32	26
Республика Северная Осетия-Алания	100,26	133,42	71	67
Забайкальский край	102,12	130,90	72	73
Еврейская автономная область	102,98	130,27	73	74
Кабардино-Балкарская Республика	92,06	124,20	74	69
Республика Алтай	79,60	102,63	75	76
Карачаево-Черкесская Республика	95,41	101,91	76	80
Чеченская Республика	61,51	93,64	77	70
Республика Калмыкия	67,38	84,52	78	78
Республика Тыва	46,63	65,70	79	77
Республика Ингушетия	34,12	47,37	80	79

Рисунок 2. – Зависимость величины θ для городов России от показателей z_1, z_2, z_3, z_4 :

$$\begin{aligned}
 \text{а) 2003} \quad & Suma = 0,496 \ln(z_2/z_{2_0}) + 0,164 \ln(z_7/z_{7_0}) + 0,238 \ln(z_8/z_{8_0}); \\
 \text{б) 2005} \quad & Suma = 0,406 \ln(z_2/z_{2_0}) + 0,398 \ln(z_7/z_{7_0}) + 0,181 \ln(z_8/z_{8_0}); \\
 \text{в) 2013} \quad & Suma = 0,515 \ln(z_2/z_{2_0}) + 0,126 \ln(z_5/z_{5_0}) + 0,257 \ln(z_8/z_{8_0}); \\
 \text{г) 2015} \quad & Suma = 0,527 \ln(z_2/z_{2_0}) + 0,340 \ln(z_8/z_{8_0})
 \end{aligned}$$

На рисунке 2, а положение г. Белгород соответствует значению величины Suma, равной нулю. Это справедливо только для 2003 года.

Сравнительный анализ городов России в созданной шкале приведен в таблице 2. Как видно из полученных данных, в десятку городов, имеющих высокий уровень экономической деятельности, входят Череповец, Норильск, Сургут, Ханты-Мансийск, Нижневартовск, Магнитогорск, Тольятти, Липецк, Нефтеюганск,

Нижнекамск. В десятку городов, имеющих высокие темпы развития в сфере экономической деятельности, входят Норильск, Нижнекамск, Березники, Альметьевск, Салават, Магнитогорск, Мытищи, Новомосковск, Череповец, Липецк. Все перечисленные города, за исключением г. Мытищи, являются городами с развитой нефтехимической, нефтеперерабатывающей и металлургической промышленностью.

Таблица 2. – Значения величины θ и ранги городов России по уровню и темпам экономической деятельности

Города Российской Федерации	Значения величины θ , °Г		Ранг города по положению в группе		
	2003	2015	по уровню развития 2003	по уровню развития 2015	по темпам развития 2003–2015
1	2	3	4	5	6
Череповец	473,12	912,99	1	5	9
Норильск	371,34	4135,45	2	1	1
Сургут	344,63	661,03	3	8	19
Ханты-Мансийск	240,81	109,22	4	116	153
Нижевартовск	208,62	128,57	5	97	152
Магнитогорск	182,04	669,96	6	7	6
Тольятти	168,34	391,65	7	20	36
Липецк	151,01	578,5	8	9	10
Нефтеюганск	133,87	100,24	9	121	151
Нижнекамск	132,47	1237,76	10	2	2
Старый Оскол	98,42	450,49	15	13	16
Пермь	92,97	348,76	17	24	28
Ухта	80,60	400,41	21	18	18
Южно-Сахалинск	77,61	352,54	22	23	24
Нефтекамск	74,78	96,46	27	123	139
Волжский	73,41	338,36	28	27	27
Сыктывкар	71,98	215,88	29	51	56
Ярославль	69,83	196,49	32	56	65
Петропавловск-Камчатский	68,68	153,65	33	75	97
Челябинск	68,12	262,58	34	38	38
Краснодар	67,21	239,31	36	43	44
Самара	65,97	169,79	39	67	80
Великий Новгород	65,79	362,90	40	22	23
Рязань	65,51	242,94	41	42	43
Новокуйбышевск	64,42	440,79	42	15	13
Якутск	58,96	126,92	44	99	116
Смоленск	58,70	169,15	45	68	74
Уфа	57,62	331,97	47	28	25
Ставрополь	57,39	101,74	48	120	130
Мурманск	56,76	215,88	49	50	49
Оренбург	55,90	159,48	52	70	81
Тюмень	54,66	254,85	53	40	37
Екатеринбург	54,55	204,37	54	54	51
Кемерово	54,06	138,62	55	84	110
Нижний Новгород	52,48	198,89	57	55	52
Саратов	51,46	130,21	58	95	106
Тула	50,96	322,83	59	29	26
Красноярск	50,84	222,42	60	47	45
Ростов-на-Дону	50,35	187,25	61	60	62
Улан-Удэ	49,00	123,67	62	102	111
Новочеркасск	48,95	158,53	63	71	75
Казань	48,83	194,23	64	57	53
Калининград	48,40	348,61	67	25	22
Иркутск	48,32	136,92	68	87	93
Калуга	48,29	440,80	69	14	12
Томск	48,23	131,69	70	94	99
Владимир	47,24	156,02	73	73	76
Тверь	46,40	145,75	75	80	83
Курск	46,08	137,35	77	86	90
Волгоград	45,87	290,09	78	31	29
Белгород	45,70	144,14	80	81	84
Архангельск	45,23	62,37	81	139	142
Омск	44,43	401,76	82	17	14
Новосибирск	43,31	126,73	83	100	101
Воронеж	43,17	135,68	84	90	89
Хабаровск	41,84	116,55	88	108	110
Благовещенск	41,50	116,06	90	110	112
Петрозаводск	41,34	95,95	91	124	123
Псков	40,85	111,78	94	115	113
Владивосток	40,78	115,55	95	112	109
Сочи	40,74	223,78	96	46	40
Магадан	39,56	49,35	98	143	145
Новороссийск	38,74	151,38	102	77	72
Орел	38,10	129,01	104	96	91

Продолжение таблицы 2

1	2	3	4	5	6
Тамбов	37,22	163,94	108	69	64
Вологда	35,49	118,23	112	105	102
Обнинск	35,20	262,58	113	37	35
Брянск	34,30	151,49	117	76	70
Кострома	33,66	101,99	118	118	115
Находка	30,64	136,13	122	88	77
Пенза	29,63	127,06	123	98	85
Уссурийск	29,04	73,89	125	133	129
Астрахань	26,15	138,05	131	85	73
Иваново	25,31	74,83	133	132	126
Шахты	16,76	78,91	147	131	120

Центральный федеральный округ

В Центральный федеральный округ (ЦФО) входят субъекты Федерации и города с населением свыше 100 тыс. человек, перечисленные в таблице 3. При населении 27% всего населения России, на округ приходится 20 % промышленной продукции, 30–35 % оборота розничной торговли и объема платных услуг и 35 % общего объема валового внутреннего продукта страны. Центральный федеральный округ лидирует среди федеральных округов по многим показателям социально-экономического развития.

Комплексную оценку развития экономики регионов ЦФО выполним на

основе визуального анализа полученных уравнений состояний.

Как видно из рисунка 3, а на фоне всех субъектов Российской Федерации имеется две группы регионов ЦФО – группа развитых регионов: Белгородская (1), Калужская (6), Липецкая (9), Московская (10), Тульская (16) области, г. Москва (18) и группа всех остальных субъектов, занимающих среднюю часть рисунка. Также видно, что г. Москва занимает аномальное положение относительно всех регионов. В свою очередь, города ЦФО достаточно однородно распределены среди городов России (рис. 3, б) и занимают центральную часть распределения объектов.

Таблица 3. – Государственные образования Центрального федерального округа

ЦФО	Государственные образования
Субъекты Российской Федерации	Области: Белгородская, Брянская, Владимирская, Воронежская, Ивановская, Калужская, Костромская, Курская, Липецкая, Московская, Орловская, Рязанская, Смоленская, Тамбовская, Тверская, Тульская, Ярославская; Город Москва
Города и муниципалитеты	Белгород, Брянск, Владимир, Воронеж, Иваново, Калуга, Кострома, Курск, Липецк, Орел, Рязань, Смоленск, Тамбов, Тверь, Тула, Ярославль, Старый Оскол, Обнинск, Елец, Балашиха, Жуковский, Коломна, Королев, Люберцы, Мытищи, Ногинск, Одинцово, Орехово-Зуево, Подольск, Серпухов, Химки, Щелково, Электросталь, Ковров, Муром, Рыбинск

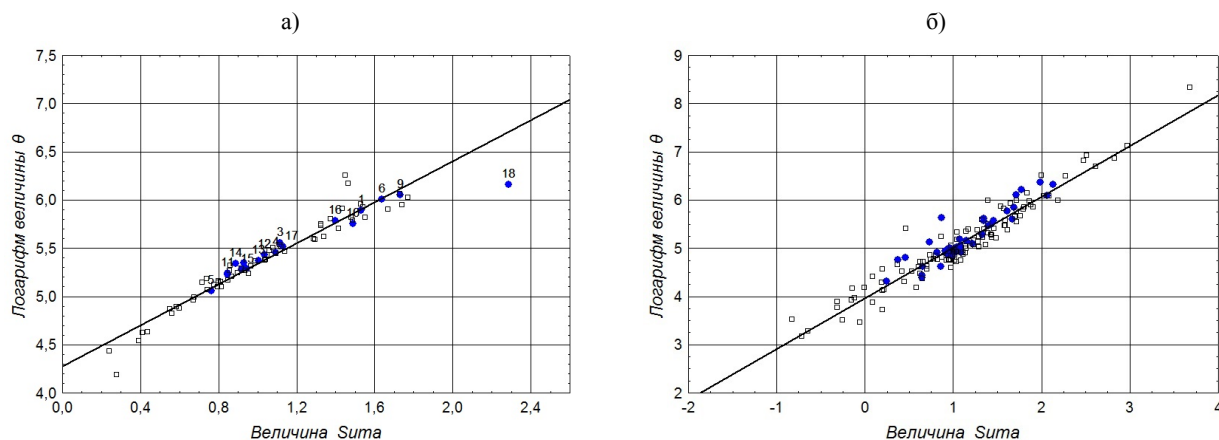


Рисунок 3. – Зависимость величины θ для регионов и городов Центрального федерального округа от значений показателей, характеризующих реальный сектор экономики: а) регионы; б) города; на рис. 3, а: 1 – Белгородская, 6 – Калужская, 9 – Липецкая, 10 – Московская, 16 – Тульская области, 18 – г. Москва

Полученные уравнения состояний (3) и (8) с высокими коэффициентами корреляции, позволяют в пространстве величин $(\theta, z_1, \dots, z_n)$ построить характеристическую поверхность состояния $\theta = \theta(z_1, \dots, z_n)$, на которой будут находиться опытные точки, характеризующие объекты. При изменении состояний объектов соответствующие линии процессов также будут принадлежать этой поверхности. Подобный подход представления данных в виде фигуративных точек на характеристической поверхности позволяет изучать состояния и процессы изменения состояний объектов, а также сравнивать их между собой по значениям комплексного индекса и изменениям этих значений.

Например, регионы ЦФО в 2015 году по комплексному индексу θ отличаются между собой более чем в три раза, соответственно города округа – почти в восемь раз. Рейтинг регионов может быть представлен в следующей последовательности: г. Москва (индекс $\theta = 472$), Липецкая (426), Калужская (406), Белгородская (363), Тульская (326), Московская (316), Владимирская (257), Ярославская (248), Воронежская (235), Рязанская (230), Смоленская (215), Курская (210), Тамбовская (198), Брянская (198), Тверская (197), Орловская (187), Костромская (187) и Ивановская (индекс $\theta = 158$) области.

По темпам развития регионов, исходя из оценки изменения комплексного индекса θ в 2012–2015 годах, к самым быстро развивающимся регионам ЦФО относятся г. Москва (изменение индекса $\Delta\theta = 141,7$), Липецкая (124,6), Тульская (116,8), Белгородская (94,2) и Владимирская области (85,8). К пяти слабо развивающимся регионам ЦФО относятся Смоленская (55,8), Тверская (43,1), Ивановская (40,0), Калужская (38,1) и Костромская (32,8) области.

В свою очередь, к пяти развитым городам ЦФО относятся Липецк, Новомосковск, Мытищи, Старый Оскол, Калуга; к пяти последним городам в рейтинге развития – Кострома, Елец, Жуковский, Люберцы, Иваново.

Северо-Западный федеральный округ

В Северо-Западный федеральный округ (СЗФО) входят 10 субъектов Федерации и 11 городов с населением свыше 100 тыс. человек (табл. 4).

Население СЗФО составляет 9,5% населения всей России, доля округа в промышленном производстве – около 12 %, в объёме валового внутреннего продукта страны – 10%. Экономика округа растет более низкими темпами, чем экономика России в целом.

Таблица 4. – Государственные образования Северо-Западного федерального округа

СЗФО	Государственные образования
Субъекты Российской Федерации	Области: Архангельская, Вологодская, Калининградская, Ленинградская, Мурманская, Новгородская, Псковская; Республики: Карелия, Коми; Город Санкт-Петербург
Города и муниципалитеты	Петрозаводск, Сыктывкар, Архангельск, Вологда, Калининград, Мурманск, Великий Новгород, Псков, Ухта, Северодвинск, Череповец

Как видно из рисунка 4, а на фоне всех субъектов Российской Федерации по уровню развития выделяются восемь регионов СЗФО: Республика Коми (20), Архангельская (21), Вологодская (22), Калининградская (23), Ленинградская (24), Мурманская (25) и Новгородская (26) области и г. Санкт-Петербург (28). От данной группы значительно отстают Республика Карелия (19) и Псковская область (27).

Города СЗФО в большей степени представлены в верхней части распределения городов России (рис. 4, б). Регионы СЗФО в 2015 году по комплексному индексу θ отличаются между собой в 2,5 раза, соответственно города округа – почти в 15 раз. Ленинградская область и г. Санкт-Петербург имеют значения комплексного индекса соответственно $\theta = 432$ и $\theta = 415$; в свою очередь, для Псковской области $\theta = 175$.

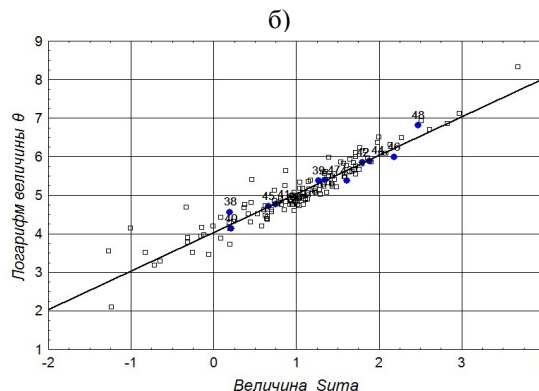
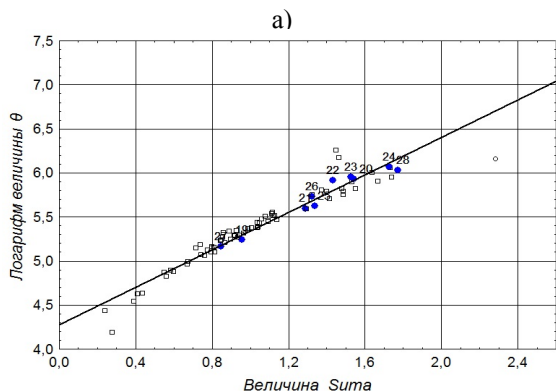


Рисунок 4. – Зависимость величины θ для регионов и городов Северо-Западного федерального округа от значений показателей, характеризующих реальный сектор экономики: а) регионы; б) города; на рисунке 4, а: 19 – Республика Карелия, 20 – Республика Коми, 21 – Архангельская, 22 – Вологодская, 23 – Калининградская, 24 – Ленинградская, 25 – Мурманская, 26 – Новгородская, 27 – Псковская области, 28 – г. Санкт-Петербург (28)

Рейтинг регионов СЗФО по уровню развития реального сектора экономики имеет вид: Ленинградская область (индекс $\theta = 431$), г. Санкт-Петербург (415), Калининградская область (385), Республика Коми (376), Вологодская (370), Новгородская (310), Мурманская (276), Архангельская (270) области, Республика Карелия (189) и Псковская область (индекс $\theta = 175$).

По темпам развития регионов, исходя из оценки изменения комплексного индекса θ в 2012–2015 годах, рейтинг регионов СЗФО можно представить в виде: Ленинградская область (изменение индекса $\Delta\theta = 155,8$), Новгородская (107,4), Калининградская (82,4), Вологодская (80,8), Архангельская (75,5), Мурманская (74,7) области, Республика Коми (62,5), Псковская область (46,4), Республика Карелия (42,4), г. Санкт-Петербург (35,4). Регионы СЗФО в целом развиваются медленнее, чем регионы ЦФО.

Рейтинг городов СЗФО в сфере реальной экономики имеет вид: Череповец (индекс $\theta = 913$), Ухта (400), Великий Новгород (363), Калининград (349), Северодвинск (222), Мурманск (216), Сыктывкар (216), Вологда (118), Псков (112), Петрозаводск (96) и Архангельск (индекс $\theta = 62$). Среди городов России особо выделяется Череповец, занимающий пятое место среди всех изучаемых городов России как по уровню, так и по темпам развития.

Рейтинг городов по темпам развития имеет вид: Череповец, Калининград, Ухта, Великий Новгород, Мурманск, Северодвинск, Сыктывкар, Вологда, Псков, Петрозаводск и Архангельск.

Особенностью развития регионов СЗФО является отставание в темпах развития реального сектора экономики города Санкт-Петербурга, который занимает невысокое, 66 место, среди всех регионов России и последнее среди регионов СЗФО. Это связано с небольшими темпами роста объемов товаров и услуг в промышленности города в 2012–2015 годах.

Южный федеральный округ

В Южный федеральный округ¹ (ЮФО) входят 8 субъектов Федерации и 17 городов с населением свыше 100 тыс. человек (табл. 5).

Население ЮФО составляет 11,2 % от населения России. В округе производится 5,1 % промышленной продукции и 6% общего объема валового внутреннего продукта страны.

Климатические, транспортно-транзитные преимущества и положительные демографические тенденции Южного федерального округа определяют благоприятные перспективы экономического развития всего региона. Однако анализ полученных уравнений состояний для субъектов ЮФО указывает пока на присутствие этой группы объектов в нижней половине графика, характеризующего уравнение состояний регионов (рис. 5, а). Это говорит в целом о невысоком уровне развития субъектов ЮФО.

Соответствующие места в рейтинге для ЮФО распределяются следующим образом: Волгоградская область – 33 место среди 80 регионов России, Краснодарский край – 37 место, Ростовская область – 40, Астраханская область – 53, Республики Адыгея и Калмыкия соответственно 65 и 78 место.

Таблица 5. – Государственные образования Южного федерального округа

ЮФО	Государственные образования
Субъекты Российской Федерации	Области: Астраханская, Волгоградская, Ростовская; Республики: Адыгея, Калмыкия; Краснодарский край
Города и муниципалитеты	Майкоп, Элиста, Краснодар, Астрахань, Волгоград, Ростов-на-Дону, Армавир, Новороссийск, Сочи, Волжский, Камышин, Батайск, Волгодонск, Новочеркасск, Новошахтинск, Таганрог, Шахты

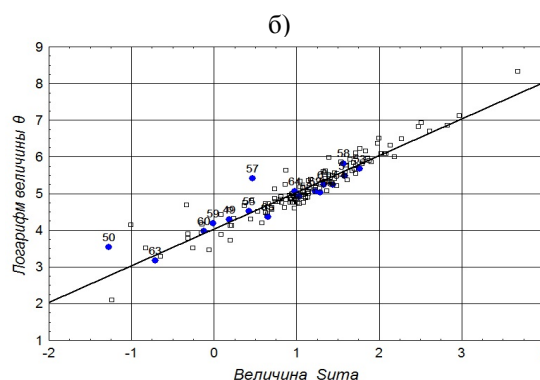
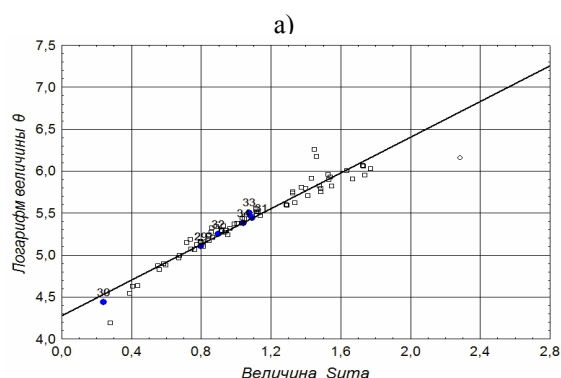


Рисунок 5. – Зависимость величины θ для регионов и городов Южного федерального округа от показателей, характеризующих реальный сектор экономики: а) регионы; б) города; на рисунке 5, а: 29 – Республика Адыгея, 30 – Республика Калмыкия, 31 – Краснодарский край, 32 – Астраханская, 33 – Волгоградская, 34 – Ростовская области

¹ Без Республики Крым и г. Севастополя, по которым нет ретроспективных данных

По темпам развития в 2012–2015 годах соответствующие места для регионов ЮФО в рейтинге распределяются в следующей последовательности: Краснодарский край – 37 место среди 80 регионов России, Волгоградская область – 39 место, Астраханская область – 41, Ростовская область – 42, Республики Адыгея и Калмыкия соответственно 56 и 78 место.

В свою очередь, города ЮФО также неоднородно распределены среди городов России (рис. 5, 6). Как видно из рисунка, для городов ЮФО выделяются две группы объектов – группа городов (Волжский, Волгоград, Краснодар, Сочи, Ростов-на-Дону, Волгодонск, Новочеркасск, Таганрог, Новороссийск, Астрахань), попадающих в диапазон, соответствующий с 27 по 85 места в рейтинге среди всех городов России, и группа депрессивных городов – Армавир (126 место в рейтинге), Шахты (131), Майкоп (134), Камышин (135), Батайск (141), Элиста (147), Новошахтинск (152 место).

Рейтинг городов по темпам развития имеет вид: Волжский (27), Волгоград (29), Сочи (40), Краснодар (44), Волгодонск (58), Ростов-на-Дону (62), Таганрог (71), Новороссийск (72), Астрахань (73), Новочеркасск (75).

Депрессивные города имеют следующие места в рейтинге городов по темпам развития экономики: Армавир (114 место в рейтинге), Шахты (120), Майкоп (124), Камышин (132), Батайск (133), Элиста (136), Новошахтинск (143 место).

Особенностью развития регионов ЮФО является отставание в уровне и темпах развития Республики Калмыкия и практически половины

городов региона, также г. Новошахтинск имеет крайне низкие показатели в сфере экономического развития. Это связано с невысокими темпами роста удельных показателей. Город Новошахтинск отличается также негативной динамикой в области демографии. Депопуляция населения наблюдается также и в Республике Калмыкия, где население за 12 лет уменьшилось на 22 тыс. человек с 291 до 279 тыс. человек.

Приволжский федеральный округ

В Приволжский федеральный округ (ПФО) входят следующие субъекты Федерации и города с населением свыше 100 тыс. человек, перечисленные в таблице 6.

Численность населения ПФО 29,5 млн. чел. (2018), что составляет 20,1% населения России, 71,9% населения – горожане. На долю промышленного производства ПФО в экономике России приходится 23,9%, это наивысший показатель в стране (на втором месте находится ЦФО). Доля округа в объеме валового внутреннего продукта страны – 15,6%.

Приволжский федеральный округ имеет весьма благоприятные предпосылки для развития экономики. Среднее положение между западным и восточными регионами страны и существующие транспортно-транзитные преимущества обеспечивают ПФО тесные связи с восточными сырьевыми районами и центральными районами России.

Для Приволжского федерального округа характерен высокий уровень развития как добывающих, так и обрабатывающих отраслей, концентрация квалифицированных кадров, что определяет перспективы развития региона.

Таблица 6. – Государственные образования Приволжского федерального округа

ПФО	Государственные образования
Субъекты Российской Федерации	Области: Кировская; Нижегородская, Оренбургская, Пензенская, Саратовская, Самарская, Ульяновская; Республики: Башкортостан, Марий Эл, Мордовия, Татарстан, Удмуртская, Чувашская; Пермский край
Города и муниципалитеты	Уфа, Йошкар-Ола, Саранск, Казань, Ижевск, Чебоксары, Пермь, Киров, Нижний Новгород, Оренбург, Пенза, Самара, Саратов, Ульяновск, Нефтекамск, Октябрьский, Салават, Стерлитамак, Новочебоксарск, Арзамас, Дзержинск, Орск, Березники, Новокуйбышевск, Сызрань, Тольятти, Энгельс, Балаково, Альметьевск, Набережные Челны, Нижнекамск, Димитровград

Как видно из рисунка 6, а на фоне всех субъектов Российской Федерации имеется две группы регионов ПФО – группа развитых регионов Республики Башкортостан (42) и Татарстан (45), Пермский край (48), Нижегородская (50) и Самарская области (53), и группа всех остальных субъектов. Регионы ПФО в 2015 году по комплексному индексу θ отличаются между собой в 2,5 раза, соответственно города округа – более чем в 14 раз. Среди городов России имеется четыре города, имеющие высокие показатели развития экономики (Нижнекамск, Березники, Альметьевск и Салават) и занимающие

среди городов России соответственно 2, 3, 4, и 6 места.

Рейтинг регионов ПФО по уровню развития может быть представлен в следующей последовательности: Республика Татарстан (индекс $\theta = 366$), Нижегородская область (337), Пермский край (337), Самарская область (300), Республика Башкортостан (269), Оренбургская область (238), Удмуртская республика (216), Республика Марий Эл (204), Ульяновская (199), Кировская (173), Пензенская (172) области, республика Мордовия (171), Саратовская область (168) и Чувашская республика (индекс $\theta = 147$).

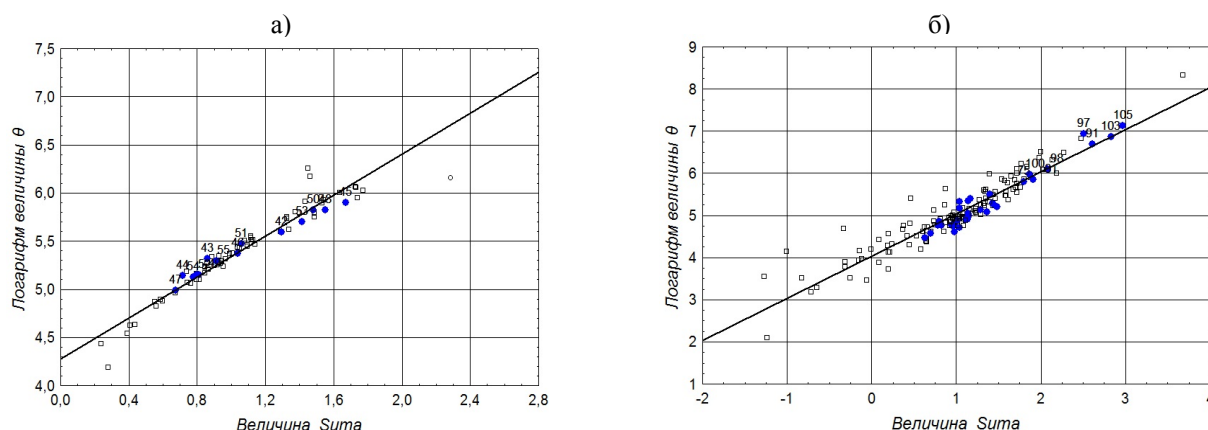


Рисунок 6. – Зависимость величины θ для регионов и городов Приволжского федерального округа от значений показателей, характеризующих реальный сектор экономики: а) регионы; б) города; на рисунке 6, а: республики: 42 – Башкортостан, 43 – Марий Эл, 44 – Мордовия, 45 – Татарстан, 46 – Удмуртская, 47 – Чувашская; 48 – Пермский край; области: 49 – Кировская; 50 – Нижегородская, 51 – Оренбургская, 52 – Пензенская, 53 – Саратовская, 54 – Самарская, 55 – Ульяновская

По темпам развития регионов, исходя из оценки изменения комплексного индекса θ в 2012–2015 годах, к самым быстро развивающимся регионам ПФО относятся Республика Татарстан (15 место среди регионов России), Нижегородская область (21), Республика Марий Эл (25) и Удмуртская республика (30). К пяти слабо развивающимся регионам ПФО относятся Кировская (51 место), Саратовская (55) области, Республика Мордовия (58), Республика Башкортостан (72) и Чувашская республика (75 место среди регионов России).

В свою очередь, к пяти развитым городам ПФО относятся Нижнекамск (2 место среди городов России), Березники (3), Альметьевск (4), Салават (6) и Новокуйбышевск (15); к пяти последним городам округа – Киров (111), Балаково (114), Орск (122), Нефтекамск (123) и Новочебоксарск (127).

В рейтинге городов по темпам развития следует выделить Нижнекамск (2 место среди городов России), Березники (3), Альметьевск (4), Салават (56) и Новокуйбышевск (13).

Некоторые закономерности развития регионов России

В процессе исследований установлен ряд особенностей и закономерностей развития регионов и городов России. Целью исследований являлось определение общих динамических закономерностей, исходя из ретроспективного анализа данных, а также выявление положения отдельных групп регионов по отношению к остальным объектам. Кроме этого, изучались структурные закономерности, отражающие взаимосвязи состояний объектов по совокупностям показателей, которые характеризуют различные аспекты развития, например, в сфере реального сектора экономики или внешнеэкономической деятельности и т.п.

На рисунке 7 представлена связь между значениями величины θ для регионов России в 2012 и 2015 годах. Три субъекта (Тюменская и Сахалинская области и Чукотский автономный округ), представленные группой из трех точек в верхней части рисунка, имеют высокие удельные показатели развития на фоне всех остальных регионов. Сахалинская область и Чукотский автономный округ при сравнительно небольшом количестве населения имеют значительные показатели развития реального сектора экономики. В свою очередь, для Тюменской области характерен аномально высокий показатель по добыче полезных ископаемых (38% объема всей добычи в России).

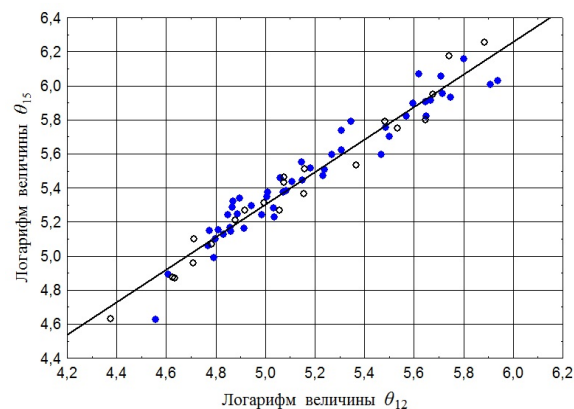


Рисунок 7. – Зависимость значений величины θ для регионов России, характеризующая реальный сектор экономики в 2012 и 2015 гг.; залитые цветом точки – регионы Европейской части России

Из приведенного рисунка видно, что регионы Европейской части (ЦФО, СЗФО, ЮФО, ПФО) равномерно распределены среди всех регионов России. Уравнение связи для значений величины θ имеет вид:

$$\theta_{15} = 1,448 \theta_{12}^{0,987}, \quad (7)$$

где θ_{15} , θ_{12} соответственно комплексный индекс состояния в 2015 и 2012 годах. Коэффициент корреляции уравнения (7) составил 0,98.

В свою очередь, для городов России аналогичные зависимости для периодов времени 2013–2015 гг. и 2005–2015 гг. представлены на рисунке 8. Соответствующие регрессионные уравнения имеют вид:

$$\text{для } 2013\text{--}2015 \text{ гг. } \theta_{15} = 1,278 \theta_{13}^{0,245}, k=0,96, \quad (8)$$

$$\text{для } 2005\text{--}2015 \text{ гг. } \theta_{15} = 2,356 \theta_{05}^{1,017}, k=0,85. \quad (9)$$

Из полученных зависимостей видно, что с увеличением временных диапазонов коэффициент корреляции уменьшается, что вполне очевидно, так как время оказывает стохастическое влияние, которое сказывается на увеличении разброса данных.

Хорошее качество регрессионных уравнений (7)–(9) указывает на существование явных общих динамических закономерностей между показателями, которые могут быть использованы при разработке методов краткосрочного и среднесрочного прогнозирования значений показателей развития, что является важным при стратегическом планировании.

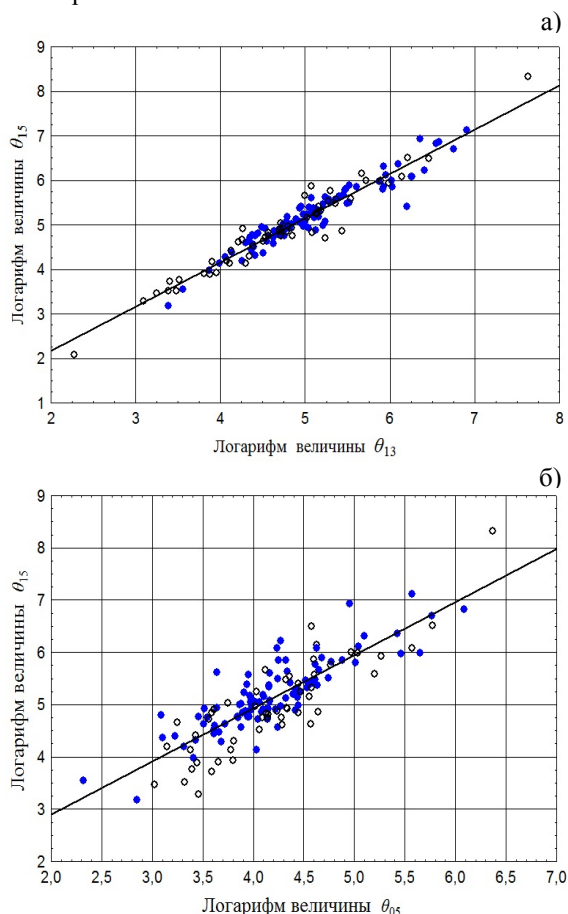


Рисунок 8. – Зависимость значений величины θ для городов России и различных периодов времени: а) 2013–2015 гг.; б) 2005–2015 гг.; залитые цветом точки – города Европейской части России

Изучение взаимосвязей состояний объектов, характеризующихся совокупностью показателей, указывает на существование тесных связей между различными используемыми комплексными шкалами.

Выводы

Подведем итоги данной работы. Предложена общая методика комплексной оценки объектов по совокупности показателей на основе использования статистических данных о положении и развитии городов и регионов России в 2003–2015 годах. Анализ выполнен для семи удельных показателей, определяющих реальный сектор экономики 80 регионов и для четырех удельных показателей, характеризующих уровень экономической деятельности 153 городов России.

Разработанная методика использовалась при изучении региональных особенностей развития регионов и городов Европейской части России применительно к четырем основным Федеральным округам (ЦФО, СЗФО, ЮФО, ПФО). В процессе анализа, исходя из различных аспектов развития территорий, выявлены прогрессивные и отстающие регионы и города. Оценка проводилась по отношению к исследуемым группам объектов и с учетом существующих среднестатистических закономерностей. Это позволило изучить предпосылки и причины наблюдаемых экономических процессов и тенденций.

В процессе исследований получены уравнения состояний регионов и городов России достаточно высокого качества, которые использованы при комплексной оценке и стратегическом планировании развития объектов, а также разработаны эконометрические модели для описания процессов развития регионов и городов России. С помощью полученных моделей выполнено обобщение региональных аспектов развития субъектов РФ и основных городов Центрального, Северо-Западного, Южного и Приволжского федеральных округов России.

В результате выполненных исследований установлено следующее.

1. Разработанная методика комплексной оценки социально-экономических объектов позволяет провести сравнительный анализ экономического развития регионов и городов и выявить региональные особенности развития субъектов Российской Федерации по совокупности индикативных показателей. При этом положение объектов в многомерном пространстве показателей определяется по значениям комплексного индекса, а темпы развития объектов – по изменениям значений этого индекса на определенном ретроспективном периоде. Оценка положения объектов проводится в общем многомерном пространстве состояний, которое рассматривается

как геометрическое пространство. Предложенная методика отличается новизной, так как позволяет провести снижение размерности изучаемой социально-экономической системы за счет введения комплексных величин и использования специальных шкал для их измерения. Это дает возможность объяснить развитие изучаемых объектов, исходя из существующих общих закономерностей.

2. Разработаны эконометрические модели для описания положения и развития регионов и городов России на основе применения принципа соответственных состояний и геометрических мер схожести в многомерных пространствах состояний изучаемых объектов. В процессе исследований установлено, что:

- получаемые регрессионные модели отличаются достаточно высоким качеством, имеют значимые коэффициенты множественной корреляции (0,94–0,98) и удовлетворяют статистическим критериям, принятым при оценке остатков регрессии;

- наблюдается справедливость принятой гипотезы о применении принципа соответственных состояний для рассматриваемых случаев построения моделей регионов и городов России;

- полученные результаты позволяют осуществить ранжирование регионов и городов в комплексных измерительных шкалах, которые дают возможность сравнить состояния объектов между собой по совокупности показателей.

3. Выявлены региональные особенности развития регионов и городов для Центрального, Северо-Западного, Южного и Приволжского округов Российской Федерации. Установлены ранги объектов по факту состояния и развития реального сектора экономики регионов и уровня экономического развития городов. Показано, что на основе использования предложенных измерительных шкал и разработанных эконометрических моделей можно делать выводы, имеющие непосредственное отношение к решению задач стратегического планирования. В процессе исследований также установлено, что для 2015 года по фактору развития реальной экономики, оцененному в общих шкалах комплексного индекса:

- субъекты ЦФО отличаются между собой более чем в три раза, а города округа почти в восемь раз;

- субъекты СЗФО отличаются 2,5 раза, города округа почти в 15 раз;

- субъекты ЮФО отличаются 2,9 раза, а города округа почти в 14 раз;

- субъекты ПФО отличаются между собой в 2,5 раза, города округа – более чем в 14 раз.

В целом регионы ЦФО и ПФО по комплексным характеристикам являются более развитыми, нежели регионы СЗФО и ЮФО.

Список литературы

1. О Стратегии национальной безопасности Российской Федерации на период до 2020 года. Утв. Указом Президента РФ от 12.05.09 г. №537. URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_87685 (03.04.17).
2. Концепция Стратегии пространственного развития Российской Федерации на период до 2030 года. Проект. – М.: Минэкономразвития РФ. 2016. – 111 с. URL: http://карьеру-евразии.pf/uploadedFiles/files/Kontseptsiya_SPR.pdf (10.04.17).
3. Преобразование нашего мира: Повестка дня в области устойчивого развития на период до 2030 г. Резолюция, принятая Генеральной Ассамблеей 25.09.2015. – 44 с. URL: <https://undocs.org/ru/A/RES/70/1> (15.04.17).
4. О бюджетном прогнозе Российской Федерации на долгосрочный период. Утв. постановлением Правительства РФ от 31.08.2015 г. №914. URL: <http://base.garant.ru/71179722/> (02.04.17).
5. Правила разработки, корректировки, осуществления мониторинга и контроля реализации прогноза социально-экономического развития Российской Федерации на долгосрочный период. Утв. постановлением Правительства РФ от 11.11.2015 №1218. URL: <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/71145076/#1000/>. (02.04.17).
6. Правила разработки, корректировки, осуществления мониторинга и контроля реализации прогноза социально-экономического развития Российской Федерации на среднесрочный период. Утв. постанов. Правительства РФ от 14.11.15 №1234. URL: https://base.garant.ru/71249780/176977babf72beba34ea5b3bfc3cfd4f/#block_1000 (03.04.17).
7. Методические рекомендации по разработке и корректировке стратегии социально-экономического развития субъекта Российской Федерации и плана мероприятий по ее реализации. Утв. приказом правительства Российской Федерации от 23.05.2017 №132. URL: <http://docs.cntd.ru/document/456054578> (26.05.17).
8. Положение о содержании, составе, порядке разработки и корректировки стратегий социально-экономического развития макро-регионов. Утв. постановлением Правительства РФ от 08.08.2015 №822. URL: <http://docs.cntd.ru/document/420294426> (10.04.17).
9. Методические рекомендации органам государственной власти субъектов Российской Федерации по долгосрочному бюджетному планированию. – 84 с. Минфин России, 03.12.2015 г. URL: https://www.minfin.ru/ru/document/?id_4=94598 (10.04.17).
10. Методические рекомендации по составлению и исполнению бюджетов субъектов Российской Федерации и местных бюджетов на основе государственных (муниципальных) программ. Минфин Росси, письмо от 30.09.2014 г. №09-05-05/48843. URL: <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/70660866/> (10.04.17).

11. Методические рекомендации по разработке, корректировке, мониторингу среднесрочного прогноза социально-экономического развития Российской Федерации. Утв. приказом Минэкономразвития России от 30.06.16 №423. URL: <http://docs.cntd.ru/document/420383543> (05.04.17).
12. Методические рекомендации по подготовке проектов схем территориального планирования субъектов Российской Федерации. Утв. приказом Министерства регионального развития Российской Федерации от 19.04.2013 г. №169. URL: <http://docs.cntd.ru/document/499017648> (07.04.17).
13. Методические рекомендации по разработке и корректировке долгосрочного прогноза социально-экономического развития Российской Федерации. Утв. приказом Минэкономразвития России от 30.06.2016 г. №417. URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_282735/ (07.04.17).
14. Положение о содержании, составе, порядке разработки и утверждения стратегии пространственного развития Российской Федерации и подготавливаемых в ее составе предложений о совершенствовании системы расселения на территории Российской Федерации и приоритетных направлениях размещения производительных сил на территории Российской Федерации. Утв. постановлением Правительства РФ от 20.08.15, №870. URL: <https://base.garant.ru/71170676/> (07.04.17).
15. Правила осуществления мониторинга и контроля реализации стратегии пространственного развития Российской Федерации. Утв. постановлением Правительства РФ от 20.08.15, №870. URL: <https://base.garant.ru/71170676/> (07.04.17).
16. Методические рекомендации по разработке Стратегии социально-экономического развития муниципальных образований. – Томск. Администрация Томской области. – 24 с.
17. Методические рекомендации по подготовке стратегий развития отраслей экономики. Проект Минэкономразвития. URL: <http://economy.gov.ru/minec/about/structure/depSectorEconom/2017030706>. (10.04.17).
18. Методические рекомендации к разработке показателей прогнозов социально-экономического развития субъектов Российской Федерации. – М.: Минэкономразвития РФ, 2009. – 188 с.
19. Методические рекомендации по заполнению формы и к разработке показателей прогнозов социально-экономического развития субъектов Российской Федерации (форма 2П). – М.: Минэкономразвития РФ, 2013. – 428 с. URL: http://volgafin.volgograd.ru/upload/iblock/0ba/6_metod_rekomendatzii.pdf (10.04.17).
20. Стратегия инновационного развития Российской Федерации на период до 2020 года. Утв. постановлением Правительства РФ от 08.12.11, №2227-п. URL: <http://docs.cntd.ru/document/902317973> (02.04.17).
21. Encyclopedia of complexity and systems science / R.A. Meyers (Editor-in-chief). Berlin, Springer, 2009, 10370 p.
22. Econophysics and sociophysics: trends and perspectives / B.K. Chakrabarti, A. Chakraborti, A. Chatterie (eds.). Berlin, Wiley-VCH, 2006, 622 p.
23. Mathematical modeling of collective behavior in socio-economic and life sciences / G. Naldi, L. Pareschi, G. Toskani (eds.). Berlin, Springer, 2010, 438 p.
24. The dynamics of complex urban systems. An interdisciplinary approach / S. Albeverio et al. (eds.). Berlin, Springer, 2007, 504 p.
25. Lillo F. 2008. Econophysics and the challenge of efficiency. Complexity, Vol. 14, 3: 39–54.
26. Newman M.E.J. 2011. Complex systems: a survey. Amer. J. Phys., 79: 800–810.
27. Cornell University Library, Physics and Society. Available at: <http://arxiv.org/list/physics.soc-ph/recent> (accessed April 10, 2017).
28. Словохотов Ю.Л. Физика и социопизика. Ч. 1–3, Проблемы управления, 2012, №1, с. 2–20; №2, с. 2–31; №3, с. 2–34.
29. Central Intelligence Agency (US). Available at: <https://www.cia.gov/library/publications/> (accessed April 10, 2017).
30. Аверин Г.В. Системодинамика. – Донецк: Донбасс, 2014. – 405 с. URL: <http://dSPACE.bsu.edu.ru/handle/123456789/17840> (05.04.17).
31. Елисеева И.И. Эконометрика. – М.: Юрайт. 2015. – 449 с.
32. Аверин Г.В. О некоторых феноменологических закономерностях биологической жизни // Системный анализ и информационные технологии в науках о природе и обществе. 2016, №1(10)–2(11) – С. 11–31.
33. Звягинцева А.В. Вероятностные методы комплексной оценки природно-антропогенных систем / Под ред. проф. Г.В. Аверина, 2016. – М.: Спектр. – 257 с. URL: <http://dSPACE.bsu.edu.ru/handle/123456789/17837> (05.04.17).
34. Звягинцева А.В. Методика событийной оценки и результаты ранжирования стран, регионов и городов по комплексу показателей // Системный анализ и информационные технологии в науках о природе и обществе. 2016, №1(10)–2(11). – С. 147–184.
35. База данных Федеральной службы государственной статистики. Основные социально-экономические показатели городов (2004–2015 годы). URL: http://www.gks.ru/wps/wcm/connect/rosstat_main/rosstat/ru/statistics/publications/catalog/doc_1138631758656 (07.04.17).
36. База данных Федеральной службы гос статистики. Основные социально-экономические показатели регионов (2003–2015 гг.). URL: http://www.gks.ru/wps/wcm/connect/rosstat_main/rosstat/ru/statistics/publications/catalog/doc_1138623506156 (07.04.17).
37. Averin G., Konstantinov I., Zviagintseva A., Tarasova O., 2015. The Development of Multi-Dimensional Data Models Based on the Presentation of an Information Space as a Continuum. International Journal of Soft Computing, 10(6): 458–461.
38. Averin G., Zviagintseva A., Konstantinov I., Ivashchuk O., 2015. Data Intellectual analysis means use for condition indicators assessment of the territorial and state formations. Research Journal of Applied Sciences, 10(8): 411–414.

References (transliteration)

1. O Strategii nacional'noj bezopasnosti Rossijskoj Federacii na period do 2020 goda [On the national security Strategy of the Russian Federation until 2020]. Utv. Ukazom Prezidenta RF ot 12.05.09 g. no.537. Available at: https://base.garant.ru/71249780/176977babf72beba34ea5b3bfc3cfd4f/#block_1000 (accessed April 3, 2017). (in Russian).
2. Konceptija Strategii prostranstvennogo razvitija Rossijskoj Federacii na period do 2030 goda. Proekt [The concept of the Strategy of spatial development of the Russian Federation for the period up to 2030. Project]. Moscow, Minjekonomrazvitija RF. 2016, 111 p. Available at: http://карьерывразии.рф/uploadedFiles/files/Kontseptsiya_SPR.pdf (accessed April 10, 2017). (in Russian).
3. Preobrazovanie nashego mira: Povestka dnja v oblasti ustojchivogo razvitija na period do 2030 g. [The transformation of our world: an Agenda for sustainable development for the period till 2030]. Rezoljucija, prinjataja General'noj Assambleej 25.09.2015, 44 p. Available at: <https://undocs.org/ru/A/RES/70/1> (accessed April 15, 2017). (in Russian).
4. O bjudzhetnom prognoze Rossijskoj Federacii na dolgosrochnyj period [On the budget forecast of the Russian Federation for the long term]. Utv. postanovleniem Pravitel'stva RF ot 31.08.2015 g. no.914. Available at: <http://base.garant.ru/71179722/> (accessed April 2, 2017).
5. Pravila razrabotki, korrekcirovki, osushhestvlenija monitoringa i kontrolja realizacii prognoza social'no-jekonomicheskogo razvitija Rossijskoj Federacii na dolgosrochnyj period [Rules of development, adjustment, monitoring and control of implementation of the forecast of social and economic development of the Russian Federation for the long term]. Utv. postanovleniem Pravitel'stva RF ot 11.11.2015 no.1218. Available at: <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/71145076/#1000/> (accessed April 2, 2017). (in Russian).
6. Pravila razrabotki, korrekcirovki, osushhestvlenija monitoringa i kontrolja realizacii prognoza social'no-jekonomicheskogo razvitija Rossijskoj Federacii na srednesrochnyj period [Rules of development, adjustment, monitoring and control of implementation of the forecast of social and economic development of the Russian Federation for the medium term]. Utv. postanovleniem Pravitel'stva RF ot 14.11.2015 g. no.1234. Available at: https://base.garant.ru/71249780/176977babf72beba34ea5b3bfc3cfd4f/#block_1000 (accessed April 3, 2017). (in Russian).
7. Metodicheskie rekomendacii po razrabotke i korrekcirovke strategii social'no-jekonomicheskogo razvitija sub'ekta Rossijskoj Federacii i plana meroprijatij po ee realizacii [Methodical recommendations on development and adjustment of strategy of social and economic development of the subject of the Russian Federation and the plan of actions for its implementation]. Utv. prikazom pravitel'stva Rossijskoj Federacii ot 23.05.2017 no.132. Available at: <http://docs.cntd.ru/document/56054578> (accessed 26 May, 2017). (in Russian).
8. Polozhenie o sodержanii, sostave, porjadke razrabotki i korrekcirovki strategij social'no-jekonomicheskogo razvitija makroregionov [Regulations on the content, composition, procedure for the development and adjustment of strategies for socio-economic development of macroregions]. Utv. postanovleniem Pravitel'stva RF ot 08.08.2015 no.822. Available at: <http://docs.cntd.ru/document/420294426> (accessed April 10, 2017). (in Russian).
9. Metodicheskie rekomendacii organam gosudarstvennoj vlasti sub'ektov Rossijskoj Federacii po dolgosrochnomu bjudzhetnomu planirovaniju [Methodical recommendations to public authorities of subjects of the Russian Federation on long-term budget planning], 84 p. Minfin Rossii, 03.12.2015 g. Available at: https://www.minfin.ru/ru/document/?id_4=94598 (accessed April 10, 2017). (in Russian).
10. Metodicheskie rekomendacii po sostavleniju i ispolneniju bjudzhetov sub'ektov Rossijskoj Federacii i mestnyh bjudzhetov na osnove gosudarstvennyh (municipal'nyh) program [Methodical recommendations on drawing up and execution of budgets of subjects of the Russian Federation and local budgets on the basis of the state (municipal) programs]. Minfin Rossi, pis'mo ot 30.09.2014 g. no.09-05-05/48843. Available at: <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/70660866/> (accessed April 10, 2017). (in Russian).
11. Metodicheskie rekomendacii po razrabotke, korrekcirovke, monitoringu srednesrochnogo prognoza social'no-jekonomicheskogo razvitija Rossijskoj Federacii [Methodical recommendations on development, adjustment, monitoring of the medium-term forecast of social and economic development of the Russian Federation]. Utv. prikazom Minjekonomrazvitija Rossii ot 30.06.2016 g. no.423. Available at: <http://docs.cntd.ru/document/420383543> (accessed April 5, 2017). (in Russian).
12. Metodicheskie rekomendacii po podgotovke proektov shem territorial'nogo planirovanija sub'ektov Rossijskoj Federacii [Methodical recommendations on preparation of drafts of schemes of territorial planning of subjects of the Russian Federation]. Utv. prikazom Ministerstva regional'nogo razvitija Rossijskoj Federacii ot 19.04.2013 g. no.169. Available at: <http://docs.cntd.ru/document/499017648> (accessed April 7, 2017). (in Russian).
13. Metodicheskie rekomendacii po razrabotke i korrekcirovke dolgosrochnogo prognoza social'no-jekonomicheskogo razvitija Rossijskoj Federacii [Methodical recommendations on development and adjustment of the long-term forecast of social and economic development of the Russian Federation]. Utv. prikazom Minjekonomrazvitija Rossii ot 30.06.2016 g. no.417. Available at: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_282735/ (accessed April 7, 2017). (in Russian).
14. Polozhenie o sodержanii, sostave, porjadke razrabotki i utverzhenija strategii prostranstvennogo razvitija Rossijskoj Federacii i podgotavlivaemyh v ee sostave predlozhenij o sovershenstvovanii sistemy rasselenija na territorii Rossijskoj

- Federacii i prioritetnyh napravlenijah razmeshhenija proizvoditel'nyh sil na territorii Rossijskoj Federacii [Regulations on the contents, structure, the order of development and the approval of strategy of spatial development of the Russian Federation and the offers prepared in its structure on improvement of system of resettlement in the territory of the Russian Federation and the priority directions of placement of productive forces in the territory of the Russian Federation]. Utv. Postanovleniem Pravitel'stva RF ot 20.08.2015 g. no.870. Available at: <https://base.garant.ru/71170676/> (accessed April 7, 2017). (in Russian).
15. Pravila osushhestvlenija monitoringa i kontrolja realizacii strategii prostranstvennogo razvitija Rossijskoj Federacii [Rules of implementation of monitoring and control of implementation of strategy of spatial development of the Russian Federation]. Utv. postanovleniem Pravitel'stva RF ot 20.08.2015 g. no.870. Available at: <https://base.garant.ru/71170676/> (accessed April 7, 2017). (in Russian).
 16. Metodicheskie rekomendacii po razrabotke Strategii social'no-jekonomicheskogo razvitija municipal'nyh obrazovaniy [Methodological recommendations for the development of the Strategy of socio-economic development of municipalities]. Tomsk, Administracija Tomskoj oblasti, 24 p. (in Russian).
 17. Metodicheskie rekomendacii po podgotovke strategij razvitija otraslej jekonomiki. Proekt [Guidelines for the preparation of strategies for the development of economic sectors. Ministry of Economic Development Project]. Minjekonomrazvitija. Available at: <http://economy.gov.ru/minec/about/structure/depSectorEconom/2017030706> (accessed April 10, 2017). (in Russian).
 18. Metodicheskie rekomendacii k razrabotke pokazatelej prognozov social'no-jekonomicheskogo razvitija sub'ektov Rossijskoj Federacii [Methodological recommendations for the development of indicators of socio-economic development of the Russian Federation]. Moscow, Minjekonomrazvitija RF, 2009, 188 p. (in Russian).
 19. Metodicheskie rekomendacii po zapolneniju formy i k razrabotke pokazatelej prognozov social'no-jekonomicheskogo razvitija sub'ektov Rossijskoj Federacii (forma 2P) [Methodical recommendations on filling of the form and to development of indicators of forecasts of social and economic development of subjects of the Russian Federation (form 2P)]. Moscow, Minjekonomrazvitija RF. 2013, 428 p. Available at: http://volgafin.volgograd.ru/upload/iblock/0ba/6_metod_rekomendaczii.pdf (accessed April 10, 2017). (in Russian).
 20. Strategija innovacionnogo razvitija Rossijskoj Federacii na period do 2020 goda [Strategy of innovative development of the Russian Federation for the period up to 2020]. Utv. postanovleniem Pravitel'stva RF ot 08.12.2011 g. no 2227-r. Available at: <http://docs.cntd.ru/document/902317973> (accessed April 2, 2017). (in Russian).
 21. Encyclopedia of complexity and systems science / R.A. Meyers (Editor-in-chief). Berlin, Springer, 2009, 10370 p.
 22. Econophysics and sociophysics: trends and perspectives / B.K. Chakrabarti, A. Chakraborti, A. Chatterie (eds.). Berlin, Wiley-VCH, 2006, 622 p.
 23. Mathematical modeling of collective behavior in socio-economic and life sciences / G. Naldi, L. Pareschi, G. Toskani (eds.). Berlin, Springer, 2010, 438 p.
 24. The dynamics of complex urban systems. An interdisciplinary approach / S. Albeverio et al. (eds.). Berlin, Springer, 2007, 504 p.
 25. Lillo F. 2008. Econophysics and the challenge of efficiency. *Complexity*, Vol. 14, 3: 39–54.
 26. Newman M.E.J. 2011. Complex systems: a survey. *Amer. J. Phys.*, 79: 800–810.
 27. Cornell University Library, Physics and Society. Available at: <http://arxiv.org/list/physics.soc-ph/recent> (accessed April 10, 2017).
 28. Slovohotov Y.L. Fizika i sociofizika [Physics and Social Science]. Part 1–3. *Problems of Management*, 2012, 1: 2–20; 2: 2–31; 3: 2–34. (in Russian).
 29. Central Intelligence Agency (US). Available at: <https://www.cia.gov/library/publications/> (accessed April 10, 2017).
 30. Averin G.V. Sistemodinamika [Systemdynamics]. Donetsk, Donbass. 2014, 405 p. Available at: <http://dspace.bsu.edu.ru/handle/123456789/17840> (accessed 5 apr 2017). (in Russian).
 31. Eliseeva I.I. Jekonometrika [Econometrics]. Moscow, Jurajt. 2015, 449 p. (in Russian).
 32. Averin G.V. O nekotoryh fenomenologicheskikh zakonornostjakh biologicheskoi zhizni [On some phenomenological regularities of biological life]. *Sistemnyj analiz i informacionnye tehnologii v naukah o prirode i obshhestve*, 2016. no.1(10)–2(11): 11–31. (in Russian).
 33. Zviagintseva A.V. Veroyatnostnye metody kompleksnoj ocenki prirodno-antropogennyh sistem [Probabilistic Methods of a Complex Assessment of Natural and Anthropogenic Systems] / Pod red. prof. G.V. Averina, 2016. Moscow, Spektr, 257 p. Available at: <http://dspace.bsu.edu.ru/handle/123456789/17837> (accessed 5 apr 2017). (in Russian).
 34. Zviagintseva A.V. Metodika sobytiijnoj ocenki i rezul'taty ranzhirovaniya stran, regionov i gorodov po kompleksu pokazatelej [Events evaluation Methodic and the countries, regions and cities ranking results on a set of indicators]. *Sistemnyj analiz i informacionnye tehnologii v naukah o prirode i obshhestve*, no 1(10)–2(11). 2016: 147–184. (in Russian).
 35. Baza dannyh Federal'noj sluzhby gosudarstvennoj statistiki. Osnovnye social'no-jekonomicheskie pokazateli gorodov (2004–2015 gody) [Database of the Federal state statistics service. Main socio-economic indicators of cities (2004–2015)]. Available at: http://www.gks.ru/wps/wcm/connect/rosstat_main/rosstat/ru/statistics/publications/catalog/doc_1_138631758656 (accessed April 7, 2017). (in Russian).

36. Baza danyh Federal'noj sluzhby gosudarstvennoj statistiki. Osnovnye social'no-jeconomicheskie pokazateli regionov (2003–2015 gody) [Database of the Federal state statistics service. Main socio-economic indicators of the regions (2003–2015)]. Available at: http://www.gks.ru/wps/wcm/connect/rosstat_main/rosstat/ru/statistics/publications/catalog/doc_1138623506156 (accessed April 7, 2017). (in Russian).
37. Averin G., Konstantinov I., Zviagintseva A., Tarasova O., 2015. The Development of Multi-Dimensional Data Models Based on the Presentation of an Information Space as a Continuum. *International Journal of Soft Computing*, 10(6): 458–461.
38. Averin G., Zviagintseva A., Konstantinov I., Ivashchuk O., 2015. Data Intellectual analysis means use for condition indicators assessment of the territorial and state formations. *Research Journal of Applied Sciences*, 10(8): 411–414.

Михайлова А.О., Звягинцева Г.В. «Региональні особливості розвитку суб'єктів Російської Федерації, виходячи з аналізу статистичних даних». Робота спрямована на вдосконалення економетричного інструментарію комплексної оцінки соціально-економічного становища регіонів Росії з метою підвищення ефективності прийняття управлінських рішень для забезпечення сталого та збалансованого розвитку територіальних утворень. В результаті виконаного аналізу відзначено, що в області комплексної оцінки і стратегічного планування розвитку територій є ціла низка невирішених проблем, що пов'язано із суб'єктивністю експертних підходів, які використовуються, недостатньою опрацьованістю методичного забезпечення та відсутністю ефективних економетричних моделей для комплексної оцінки регіонів та міст за різними аспектами розвитку. Сформовано бази даних показників та індикаторів для оцінки регіонального розвитку, здійснено вибір показників і розроблено економетричні моделі для опису положення та розвитку територіальних утворень. В основу створення економетричних моделей покладено принцип відповідних станів, а також використання мір схожості для взаємного порівняння становища об'єктів в багатовимірних просторах їхніх станів. Порівняння станів об'єктів здійснено на основі застосування безрозмірного індексу в формі відносин міри схожості станів аналізованого і еталонних об'єктів. В якості міри схожості використано евклідову відстань стосовно багатовимірного простору. Це дозволило встановити особливості та закономірності економічного розвитку регіонів і за сукупністю індикативних показників виконати іній порівняльний аналіз в двох аспектах розвитку: в секторі реальної економіки та в сфері зовнішньоекономічної діяльності. На основі отриманих результатів вперше в практиці стратегічного планування встановлено ранги 80 регіонів і 153 міст Російської Федерації за рівнем і темпами розвитку, виходячи з побудови в кожному конкретному випадку вимірювальних соціо-економетричних шкал для порівняння об'єктів. Визначено регіони і міста з високим і низьким рівнем розвитку, який оцінювався за питомими показниками, віднесеними до чисельності населення. Встановлено регіональні особливості розвитку суб'єктів Російської Федерації, виходячи з аналізу статистичних даних Федеральної служби державної статистики.

Ключові слова: суб'єкти Російської Федерації, статистичні дані, соціо-економетричні шкали, ранжування регіонів і міст, особливості та закономірності регіонального розвитку.

Mikhailova A.A., Zviagintseva A.V. “Regional features of development of subjects The Russian Federation, based on the analysis of statistical data”. The work is aimed at improving the econometric tools for a comprehensive assessment of the socio-economic situation of the regions of Russia in order to improve the efficiency of management decisions to ensure sustainable and balanced development of territorial entities. As a result of the analysis, it was noted that in the field of integrated assessment and strategic planning of territory development there are a number of unresolved problems associated with the subjectivity of expert approaches, lack of methodological support and the lack of effective econometric models for the integrated assessment of regions and cities on various aspects of development. Databases of indicators and indicators for the assessment of regional development are formed, the choice of indicators is carried out and econometric models for the description of position and development of territorial formations are developed. The basis for the creation of econometric models is the principle of corresponding States, as well as the use of similarity measures for mutual comparison of the position of objects in multidimensional spaces of their States. Comparison of the States of objects is carried out on the basis of application of the dimensionless index in the form of the relation of a measure of similarity of States of the analyzed and reference objects. Euclidean distance applied to multidimensional space is used as a measure of similarity. It allowed to establish features and regularities of economic development of regions and on set of indicative indicators to carry out their comparative analysis in two aspects of development: in sector of real economy and in the sphere of foreign economic activity. On the basis of the obtained results, for the first time in the practice of strategic planning, the ranks of 80 regions and 153 cities of the Russian Federation in terms of the level and pace of development were established, based on the construction in each case of measuring socio-econometric scales for comparing objects. The regions and cities with high and low level of development, which was estimated by specific indicators related to the population, were identified. Regional features of development of subjects of the Russian Federation, proceeding from the analysis of statistical data of Federal state statistics service are established.

Keywords: subjects of the Russian Federation, statistical data, socio-econometric scales, ranking of regions and cities, features and patterns of regional development.

Статья поступила в редакцию 27.05.2017
Рекомендована к публикации д-ром техн. наук И.С. Константиновым

Influence of dynamic sorption activity on the temperature regime of regenerative cartridge of the respiratory apparatus on chemically bound oxygen

Ekhilevskiy S.G.
Polotsk state University
s.ekhilevskiy@psu.by

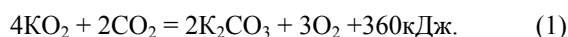
Ekhilevskiy S.G. "Influence of dynamic sorption activity on the temperature regime of regenerative cartridge of the respiratory apparatus on chemically bound oxygen". Mathematical modeling of the dynamic sorption activity of the regenerative cartridge of the breathing apparatus on chemically bound oxygen was carried out within the framework of the theoretical and probabilistic approach using the initial and Central moments of the random coordinate of the elementary act of chemisorption of carbon dioxide molecules by an oxygen-containing product based on potassium nadperoxide. The dependence on the time of expectation, standard deviation, asymmetry and kurtosis of the random coordinate of the elementary chemisorption act made it possible to establish the asymptotics of its probability density associated with the power of exothermic heat sources and to track the evolution of the working layer of the oxygen-containing product. On the basis of the obtained results, the reasons for the inefficient use of the protective resource of the insulating respiratory apparatus are established and the ways of a significant increase in this indicator are proposed.

Key words: *respirator, sorption dynamics, random process, thermal regime.*

Introduction

In emergency situations, there is a need to protect the respiratory system from several dangerous and harmful factors: toxic gases, lack of oxygen, high temperature, smoke. All massively visited objects (shopping malls, cinemas, hotels) should be provided with insulating respiratory protection, because the filter breathing apparatus can not cope with its function in the presence of a mixture of toxic gases and is not applicable in the combustion or displacement of oxygen [1].

Currently, there are insulating cylinder and apparatus with chemically bound oxygen [2]. Due to the higher density of the package, the last method of oxygen reservation is more promising, because it allows for a smaller mass and compact dimensions of the device to provide a longer period of protective action and high efficiency of application, which is especially important in an emergency [3]. In addition, the apparatus on chemically bound oxygen, unlike the balloon, does not need a separate carbon dioxide absorber and equipment that regulates the supply of oxygen when changing the physical load of a person. Oxygen in the apparatus on chemically bound oxygen is released by binding the exhaled CO₂ molecules located in the regenerative cartridge with porous granules of superoxides of alkali metals [4]:



That is, with an increase in physical activity, more CO₂ is released, and therefore necessary for breathing oxygen.

According to (1) chemisorption of carbon dioxide is accompanied by the release of a significant amount of heat, which makes staying in the machine less comfortable and in heavy operation can lead to layer-by-layer sintering of chemisorbent granules [5]. As a result, their pores are closed, the rate of internal diffusion, and with it the dynamic sorption activity of the regenerative cartridge falls [6, 7]. As a result, the critical slip of CO₂ leading to human poisoning occurs faster. This is especially undesirable in the short-term protective action of the self-rescuer [8]. According to the estimates given in [9], as a result of the sintering of granules, the actual duration of the protective action of breathing apparatus is 37–67% less than the theoretical one. In connection with the above, to optimize the temperature of the regenerative cartridge, it is important to know the power of its internal heat sources, as a function of time and coordinates.

Chemisorption dynamics as a random process

According to [10], after the formation of a quasi-stationary profile of the concentration of CO₂ molecules in the regenerative cartridge in the presence of stationary boundary conditions at the inlet to it, the fraction of unabsorbed molecules can be found as a solution of the integro-differential equation.

$$-\omega'_\xi = e^{-\tau} \left(e^{-\xi} + \int_0^\tau e^{\tau'} d\tau' \omega \right), \quad (2)$$

where ξ and τ are respectively the dimensionless coordinate and time associated with conventional variable ratio

$$\xi = \frac{x\beta}{v}, \quad \tau = \beta\gamma t, \quad (3)$$

where v – the rate of filtration of exhaled air, x – the depth of its penetration into the absorber layer, t – time, β and γ – phenomenological constants that determine the rate of chemisorption of CO₂ and its resource [11].

By solving (2) it is possible to predict the value ω at any time anywhere in the regenerative cartridge. Nevertheless, the coordinate of any elementary act of sorption is a random value and the theoretical-probabilistic approach to the description of the sorption dynamics proposed in [12, 13] is possible. In its framework $1 - \omega(\xi, \tau)$ the statistical probability of absorption of the CO₂ molecule by a layer of sorbent thickness ξ , while

$$f(\xi, \tau) = \frac{\partial(1 - \omega(\xi, \tau))}{\partial \xi} = -\omega'_\xi(\xi, \tau) \quad (4)$$

– differential distribution function coordinates of the elementary act of sorption.

The density of sources of heat of the exothermic maximum in the beginning of the regenerative cartridge in the frontal layers of the oxygen-containing product, where the maximum concentration of carbon dioxide pressure and not spent absorbing its share of the chemisorbent. Therefore, the implementation of the probability-theoretic approach at small times is of interest in this paper. In particular $\tau = 0$, when from (2), (4) follows

$$f(\xi, 0) = e^{-\xi} = \omega(\xi, 0), \quad (5)$$

this is easily interpreted, since the maximum entropy on the semi-infinite axis is provided by the exponential distribution law of a random variable [14].

Let's find out how it evolves $f(\xi, \tau)$ in the future. It is known [14, 15] that all information about the law of distribution of a random variable is contained in its statistical moments. Using (2) we can find the initial moments of arbitrary orders

$$\nu_n(\tau) = \int_0^\infty \xi^n f(\xi, \tau) d\xi. \quad (6)$$

To do this, taking into account (4), we perform integration in (6) in parts, taking into account that there is no slip through the infinite filter

$$\nu_n(\tau) = n \cdot J_{n-1}(\tau), \quad (7)$$

where

$$J_k(\tau) = \int_0^\infty \xi^k \cdot \omega(\xi, \tau) d\xi. \quad (8)$$

To calculate the improper integral $J_k(\tau)$, in addition to the relation (4) arising from the probability density determination, a relationship between $f(\xi, \tau)$ and $\omega(\xi, \tau)$ is necessary, taking into account the specifics of the model (2). Substituting (4) into (2) and performing the software differentiation τ , we obtain

$$\omega'_\tau(\xi, \tau) = f(\xi, \tau) + f'_\tau(\xi, \tau). \quad (9)$$

Given (9), the time $J_k(\tau)$ derivative is

$$\begin{aligned} J'_k(\tau) &= \int_0^\infty \xi^k \omega'_\tau(\xi, \tau) d\xi = \int_0^\infty \xi^k [f(\xi, \tau) + f'_\tau(\xi, \tau)] d\xi = \\ &= \nu_k(\tau) + \frac{\partial}{\partial \tau} \nu_k(\tau). \end{aligned} \quad (10)$$

Substituting (5) into (8) and performing n multiple integration in parts, we find the initial condition necessary to solve the equation (10)

$$J_k(0) = k! \quad (11)$$

Using (10), (11) calculate

$$J_k(\tau) = \int_0^\tau \nu_k(\tau') d\tau' + \nu_k(\tau) - \nu_k(0) + k!$$

and, substituting the result in (7), we obtain a recurrence relation

$$\nu_n(\tau) = n \cdot \left[\nu_{n-1}(\tau) + \int_0^\tau \nu_{n-1}(\tau') d\tau' \right]. \quad (12)$$

Together with the normalization condition

$$\nu_0(\tau) = \int_0^\infty f(\xi, \tau) d\xi = 1 \quad (13)$$

the ratio (12) allows you to consistently determine any $\nu_n(\tau)$ ($n=1, 2, \dots$)

$$\nu_1(\tau) = \tau + 1, \quad \nu_2(\tau) = \tau^2 + 4\tau + 2, \quad (14)$$

and notice the General pattern

$$\nu_n(\tau) = n! \sum_{k=0}^n (-1)^k \frac{\tau^k}{k!} \sum_{l=0}^k C_{n+1}^l (-1)^l, \quad (15)$$

According to (14)

$$m(\tau) = \nu_1(\tau) = 1 + \tau, \quad (16)$$

$$\sigma^2(\tau) = \nu_2(\tau) - \nu_1^2(\tau) = 1 + 2\tau = \mu_2(\tau), \quad (17)$$

where $m(\tau)$ is the mathematical expectation, $\sigma(\tau)$ – the standard deviation ξ .

In General, the connection of the Central moments with the initial ones has the form

$$\begin{aligned} \mu_n(\tau) &= \sum_k^{n-2} C_n^{n-k} (-1)^k \nu_{n-k}(\tau) \nu_1^k(\tau) + \\ &+ (-1)^n (1-n) \nu_1^n(\tau). \end{aligned} \quad (18)$$

With (15), (17), (18) you can find asymmetries and excesses of arbitrary orders

$$A_{2n-1}(\tau) = \frac{\mu_{2n-1}(\tau)}{\sigma^{2n-1}(\tau)}, \quad (n = 2, 3, \dots); \quad (19)$$

$$E_{2n}(\tau) = \frac{\mu_{2n}(\tau)}{\sigma^{2n}(\tau)} - 1 \cdot 3 \cdot \dots \cdot (2n - 1). \quad (20)$$

According to (16), (17) when $\tau = 0$ the expectation $m(\tau)$ and standard deviation $\sigma(\tau)$, as it should be, coincide $m(0) = \sigma(0) = 1$. This is the property of the exponential distribution (5).

Bearing in mind the asymptotics (5), the probability density at nonzero times will be searched in the form

$$f(\xi, \tau) = e^{-\xi} \left(1 + \sum_{n=1}^{\infty} \frac{\tau^n}{n!} R_n(\xi) \right), \quad (21)$$

where

$$R_k(\xi) = \sum_{l=0}^k R_{kl} \xi^l, \quad (22)$$

polynomials with the desired coefficients. To obtain them, we use (15) and the definition of the initial moments (6). Substituting (22) into (21) and the result into (6), for $(n = 0, 1, 2, \dots)$ get with (15)

$$\begin{aligned} n! \sum_{k=1}^n (-1)^k \tau^k \frac{1}{k!} \sum_{l=0}^k C_{n+1}^l (-1)^l = \\ = \sum_{k=1}^{\infty} \frac{\tau^k}{k!} \sum_{l=0}^k R_{kl} (n+l)! . \end{aligned} \quad (23)$$

The system (23) allows you to calculate everything R_{kl} for anything k . To do this, you need to write out $k+1$ the equations that contain τ^k and equate the coefficients in them τ^k . As a result, we obtain a certain system of linear algebraic equations with respect to unknown coefficients of the polynomial k -ro. Having solved it for $k = 1, 2, 3$, it is possible to notice the General regularity

$$R_{kl} = (-1)^{k-l} C_k^l / l! \quad (l = 0, 1, \dots, k). \quad (24)$$

Substituting (24), (19) in (18) find the desired probability density coordinates of the elementary act of chemisorption

$$f(\xi, \tau) = e^{-\xi} \sum_{k=0}^{\infty} \tau^k \sum_{l=0}^k \frac{(-1)^{k-l} \xi^l}{(k-l)! (l!)^2}. \quad (25)$$

The power density of the exothermic heat sources

According to [10], after the formation of a quasi-stationary profile of CO₂ concentration, the rate of its growth in the regenerated air is about lower than the rate of absorption of carbon dioxide in this place of the regenerative cartridge, which is explained by the high sorption capacity of potassium superoxide. One exhale – inhale lasts seconds, and the duration of the protective action of the device is measured in hours. That is, during the operation of the breathing apparatus, it restores several thousand portions of air placed in the regenerative cartridge. For this reason, in the

equation of the balance of CO₂ molecules, an increase in their concentration in the air flow in this section of the regenerative cartridge can be neglected. After that, the continuity equation will take the form

$$\partial U / \partial t = -v \partial W / \partial x, \quad (26)$$

in whom $U(x, t)$ and

$$W(x, t) = W_0 \omega(\xi(x), \tau(t)) \quad (27)$$

– respectively, the volume concentrations of absorbed and unbound CO₂ molecules, where W_0 the concentration of CO₂ at the entrance to the regenerative cartridge.

Moving to the right side (26) to the dimensionless coordinate, taking into account (4), we obtain that the contamination of this place of the regenerative cartridge increases with the speed

$$\partial U(x, t) / \partial t = \beta W_0 f(\xi(x), \tau(t)). \quad (28)$$

Equation (1) allows us to determine the amount of heat released by binding one CO₂ molecule and using (28) to find the power density of exothermic $Q(x, t)$ heat sources

$$Q(x, t) = q \beta W_0 f(\xi(x), \tau(t)). \quad (29)$$

To find out how much heat will be released in the area of the cartridge $(x, x + \Delta x)$ during the time $(t, t + \Delta t)$ you need to multiply $Q(x, t)$ by the cross-sectional area of the cartridge and integrate the time S and coordinate. At small Δx and Δt the answer is proportional to the probability density of the dimensionless coordinate of the elementary act of chemisorption of CO₂, which for this reason can be considered a dimensionless density of thermal power. Using the formula (25), graphs of its dependence on the coordinate are plotted (Fig. 1) and time (Fig. 2). It is seen as the removal of the working layer from the inlet to the cartridge, a normal distribution is formed ξ

$$f(\xi, \tau) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma(\tau)} e^{-\frac{(\xi-m(\tau))^2}{2\sigma(\tau)^2}}. \quad (30)$$

The reason is that, according to (16), (17) $\sigma(\tau)$, grows slower than $m(\tau)$, that is (in accordance with the rule of three Sigma [14]) the range of possible values ξ becomes as if infinite, and the maximum entropy on it is provided by the normal law [14].

Graphs in figures 1, 2 are indistinguishable by eye, because for a given section of the cartridge contribution to the evolution $f(\xi, \tau)$ due to the expansion of the working layer during the overcoming of this section, exactly offset by a shift $m(\tau)$ at the same time. This leads to a nontrivial property of the expression (25) for the probability density $f(\xi, \tau) = f(\tau, \xi)$ that does not have a rigorous proof but is confirmed numerically.

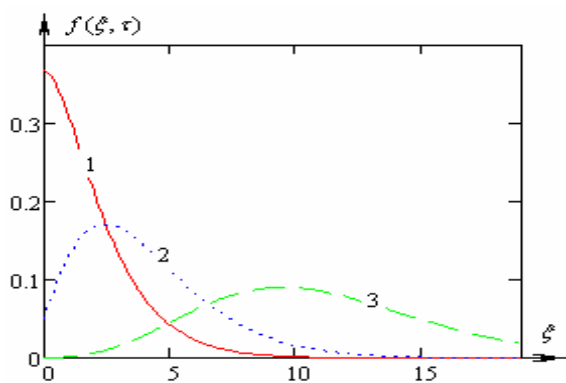


Figure 1. – Power distribution of exothermic heat sources at different times
(1 – $\tau = 1$; 2 – $\tau = 3$; 3 – $\tau = 10$)

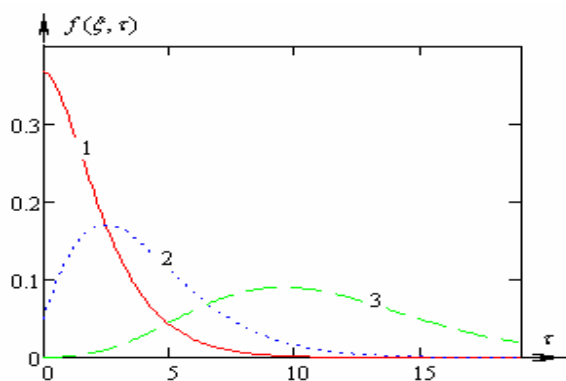


Figure 2. – Evolution of power sources of exothermic heat in various places of the regenerative cartridge
(1 – $\xi = 1$; 2 – $\xi = 3$; 3 – $\xi = 10$)

A direct proof of the evolution of the exponential distribution ξ into the normal one is provided by the formulas (15), (18)–(20), allowing to build a time dependence of asymmetries and excesses of arbitrary orders. In particular, at large times $A_3(\tau)$ and $E_4(\tau)$ tend to zero, as it should be in the formation of the normal distribution of the random coordinates of the elementary act of chemisorption of CO_2 molecules (Fig. 3).

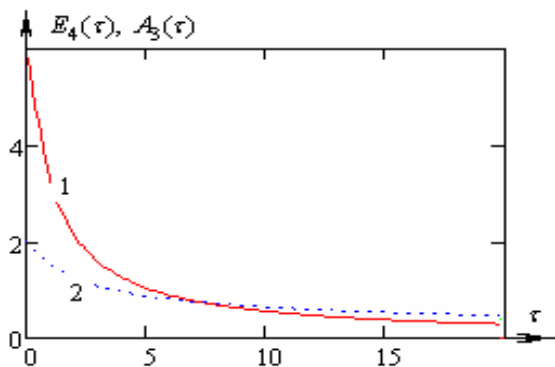


Figure 3. – Evolution of the kurtosis (the curve 1) and the asymmetry (curve 2) of the probability density of the coordinate of the elementary act of chemisorption

The initial values shown in figure ($A_3(0)=2$ and $E_4(0)=6$) correspond to the exponential law (5), which is easy to verify analytically.

Improving the efficiency of the resource use of the breathing apparatus on chemically bound oxygen

Substituting the distribution (30) into the normalization condition (13) and replacing the variables (3) under the integral, it is possible to obtain a normal distribution of the probability density of the usual (non-dimensioned) coordinate of the elementary act of sorption x and to establish a dependence on the usual time t of the mathematical expectation and the standard deviation of this random variable

$$m\{x\} = v\gamma t + v/\beta = m_x(t), \tag{31}$$

$$\sigma\{x\} = \sqrt{\frac{2vm\{x\}}{\beta} - \left(\frac{v}{\beta}\right)^2} = \sigma_x(t), \tag{32}$$

The same result is obtained if in (16), (17) using (3) go to the dimensional quantities

$$\beta m_x(t)/v = \beta\gamma t + 1, \tag{33}$$

$$(\beta\sigma_x(t)/v)^2 = 2\beta\gamma t + 1. \tag{34}$$

Multiplying (33) by v/β , we get (31). And expressing from (33) $\beta\gamma t$ and substituting the result in (34), we obtain (32). That is, the formulas (31), (32) are true not only after the formation of the normal law, but also at any time.

The limiting stage of the regeneration process, the filtered air is diffusion of CO_2 molecules inside porous granules of chemical sorbent [6]. Therefore, the value β is inversely proportional to the square of their diameter [16]

$$\beta \sim 1/d^2. \tag{35}$$

According to (31), (32), and also with figure 2, the farther the cross section of the entrance to the cartridge, the longer he has the status of an employee. And the more time it takes to dissipate the exothermic heat released into the environment. For this reason, the granules of the oxygen-containing product located at the inlet to the cartridge can be sintered. The second reason is the inefficient use of the resource protective breathing apparatus – the dead layer of the chemical adsorbent, concentrated mainly in the closing layers of the oxygen-containing product, do not end up working out by the time τ_{kp} , the critical breakthrough of CO_2

$$\omega(\eta, \tau_{kp}) = 0,375 = 1,5/4,5, \tag{36}$$

where η – the dimensioned length of the regenerative cartridge; 4.5 % – the CO_2 content in the exhaled air; 1.5% – the CO_2 content returned to the breath in the confined space of the insulating apparatus, starting with which carbon dioxide poisoning occurs [3].

The greater $\sigma\{x\}$ the moment τ_{kp} , the wider the dead layer and higher its share in a fixed mass of oxygen-containing product (associated in this mode of operation with a dimensionless cartridge length η [9]). For example $\sigma(\tau)$, if from the beginning is so great that

$$\int_{\eta}^{\infty} f(\xi, 0) d\xi \geq 0,375, \quad (37)$$

all oxygen-containing product will be a dead layer. In accordance with the above, to prevent sintering of granules of oxygen-containing product and reduce its dead layer, it is necessary to make $\sigma_x(0) = v/\beta$ large enough, and fix the width of the working layer of oxygen-containing product ($\sigma_x(t) = \sigma_x(0)$).

According to (32) this can be done in two ways. Or reducing the filtration rate as the air flow moves deeper into the cartridge [17, 18]. Or (taking into account (35)) reducing the diameter of the granules as they move away from the entrance to the cartridge β to grow according to the same law as $m\{x\}$. The practical implementation of the second method is much easier, since it does not require changes in the design of the respiratory apparatus.

That is, by increasing experimentally the diameter of the granules to prevent sintering of the frontal layers in the heaviest (maximum v) mode of operation of the device, according to (32), (35) it is necessary to reduce their diameter by law

$$d(x) = 1/\sqrt{x} \quad (x \geq v/\beta), \quad (38)$$

where $x = m_x(t)$ is the place where the working layer comes to the point in time t .

It should be noted that the dependence (38) is only the first step of the iterative procedure, for the further implementation of which and the calculation of the increase τ_{kp} , it is necessary to generalize the model (2) to the case of a variable $\beta = \beta(x)$.

An alternative way to optimize the dependence $\beta(x)$ in order to improve the efficiency of the use of chemically bound oxygen is to increase β (decrease d) abruptly as it moves away from the cartridge inlet. To determine the location and magnitude of the jumps, the model (2) should be generalized to the case of increasing CO_2 concentration at the entrance to the next part of the cartridge as the absorption resource of the previous one is exhausted. In [19] such approach is realized for the cartridge divided into two parts with different d . The increase in the number of jumps β will bring the step dependence $\beta(x)$ to the optimum.

As a result, the operating time of all sections (regardless of the depth of their occurrence) will be the same (not leading to consistent sintering of granules) and the working (and hence dead) layer of sorbent will be narrowed by the time it comes to the end of the regenerative cartridge.

Summary

In the paper has implemented an alternative (theoretical and probabilistic) approach to mathematical modeling of CO_2 sorption dynamics by regenerative cartridge of an insulating breathing apparatus. Within its framework, it has depended on the time of expectation and dispersion of the random coordinate of the elementary chemisorption act are established. The statistical moments of higher orders of this random variable are also found, which allowed to restore its probability density and to associate the latter with the power of exothermic heat sources located in the unit volume of an oxygen-containing product based on potassium superoxide. This contributed to the establishment of the reasons for the inefficient use of the protective resource of existing devices. Simple ways to improve this indicator were suggested. For their optimal implementation, the main directions of development of the theory of the working process of insulating breathing apparatus on chemically bound oxygen are outlined.

Concluding the article, we note that the ideology proposed in it allows us to go beyond the actual mathematical physics and connect to the modeling of the dynamics of sorption a powerful additional resource in the form of the main provisions of the theory of probability.

References

1. Basmanov, P.I. and other, 2002. [Personal protective equipment: reference manual]. GIPP "Iskusstvo Rossii", St. Petersburg, Russia, Pages: 400 p. (in Russian).
2. Didenko, N.S., 1990. [Regenerative respirators for mine rescue]. Moscow, Nedra, Russia, Pages: 158 (in Russian).
3. [Physiological and hygienic requirements for isolating personal protective equipment], 1981. Utv. Minzdravom SSSR 23.06.80. Moscow, Meditsina, Russia, Pages: 27 (in Russian).
4. Volnov, I.I., 1980. [Alkali metal peroxides]. Moscow, Nauka, Russia, Pages: 160 p. (in Russian).
5. Pak, V.V. and S.G. Ekhilevskiy, 1996. [On the use of the resource of mine respirators with chemically bound oxygen]. In: News of the Higher Institutions. Mining Journal. Russia, no 1, pp: 66–71. (in Russian).
6. Kanalina, V.S., V.M. Pomerantsev and G.V. Meshcheryakov, 2007. [Intradiffusion inhibition in catalytic processes]. In: Advances in Chemistry and Chemical Technology. Russia, Vol. XXI, no. 9(77), pp: 84–86. (in Russian).
7. Fandeyev, V.P. and K.S. Samokhina, 2015. [Methods of investigation of porous structures]. In: Science of Science. Russia, Vol. 7. no. 4, pp: 1–21. (in Russian).
8. GOST R 12.4.220–2001. [System of occupational safety standards. Means of individual protection of respiratory organs. Devices isolating Autonomous with chemically bound oxygen (self-rescuers) General technical requirements. Test method]. Vved. 2001-08-21. Izd-vo standartov, Moscow, Russia, 2001, Pages: 19 p. (in Russian).

9. Ekhilevskiy, S.G., 2002. [Increasing the life of breathing apparatus on chemically bound oxygen]: dis. ... d-ra tekhn. nauk: 05.26.01 / S.G. Ekhilevskiy. Donetsk, Ukraine, Pages: 279 p. (in Russian).
10. Pak, V.V. and other, 1994. [Mathematical model of the working process of the isolating mine respirator]. In: News of the Higher Institutions. Mining Journal. Russia, no 1, pp: 54–57. (in Russian).
11. Pak, V.V. and other, 1998. [The value of the phenomenological parameters of the model of chemisorption in the regenerative ammo mine respirators]. In: News of the Higher Institutions. Mining Journal. Russia, no 11, pp: 108–112. (in Russian).
12. Ekhilevskiy, S.G. and D.V. Pyatkin, 2009. [Contribution of higher moments of a random variable to the asymptotics of the distribution function]. In: Vestnik of Polotsk state University. Ser. C. Basic Sciences. Belarus, no 3, pp: 100–108. (in Russian).
13. Ekhilevskiy, S.G., O.V. Golubeva and S.A. Olshannikov, 2013. [Method of moments and dynamics of sorption activity at small times method of moments and dynamics of sorption activity at small times]. In: Vestnik of Polotsk state University. Ser. V. Industry. Applied science. Belarus, no 3, pp: 150–156. (in Russian).
14. Gnedenko, B.V., 1969. [Course of probability theory]. Nauka, Moscow, Russia, Pages: 400 (in Russian).
15. Ekhilevskiy, S.G. and O.V. Golubeva, 2009. [Connection of probability density with initial moments of a random variable]. In: News of Donetsk mining Institute. Ukraine, no 2, pp: 30–35. (in Russian).
16. Ekhilevskiy, S.G. and other, 2010 [Effect of the shape and size of the porous granule on the internal diffusion rate]. In: News of Donetsk mining Institute. Ukraine, no 1, pp: 105–113. (in Russian).
17. Ekhilevskiy, S.G. and V.V. Pak, 1996. [Optimal air flow through regenerative cartridges of mine respirators]. In: coal of Ukraine. Ukraine, no 1, pp: 25–26. (in Russian).
18. [Regenerative cartridge of breathing apparatus with chemically bound oxygen]: pat. UA 23427 / S.G. Ekhilevskiy, V.V. Pak, E.G. Ilinskiy. Opubl. 08.07.1998. (in Russian).
19. Ekhilevskiy, S.G. and S.A. Olshannikov, 2013. [Optimization of the thermal regime of the mine of the device for chemically bound oxygen]. In: News of the Higher Institutions. Mining Journal. Russia, no 6, pp: 35–42. (in Russian).

Єхилевський С.Г. «Вплив динамічної сорбційної активності на температурний режим регенеративного патрона дихального апарату на хімічно пов'язаному кисні». Математичне моделювання динамічної сорбційної активності регенеративного патрона дихального апарату на хімічно пов'язаному кисні здійснено в рамках теоретико-імовірнісного підходу з використанням початкових і центральних моментів випадкової координати елементарного акту хемосорбції молекул вуглекислого газу кисневмісним продуктом на основі надпероксиду калію. Залежність від часу математичного очікування, середньоквадратичного відхилення, асиметрії та ексцесу випадкової координати елементарного акту хемосорбції дозволила встановити асимптотику її цільності ймовірності, яка пов'язана з потужністю джерел екзотермічного тепла та відстежити еволюцію працюючого шару кисневмісного продукту. На підставі отриманих результатів встановлено причини неефективного використання захисного ресурсу ізолюючого дихального апарату та запропоновано шляхи істотного збільшення цього показника.

Ключові слова: респіратор, динаміка сорбції, випадковий процес, тепловий режим.

Ехилевский С.Г. «Влияние динамической сорбционной активности на температурный режим регенеративного патрона дыхательного аппарата на химически связанном кислороде». Математическое моделирование динамической сорбционной активности регенеративного патрона дыхательного аппарата на химически связанном кислороде осуществлено в рамках теоретико-вероятностного подхода с использованием начальных и центральных моментов случайной координаты элементарного акта хемосорбции молекул углекислого газа кислородсодержащим продуктом на основе надпероксида калия. Зависимость от времени математического ожидания, среднеквадратического отклонения, асимметрии и эксцесса случайной координаты элементарного акта хемосорбции позволила установить асимптотику ее плотности вероятности, связанную с мощностью источников экзотермического тепла и отследить эволюцию работающего слоя кислородсодержащего продукта. На основании полученных результатов установлены причины неэффективного использования защитного ресурса изолирующего дыхательного аппарата и предложены пути существенного увеличения этого показателя.

Ключевые слова: респиратор, динамика сорбции, случайный процесс, тепловой режим.

Статья поступила в редакцию 21.02.2017

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

УДК 303.732.4:004.413.4:614.8+614.7+331.45+502.5+504.05

Оценка рисков опасных и неблагоприятных событий по данным мониторинга городской среды

Звягинцева А.В.

Донецкий национальный технический университет
Белгородский государственный национальный исследовательский университет
anna_zv@ukr.net

Звягинцева А.В. «Оценка рисков опасных и неблагоприятных событий по данным мониторинга городской среды». Функционирование городов может приводить к ситуациям, связанным с рисками для здоровья населения и природной среды, рисками бытового, производственного и дорожно-транспортного травматизма, а также техногенных аварий. Оценка рисков опасных и неблагоприятных событий по данным мониторинга городской среды может проводиться на основе определения рисков совместных событий. На основе общего подхода проведена систематизация различных событий, наблюдаемых при мониторинге городской среды. Показано, что вероятность состояния (риск) может характеризоваться несколькими взаимосвязанными событиями. При этом выделены несколько групп событий различной сложности, которые причинно-следственно связаны между собой. Для таких событий обоснованы и приведены расчетные формулы вероятности их реализации. Предложено комплексную оценку качества городской среды и анализ риска событий негативных воздействий на население основывать на вероятностных подходах моделирования данных наблюдений, полученных субъектами мониторинга. Предложен феноменологический метод определения рисков опасных событий, отличающийся учетом причинно-следственных связей. На примере крупных городов России оценены риски значимых событий, связанных с загрязнением атмосферного воздуха. Выполнено ранжирование городов России по опасности хронических воздействий при загрязнении воздуха.

Ключевые слова: безопасность городов, опасные и неблагоприятные события и их риски, методы оценки рисков.

Введение

Сегодня под мониторингом на городском уровне понимают систему наблюдений, позволяющую оценить изменения городской среды под влиянием человеческой деятельности и природных факторов. Мониторинг опасностей на уровне города охватывает целый ряд опасных и неблагоприятных событий, связанных с экологическими изменениями, социально-гигиеническими факторами, с рисками для здоровья населения, бытовым, производственным, дорожно-транспортным травматизмом, техногенными авариями и природными катаклизмами.

Экологический мониторинг как государственная система наблюдения, анализа, оценки и прогнозирования состояния окружающей природной среды является, с одной стороны, основой для обоснования управленческих решений, а с другой – системой, представляющей сведения о реальных параметрах и характеристиках окружающей среды [1]. В экологическом мониторинге преобладают методы анализа опасности и риска, которые применяются по отношению к атмосферному воздуху, воде, почвам, процессам изменения их состояния и связанными с этими процессами опасными событиями.

Социально-гигиенический мониторинг направлен на установление, предупреждение, устранение или уменьшение факторов и условий вредного влияния среды обитания на здоровье человека в целях обеспечения санитарно-эпидемиологического благополучия населения [2, 3]. Риск для здоровья населения при воздействии химических веществ оценивается на основе определения значений вероятности развития и степени выраженности неблагоприятных последствий для здоровья нынешних и будущих поколений.

Оценка риска производственного и бытового травматизма представляет собой определение фактической меры вероятности повреждения здоровья или гибели человека вследствие воздействия на него опасных и вредных производственных факторов или опасных факторов бытовой среды. Несчастный случай является стохастическим событием, чаще всего связанным с опасными факторами городской среды, неудовлетворительным состоянием профилактической работы по предупреждению травматизма, а также с рассеянностью и неосторожностью. Для оценки уровня травматизма используют ряд показателей: частоты травматизма, коэффициент тяжести травматизма, коэффициент частоты

несчастных случаев со смертельным исходом и коэффициент потерь [4, 5].

В свою очередь, риск техногенных аварий определяется опасными техногенными происшествиями, крупными авариями, катастрофами (неконтролируемый взрыв, выброс опасных веществ и т.д.), создающими на объекте (территории) угрозу жизни и здоровью людей и приводящими к разрушению зданий, сооружений, оборудования и транспортных средств, нарушению производственного или транспортного процесса, а также к нанесению ущерба окружающей природной среде [6–13]. Основной целью анализа риска аварий является установление степени аварийной опасности опасных производственных объектов для заблаговременного предупреждения угроз аварий жизни и здоровью человека, имуществу и окружающей среде; разработка, реализация и своевременная корректировка рекомендаций по снижению риска и (или) мероприятий, направленных на снижение масштаба последствий аварии и размера ущерба. Вероятность аварии определяется значениями вероятностей отказов элементов, находящихся в ветвях деревьев.

Оценка рисков для городского населения связана с изучением вероятностей опасных событий и ситуаций, приводящих к ущербу жизни и здоровью людей, а также городской инфраструктуры.

Исходя из вышеприведенного, целью статьи является разработка методов оценки риска негативных воздействий на основе определения вероятности опасных и неблагоприятных событий по данным мониторинга городской среды.

Опасные и неблагоприятные события и оценка их рисков

Проблема комплексной оценки качества городской среды, а также анализа риска опасных природных и антропогенных процессов на урбанизированных территориях является одной из фундаментальных проблем в области природной и техногенной безопасности [14–20]. Сегодня это направление исследований в своей базовой методологии опирается преимущественно на экспертные методы, которые по своей природе являются субъективными, их достоверность зависит от опыта эксперта и его аналитических возможностей при оценке развития ситуаций. Для решения данной проблемы при изучении природных и техногенных процессов предлагается использовать естественнонаучные методы. При этом оценка качества городской среды, а также анализ опасных событий, связанных с превышением концентрациями загрязнителей допустимых норм, может основываться на феноменологических подходах описания количественных данных,

полученных в процессе наблюдений или опыта. Это позволит системно подойти к решению проблемы и по комплексу показателей проанализировать имеющуюся разноплановую информацию.

Подход, связанный с оценкой рисков опасных и неблагоприятных событий в городах, отличается наличием определенных методических обоснований и тесной связью с городскими системами экологического, промышленного и социально-гигиенического мониторинга. В свою очередь, анализ рисков предусматривает предупреждение опасных и негативных последствий действий опасности на объекты воздействия и обоснование управленческих решений по снижению уровня риска [21–30].

Оценка риска проводится на основе событий, отражающих появление опасных или неблагоприятных состояний, эффектов или последствий. Например, при загрязнении среды такая оценка обычно проводится по двум параметрам фактора опасности – концентрации вредного вещества и времени его действия на население. При оценке производственного риска обязательному учету подлежат профессиональные заболевания, инфекционные заболевания, травмы. При бытовом и промышленном травматизме оценка осуществляется по опасным событиям, связанным со смертельным групповым или индивидуальным травматизмом, а также с травматизмом другой степени тяжести последствий. Оцениваются также частоты аварий с гибелью (травмированием) определенного количества людей.

Параметры фактора опасности рассматриваются как характеристические величины опасных событий, связанных с негативным воздействием. При построении функций риска оценивают вероятности таких событий и устанавливают их связи с негативными последствиями (более сложными событиями): эффектами, заболеваемостью, смертностью, связанными с загрязнением среды, промышленными авариями, дорожно-транспортными происшествиями, природными катаклизмами и т.д.

Например, в экологическом и социально-гигиеническом мониторинге подобные события могут быть систематизированы на основе общего подхода оценки рисков опасных событий.

1. При загрязнении окружающей среды одним вредным веществом в момент наблюдения реализуется событие, связанное с определением концентрации вещества, как характеристической величины данного события. Наблюдения осуществляются на контрольных постах, створах или участках и все последовательности наблюдений представляются временными рядами, каждый из которых

относится к определенному объекту – месту контроля загрязнения среды. Все события являются несовместными.

Вероятность события, что в определенный момент времени наблюдаемая концентрация C вредного вещества меньше некоторого заданного значения c определяется из функции распределения $P(c) = P(C < c)$, которая находится эмпирически. Данная функция чаще всего подчиняется логарифмически-нормальному закону распределения.

На одном контрольном посту, створе или участке все наблюдаемые события (за год, месяц, сутки, с периодичностью 6 часов и т.д.) образуют полную группу. Для дискретных событий $\sum_{i=1}^m P_i = 1$, для непрерывных случайных величин $\int_0^{\infty} f(c)dc = 1$, где i – текущий номер наблюдения событий в разные моменты времени, m – количество наблюдений, а $f(c)$ – функция распределения случайной величины, причем $c \geq 0$.

Такая оценка обычно производится для определенного вида негативного воздействия на основе использования безопасных уровней (например, ПДК_{с.с.}, ПДК_{м.р.}, RfC, ARfC и т.д.). Вероятность таких событий может выступать в виде рисков нарушения качества атмосферного воздуха, воды или почв.

Если контролируются концентрации одного и того же вредного вещества на нескольких объектах наблюдения (например, в разных пунктах на территории города), то все события также образуют полную группу. Для дискретных событий $\sum_{i=1}^r P_i = 1$, для непрерывных случайных величин $\int_0^{\infty} f(c)dc = 1$, где i – номер объекта контроля (поста, створа или участка), c – среднегодовая (среднемесячная, среднесуточная) концентрация, r – количество объектов контроля, а $f(c)$ – функция распределения случайной величины, оцениваемая по опытным данным для всех объектов контроля. Все события в данном случае можно рассматривать как совместные, так как они привязываются к одному и тому же моменту времени – суткам, месяцам, годам.

2. При загрязнении среды несколькими вредными веществами на объекте контроля (в населенном пункте) реализуется совместное событие одновременного наблюдения суммарного загрязнения. Для данного события, в случае если все события независимы, вероятность сложного события равна произведению вероятностей более простых событий:

$$P_n(c) = P_1(c_1) \cdot P_2(c_2) \cdot \dots \cdot P_n(c_n), \quad (2)$$

где c_1, \dots, c_n – концентрации различных вредных веществ.

Для зависимых событий вероятность сложного события будет равна:

$$P_n(c) = P_1(c_1) \cdot P_{c_1}(c_2) \cdot \dots \cdot P_{c_{n-1}}(c_n), \quad (3)$$

где условные вероятности $P_{c_{i-1}}(c_i)$ вычисляются в предположении, что все предыдущие события, связанные с загрязнением, произошли, P_k – соответствующие распределения. Вероятности таких событий могут быть оценены по опытным данным путем определения распределений сложных и простых событий и изучения взаимосвязей между ними.

3. При загрязнении среды одним вредным веществом и наблюдении в окружающей среде некой опасной концентрации за определенный период времени может реализоваться сложное событие j возникновения негативного эффекта у населения (например, физиологическое отклонение, заболевание, смерть).

Вероятность опасного события j определяется в виде функции риска для заданного вида воздействия (острого, хронического, рефлекторного, канцерогенного и т.д.):

$$R_j(c) = w_j(c) \cdot P(c), \quad (4)$$

где $w_j(c)$ – условная вероятность нанесения вреда человеку в случае реализации опасности наступления негативных событий j при загрязнении среды вредным веществом с концентрацией величиной c ; $P(c)$ – вероятность загрязнения среды вредным веществом с концентрацией величиной c .

В качестве условной вероятности может выступать экспериментально определенная зависимость «доза-эффект» для изучаемого вредного вещества и заданного вида негативного воздействия. Данное сложное событие j реализуется за определенный промежуток времени, т.к. эффект негативного воздействия наблюдается с некоторым запаздыванием после воздействия вредного вещества на биологический объект.

4. При загрязнении окружающей среды одним веществом и наблюдении в разные моменты времени в различных опасных концентрациях этого вещества на объекте контроля (в населенном пункте) может реализоваться сложное событие j возникновения негативного эффекта у биообъекта. Вероятность такого опасного события j определяется в виде функции риска для определенного вида воздействия (острого, хронического, рефлекторного, канцерогенного и т.д.):

$$R_j(c) = \sum_{i=1}^m w_j(c_i) \cdot P(c_i), \quad (5)$$

где $w_j(c_i)$ – условная вероятность нанесения вреда человеку (биосистеме, объекту) в случае реализации опасности наступления негативных событий j при загрязнении среды вредным веществом с концентрацией c_i ; $P(c_i)$ – вероятность загрязнения среды вредным веществом с концентрацией величиной c_i , i – текущий номер наблюдения событий в разные моменты времени, m – количество наблюдений. При этом события загрязнения среды образуют полную группу несовместных событий, т.е. $\sum_{i=1}^k P(c_i) = 1$. В данном случае в качестве условных вероятностей $w_j(c_i)$ также может выступать зависимость «доза-эффект» для изучаемого вредного вещества и заданного вида негативного воздействия.

Вероятности таких событий определяются в задачах оценки риска загрязнения окружающей среды. Для оценки вероятностей достаточно иметь опытные данные по мониторингу загрязнения воздуха, воды или почв на контрольном посту, створе или участке или в населенном пункте в течение некоторого времени (например, года, месяца) и полную информацию о параметрах зависимости «доза-эффект» для определенного вещества.

Для бытового, производственного и дорожно-транспортного травматизма опасные события оцениваются по факту смертельного группового или индивидуального травматизма, а также травматизма другой степени тяжести. Оцениваются также частоты аварий с гибелью (травмированием) определенного количества людей.

При этом общий подход теории вероятности, связанный со сложением и умножением совместных и несовместных событий сохраняется и риски оцениваются по определению вероятности таких событий.

Таким образом, исходя из имеющихся опытных данных о событиях, характеризующих состояние городской среды, может быть определена функция риска, представляющая собой многомерное вероятностное распределение. На основе применения функции риска $R_j = R_j(p_1/p_{1_0}, \dots, p_n/p_{n_0})$, представленной относительно параметров фактора опасности p_i , опасных событий j и безопасных уровней p_{i_0} можно предложить методы оценки опасности для городской среды.

Пример оценки рисков опасных событий по данным мониторинга городской среды

Покажем, каким образом, используя информацию об эмпирическом распределении вероятности опасных событий можно получить расчетные зависимости для оценки риска при загрязнении окружающей среды в городах. Для этой цели в качестве примера будем использовать данные о загрязнении атмосферного воздуха в крупных городах России [31].

Предположим, что в массивах опытных данных содержится количественная информация о концентрациях в атмосферном воздухе n загрязняющих веществ p_1, p_2, \dots, p_n . Зададим n -мерное пространство $H^n\{p_1, p_2, \dots, p_n\}$, тогда состояние любого объекта (города) в n -мерном пространстве в каждый момент времени будет отображаться многомерной точкой $M = M(p_1, p_2, \dots, p_n)$, процесс изменения состояния объекта во времени – многомерной кривой, которая описывается точкой M в этом пространстве. Каждой опытной точке M_i поставим в соответствие некоторую вероятность характерных опасных событий w_i .

Рассмотрим совместное событие A_i одновременного наблюдения нескольких показателей и определим, что состояние объекта в заданный момент времени будет определяться не только совокупностью концентраций веществ $(p_{1i}, p_{2i}, \dots, p_{ni})$, отображающихся точкой M_i , но и данным наблюдаемым событием. Неблагоприятным будем считать событие A_i , для которого хотя бы одна концентрация p_1, p_2, \dots, p_n превышает установленные нормы.

Для примера рассмотрим совместное событие одновременного наблюдения четырех наиболее распространенных веществ, загрязняющих атмосферный воздух в городах: пыли, диоксида серы, оксида углерода и диоксида азота. Соответственно введем показатели загрязнения p_1, p_2, p_3, p_4 в виде концентраций этих веществ в воздухе. Определим, что уровень загрязнения воздуха будет характеризоваться событием совместного наблюдения концентраций этих веществ. Для того, чтобы оценить риски загрязнения атмосферного воздуха необходимо иметь возможность определять положение каждого города в пространстве состояний $H^4\{p_1, p_2, p_3, p_4\}$ относительно опорного состояния. Введем в рассмотрение некий объект, показатели загрязнения воздуха для которого равны предельно допустимым концентрациям веществ. Состояние данного объекта примем в качестве опорного, при этом зададим следующие

концентрации: для пыли $p_{1_0} = 0,15 \text{ мг/м}^3$; для диоксида серы $p_{2_0} = 0,05 \text{ мг/м}^3$; для оксида углерода $p_{3_0} = 3,0 \text{ мг/м}^3$; для диоксида азота $p_{4_0} = 0,04 \text{ мг/м}^3$. В связи с тем, что в городах события, связанные с загрязнением атмосферы различными веществами, обычно зависимы, вероятности таких совместных событий (статистические вероятности состояния w) будем оценивать алгоритмически [24, 32, 33]. С этой целью вероятность событий определялась путем разбиения всего пространства H^4 на четырехмерные параллелепипеды. Для этого длина всего диапазона наблюдаемых значений показателей p_1, p_2, p_3, p_4 от минимального до максимального делилась на одинаковое количество интервалов группирования и, в образованных таким образом геометрических фигурах, подсчитывалось количество находящихся точек M_i . Относительные частоты находились делением числа этих точек на общее количество всех городов. Принципы, подходы и гипотезы, положенные в основу разработанного метода, а также методика оценки приведены в работах [24, 32–35]. Вероятность w подсчитывалась во всей группе изучаемых городов.

Для поиска связей между статистической вероятностью опасного события и показателями загрязнения воздуха воспользуемся методом пробит-анализа. Для крупных городов России свяжем вероятность w с распределениями переменных в массиве опытных данных, в результате чего будем иметь следующую регрессионную зависимость:

$$\begin{aligned} \text{Pr ob} &= -0,2501 + s; \\ w &= \frac{1}{\sqrt{2 \cdot \pi}} \int_{-\infty}^{\text{Pr ob}} \exp\left(-\frac{t^2}{2}\right) dt; \\ s &= 0,3001 \cdot \ln\left(\frac{p_1}{p_{1_0}}\right) + 0,2038 \cdot \ln\left(\frac{p_2}{p_{2_0}}\right) + \\ &+ 0,3358 \cdot \ln\left(\frac{p_3}{p_{3_0}}\right) + 0,6206 \cdot \ln\left(\frac{p_4}{p_{4_0}}\right) \end{aligned} \quad (7)$$

Величину s , учитывая ее вид, определим как энтропию пространства состояний H^4 . Коэффициент корреляции зависимости (7) составил 0,89, результаты обработки данных приведены на рисунке 1. Исходные величины относились к значениям $p_{1_0}, p_{2_0}, p_{3_0}, p_{4_0}$, которые соответствуют опорному состоянию. Алгоритм подсчета вероятности является однозначным, поэтому существует зависимость вероятности w от исходных переменных. Как видно из рисунка 1, путем преобразования координат эту нелинейную зависимость можно представить с

определенной степенью точности многомерной плоскостью. Такое приближение упрощает процесс построения модели рисков.

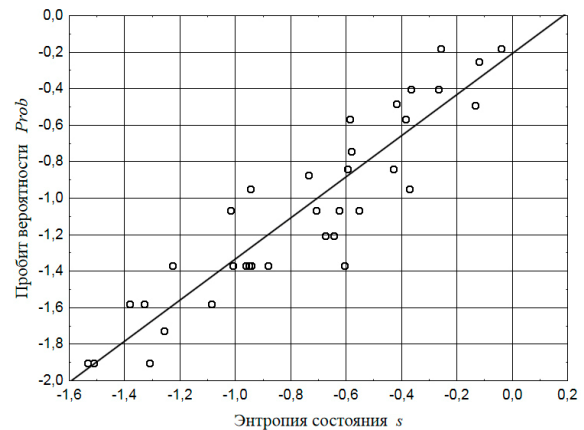


Рисунок 1. – Зависимость вероятности w совместных событий от энтропии состояния s при загрязнении атмосферы крупных городов России

Рассмотрим теперь для тех же данных процесс оценки риска события, связанного с нанесением вреда биообъекту. Изучим связи между вероятностями событий загрязнения атмосферы и концентрациями вредных веществ. Для простых событий загрязнения воздуха пылью, диоксидом серы, оксидом углерода и диоксидом азота распределения вероятностей приведены на рисунке 2. Для пыли, оксида углерода и диоксида азота наблюдаются логарифмически-нормальные распределения событий, а для диоксида серы – нормальные.

Соответствующие регрессионные уравнения для значений пробита с коэффициентами корреляции 0,95–0,99 могут быть представлены в виде:

$$\begin{aligned} \text{пыль: } \text{Pr ob} &= 0,2190 + 1,3040 \cdot \ln\left(\frac{p_1}{p_{1_0}}\right); \\ \text{SO}_2: \text{Pr ob} &= -1,3394 + 4,3443 \cdot \frac{p_2}{p_{2_0}}; \\ \text{CO: } \text{Pr ob} &= 1,1881 + 1,4658 \cdot \ln\left(\frac{p_3}{p_{3_0}}\right); \\ \text{NO}_2: \text{Pr ob} &= -0,0726 + 1,7333 \cdot \ln\left(\frac{p_4}{p_{4_0}}\right). \end{aligned} \quad (8)$$

В свою очередь, уравнение связи вероятности совместных событий наблюдения концентраций указанных четырех веществ (события j) с вероятностью совместных событий j_n для случая, когда события загрязнения воздуха являются независимыми, имеет вид:

$$w = 0,05080 + 1,03205 \cdot w_n, \quad (9)$$

где w – вероятность совместно наблюдаемых значений показателей загрязнения воздуха,

определенная непосредственным алгоритмическим расчетом; w_n – вероятность совместно наблюдаемых значений показателей загрязнения воздуха в случае, когда события наблюдения концентраций пыли, оксида углерода, диоксида серы и азота считаются независимыми. Вероятность w_n определяется с учетом зависимостей (8) по формуле $w_n = w_1(p_1) \cdot w_2(p_2) \cdot w_3(p_3) \cdot w_4(p_4)$. Коэффициент корреляции уравнения (9) составил 0,98.

Теперь можно показать, что предложенный метод дает возможность определить риск нанесения вреда биологическому объекту при хроническом воздействии в случае, если известны характеристики зависимости «доза-эффект». Используя для каждого вещества зависимости для расчета риска (4) и зависимости (8), можно получить уравнение оценки риска негативных эффектов при совместном действии нескольких вредных веществ:

$$Pr ob_r = -4,5597 + s ;$$

$$s = 0,3073 \ln \left(\frac{p_1}{p_{1_0}} \right) + 1,0473 \ln \left(\frac{p_4}{p_{4_0}} \right). \quad (10)$$

На рисунке 2 представлено данное уравнение в координатах пробит-энтропия, полученное на основе обработки данных о загрязнении атмосферного воздуха крупных городов России, при этом коэффициент корреляции составил 0,90.

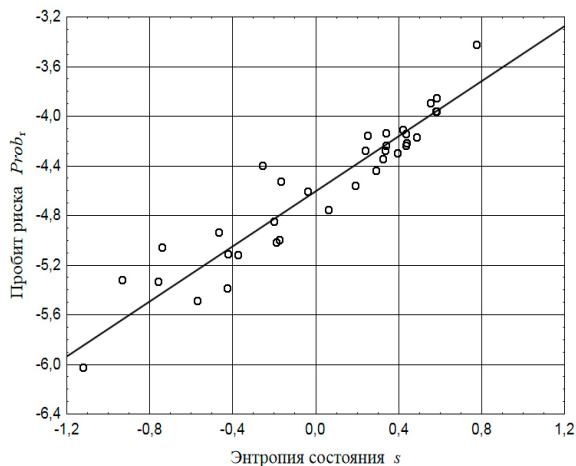


Рисунок 2. – Зависимость риска хронического воздействия R от энтропии состояния s при загрязнении атмосферы крупных городов России

На основе данного уравнения зависимость определяется как S -образная кривая, проходящая через две точки: $M(HQ = 1; R_p)$ и $N(HQ_n; R_n)$, где R_p – риск, равный 10^{-6} ; R_n – риск, равный 0,05 при хроническом действии вредного вещества; $HQ_n = MHK/ПДК$, MHK – максимально недействующая концентрация вещества,

которая принималась с учетом максимального коэффициента запаса: $MHK = 10ПДК$.

На основе полученных данных выполнено ранжирование городов России по опасности хронических воздействий на население при загрязнении воздуха (табл. 1).

Таблица 1. – Значения риска хронического воздействия на население R и ранги крупнейших городов России, связанные с уровнем негативных воздействий на население

Города	Риск R (ранг)	Города	Риск R (ранг)
Астрахань	0,000003 (21)	Новосибирск	0,000013 (12)
Барнаул	0,000011 (14)	Омск	0,000000 (32)
Владивосток	0,000038 (4)	Оренбург	0,000005 (20)
Волгоград	0,000010 (16)	Пенза	0,000001 (25)
Воронеж	0,000313 (1)	Пермь	0,000000 (30)
Ижевск	0,000000 (33)	Рязань	0,000000 (31)
Иркутск	0,000012 (13)	Самара	0,000000 (27)
Казань	0,000059 (2)	Саратов	0,000010 (15)
Кемерово	0,000005 (19)	Тольятти	0,000001 (24)
Киров	0,000000 (34)	Тюмень	0,000015 (10)
Краснодар	0,000014 (11)	Ульяновск	0,000049 (3)
Красноярск	0,000009 (17)	Уфа	0,000002 (23)
Липецк	0,000000 (26)	Хабаровск	0,000018 (7)
Москва	0,000017 (8)	Челябинск	0,000000 (28)
Новокузнецк	0,000016 (9)	Ярославль	0,000000 (29)

Таким образом, исходя из вероятностной оценки сложных совместных событий, связанных с наблюдением показателей загрязнения воздуха и нанесением вреда реципиентам, можно оценить риски воздействий на население по факторам опасности.

Подобный подход может быть использован при оценке рисков, связанных с промышленными авариями и бытовым травматизмом.

Выводы

На основе существующих данных мониторинга городской среды возможно определение рисков опасных и неблагоприятных событий, наблюдаемых в городах.

В данной статье на прикладном примере показано, что при использовании данных мониторинга о загрязнении окружающей среды возможно:

- алгоритмическое определение значений вероятностей сложных опасных событий, связанных с загрязнением среды и негативным воздействием на реципиентов;
- определение условных вероятностей для сложных опасных событий по отношению к более простым событиям;
- моделирование и количественное определение рисков опасных событий для различных видов негативных воздействий на население;
- ранжирование городов и населенных пунктов по рискам негативных воздействий, исходя из среднестатистических тенденций формирования негативных эффектов во всей группе изучаемых объектов.

Подобная оценка рисков опасных и благоприятных событий может быть адаптирована ко всем сложным неблагоприятным и опасным событиям, которые регистрируются при мониторинге городской среды.

Список литературы

1. РД 52.04.186-89. Руководство по контролю загрязнения атмосферы. М.: Госком. СССР по гидрометеорологии – Минздрав СССР. 1991. – 691 с.
2. Р 2.1.10.19920-04. Руководство по оценке риска для здоровья населения при воздействии химических веществ, загрязняющих окружающую среду. – М.: Федеральный центр госсанэпиднадзора Минздрава России, 2004. – 143 с.
3. СанПиН 2.1.6.1032-01. Гигиенические требования к обеспечению качества атмосферного воздуха населенных мест. Утв. 17.05.01, № 14. – М.: Информационно-издательский центр Минздрава России, 2001. – 14 с.
4. Р 2.2.1766-03. Руководство по оценке профессионального риска для здоровья работников. Организационно-методические основы, принципы и критерии оценки. – М.: ФЦГСЭН Минздрава России, 2004. – 24 с. (утв. Главным санитаром РФ 24.06.03).
5. Гигиенические критерии оценки и классификация условий труда по показателям вредности и опасности факторов производственной среды, тяжести и напряженности трудового процесса: Руководство Р 2.2.755-99. М.: ФЦГСЭН Минздрава России, 1999. – 192 с.
6. Белов П.Г. Системный анализ и моделирование опасных процессов в техносфере. – М.: Академия, 2003. – 507 с.
7. Сафонов В.С., Одишария Г.Э., Швыряев А.А. Теория и практика анализа риска в газовой промышленности. – М.: Олита, 1996. – 207 с.
8. Руководство по безопасности «Методические основы по проведению анализа опасностей и оценки риска аварий на опасных производственных объектах» (утв. приказом Ростехнадзора от 11.04.2016 № 144) – взамен РД 03-418-01.
9. Методика оценки последствий аварийных выбросов опасных веществ («Токси»). – М.: Ростехнадзор, 2005. – 67 с. – Электр. ресурс. URL: <http://www.safety.ru> (02.04.17).
10. Хенли Э. Дж., Кумамото Х. Надежность технических систем и оценка риска. – М.: Машиностроение, 1981. – 526 с.
11. Маршал В.К. Основные опасности химических производств. – М.: Мир, 1989. – 672 с.
12. Бесчастнов М.В. Промышленные взрывы: оценка и предупреждение. – М.: Химия, 1991. – 432 с.
13. Методика визначення ризиків та їх прийнятних рівнів для декларування об'єктів підвищеної небезпеки. – К.: Основа, 2003. – 191 с.
14. Алимов А.Ф., Дмитриев В.В., Флоринская Т.М. и др. Интегральная оценка экологического состояния и качества среды городских территорий. Под ред. А.К. Фролова. – СПб., 1999. – 253 с.
15. Яйли Е.А. Научные и прикладные аспекты управления урбанизированными территориями на основе инструмента риска и новых показателей качества окружающей среды. – СПб.: РГГМУ, ВВМ, 2006. – 448 с.
16. Битюкова В.Р. Социально-экологические проблемы развития городов России. – 3-е изд. – М.: Либроком, 2012. – 448 с.
17. Акимов В.А., Новиков В.Д., Радаев Н.Н. Природные и техногенные чрезвычайные ситуации: опасности, угрозы, риски. – М.: ЗАО ФИД «Деловой экспресс», 2001. – 344 с.
18. Какарека С.В. Методические подходы к оценке суммарного загрязнения атмосферного воздуха // Природопользование: Сб. научн. тр. – Минск: СтроймедиаПроект, институт природопользования. Вып. 25, 2014. – С. 61–69.
19. Временные методические указания по проведению комплексной экологической оценки состояния атмосферного воздуха большого города / Под ред. В.Б. Миляева. – М.: Минприроды России, НИИ Атмосфера, 1995.
20. Посібник до розроблення матеріалів оцінки впливів на навколишнє середовище (до ДБН А.2.2.1-2003). – Харків: УкрНДІПНТВ, 2005. – 332 с.
21. Качинський А.Б. Безпека, загрози і ризик: наукові концепції та математичні методи. – К.: ІПНБ РНБОУ, 2004. – 472 с.
22. Guidelines for Ecological Risk Assessment / U.S. Environmental Protection Agency. Washington, DC, 1998, 188 p.
23. Звягинцева Г.В. Методика з оцінки екологічних ризиків при забрудненні навколишнього природного середовища // Вісник ДонНУ. Серія А: Природничі науки, 2009. Випуск 2. – С. 370–379.
24. Звягинцева А.В. Вероятностные методы комплексной оценки природно-антропогенных систем / Под науч. ред. д.т.н., проф. Г.В. Аверина. – М.: Спектр, 2016. – 257 с.
25. Аверин Г.В., Звягинцева А.В. Опасность и риск как характеристики особых состояний экологических и техногенных систем // Екологічна безпека, № 2/2008. – С. 22–30.
26. Звягинцева А.В. Системы оценки опасности и риска при загрязнении атмосферного воздуха: попытка обобщения подходов // Системный анализ и информационные технологии в науках о природе и обществе, №1(6)–2(7), 2014. – С. 131–163.

27. Методика «Критерии оценки экологической обстановки территорий для выявления зон чрезвычайной экологической ситуации и зон экологического бедствия». – М.: МПР РФ, 1992. URL: http://businesspravo.ru/Docum/DocumShow_DocumID_10592.html (02.04.17).
 28. Аверин Г.В., Звягинцева А.В. Закономерности формирования опасных процессов в сложных системах // Наукові праці Донецького національного технічного університету. Сер.: Інформатика, кібернетика та обчислювальна техніка. Вип. 9(132), 2008. – С. 221–232.
 29. Саноцкий И.В., Уланова И.П. Критерии вредности в гигиене и токсикологии при оценке опасности химических соединений. – М.: Медицина, 1975. – 328 с.
 30. Временные методические указания по обоснованию предельно допустимых концентраций (ПДК) загрязняющих веществ в атмосферном воздухе населенных мест. – М.: Минздрав СССР; Главное санитарно-эпидемиологическое управление. Утв. Минздравом СССР 15.06.88, № 4681–88. 1989. – 110 с.
 31. Качество воздуха в крупнейших городах России за 10 лет 1998–2007 гг. Аналитический обзор. – С.-Пб.: ГУ «ГТО», Росгидромет, 2009. – 134 с.
 32. Аверин Г.В. Системодинамика. – Донецк: Донбасс, 2014. – 405 с.
 33. Звягинцева А.В. Моделирование загрязнения атмосферного воздуха городов России на основе определения вероятности неблагоприятных событий // Научные ведомости БелГУ, №16(237). Вып. 39. 2016. – С. 107–114.
 34. Звягинцева А.В. Методика событийной оценки и результаты ранжирования стран, регионов и городов по комплексу показателей // Системный анализ и информационные технологии в науках о природе и обществе. 2016, №1(10)–2(11) – С. 147–184.
 35. Звягинцева А.В., Аверин Г.В., Хоруженко А.С. Комплексная оценка состояния и развития городов на основе определения вероятностей характерных событий // Биосферная совместимость: человек, регион, технологии. № 3(15). 2016. – С.18–29.
- References (transliteration)**
1. RD 52.04.186-89. Rukovodstvo po kontrolju zagrjaznenija atmosfery [RD 52.04.186-89. Guidelines for the Control of air pollution]. Moscow, Goskom. SSSR po gidrometeorologii – Minzdrav SSSR. 1991, 691 p.
 2. R 2.1.10.19920-04. Rukovodstvo po ocenke riska dlja zdorov'ja naselenija pri vozdeystvii himicheskix veshhestv, zagrjaznjajushhih okruzhajushhuju sredu [R 2.1.10.19920-04. Guidelines for the assessment of health risk when exposed to chemicals that pollute the environment]. Moscow, Federal'nyj centr gos-sanjepidnadzora Minzdrava Rossii, 2004, 143 p.
 3. SanPiN 2.1.6.1032-01. Gigienicheskie trebovanija k obespečeniju kachestva atmosfernogo vozduha naselennyh mest [SanPiN 2.1.6.1032-01. Hygienic requirements for quality assurance of atmospheric air of populated areas]. Utv. 17.05.01, no. 14. Moscow, Informacionno-izdatel'skij centr Minzdrava Rossii, 2001, 14 p.
 4. R 2.2.1766-03. Rukovodstvo po ocenke professional'nogo riska dlja zdorov'ja rabotnikov. Organizacionno-metodicheskie osnovy, principy i kriterii ocenki [R 2.2.1766-03. Guidelines for assessing occupational health risk for workers. Organizational and methodological foundations, principles and evaluation criteria]. Moscow, FCGSJeN Minzdrava Rossii, 2004, 24 p. (utv. Glavnym sanitarnym vrachom RF 24.06.2003).
 5. Gigienicheskie kriterii ocenki i klassifikacija uslovij truda po pokazateljam vrednosti i opasnosti faktorov proizvodstvennoj sredy, tjazhesti i naprjazhennosti trudovogo processa: Rukovodstvo R 2.2.755-99 [Hygienic criteria for the assessment and classification of working conditions according to indicators of hazard and danger of factors of the working environment, severity and intensity of the labor process: Manual R 2.2.755-99]. Moscow, FCGSJeN Minzdrava Rossii, 1999, 192 p.
 6. Belov P.G. Sistemnyj analiz i modelirovanie opasnyh processov v tehnosfere [System analysis and modeling of hazardous processes in the technosphere]. Moscow, Akademija, 2003, 507 p.
 7. Safonov V.S., Odisharija G.Je., Shvyryjaev A.A. Teorija i praktika analiza riska v gazovoj promyshlennosti [The theory and practice of risk analysis in the gas industry]. Moscow, Olita, 1996, 207 p.
 8. Rukovodstvo po bezopasnosti "Metodicheskie osnovy po provedeniju analiza opasnostej i ocenki riska avarij na opasnyh proizvodstvennyh ob'ektah" [Safety Manual "Methodical bases to analyze hazards and assess the risk of accidents at hazardous production facilities"]. (utv. prikazom Rostehnadzora ot 11.04.2016 no. 144) – vzamen RD 03-418-01.
 9. Metodika ocenki posledstvij avarijnyh vybrosov opasnyh veshhestv ("Toksi") [Methods of assessing the consequences of accidental releases of hazardous substances ("Toxic")]. Moscow, Rostehnadzor, 2005, 67 p. Available at: <http://www.safety.ru> (accessed 2 apr 2017). (in Russian).
 10. Henli J.D., Kumamoto H. Nadezhnost' tehniceskix sistem i ocenka riska [Reliability of technical systems and risk assessment]. Moscow, Mashinostroenie, 1981, 526 p.

11. Marshal V.K. Osnovnye opasnosti himicheskikh proizvodstv [The main danger of chemical production]. Moscow, Mir, 1989, 672 p.
12. Beschastnov M.V. Promyshlennyye vzryvy: ocenka i preduprezhdenie [Commercial blastings: assesment and preventing]. Moscow, Himija, 1991, 432 p.
13. Metodika viznachennja rizikov ta ih priijnjatnih rivniv dlja deklaruvannja ob'ektiv pidvishhenoi nebezpeki [Methods of identification of risks and their acceptable levels for the declaration of high-risk objects]. Kiev, Osnova, 2003, 191 p.
14. Alimov A.F., Dmitriev V.V., Florinskaja T.M. i dr. Integral'naja ocenka jekologicheskogo sostojanija i kachestva sredej gorodskih territorij [Integral assessment of the ecological state and quality of the environment of urban areas]. Pod red. A.K. Frolova. Saint-Petersburg, 1999, 253 p.
15. Jajli E.A. Nauchnye i prikladnye aspekty upravlenija urbanizirovannymi territorijami na osnove instrumenta riska i novyh pokazatelej kachestva okruzhajushhej sredej [Scientific and applied aspects of urbanized management based on a risk tool and new indicators of environmental quality]. Saint-Petersburg, RGGMU, VVM, 2006, 448 p.
16. Bitjukova V.R. Social'no-jekologicheskie problemy razvitija gorodov Rossii [Socio-environmental problems of the development of Russian cities]. Issue 3. Moscow, Librokom, 2012, 448 p.
17. Akimov V.A., Novikov V.D., Radaev N.N. Prirodnye i tehnoennye chrezvychajnye situacii: opasnosti, ugrozy, riski [Natural and man-made emergencies: danger, threats, risks]. Moscow, ZAO FID "Delovoj jekspress", 2001, 344 p.
18. Kakareka S.V. Metodicheskie podhody k ocenke summarnogo zagryznenija atmosfernogo vozduha [Methodical approaches to the estimation of the total air pollution]. Prirodopol'zovanie: Sb. nauchn. tr. Minsk: StrojMediaProekt, institut prirodopol'zovanija, 2014. Issue 25: 61–69.
19. Vremennye metodicheskie ukazanija po provedeniju kompleksnoj jekologicheskoy ocenki sostojanija atmosfernogo vozduha bol'shogo goroda [Temporary guidelines for conducting a comprehensive environmental assessment of the state of the atmospheric air of a large city] / Pod red. V.B. Miljaeva. Moscow, Minprirody Rossii, NII Atmosfera, 1995.
20. Posibnik do rozroblennja materialiv ocinki vpliviv na navkolishne seredovishhe (do DBN A.2.2.1-2003) [Guide to development impact assessment on the environment (with SBR A.2.2.1-2003)]. Harkiv: UkrNDIINTV, 2005, 332 p.
21. Kachins'kij A.B. Bezpeka, zagrozi i rizik: naukovij koncepcii ta matematichni metodi [Security, Threats and Risk: Scientific Concepts and Mathematical Methods]. Kiev, IPNB RNBOU, 2004, 472 p.
22. Guidelines for Ecological Risk Assessment / U.S. Environmental Protection Agency. Washington, DC, 1998, 188 p.
23. Zviaginceva A.V. Metodika z ocinki ekologichnih rizikov pri zabrudnenni navkolishn'ogo prirodno seredovishha [The environmental pollution ecological risks assessment method] // Visnik DonNU. Serija A: Prirodnichi nauki, 2009. Issue 2: 370–379.
24. Zviaginceva A.V. Verojatnostnye metody kompleksnoj ocenki prirodno-antropogennyh sistem [Probabilistic Methods of a Complex Assessment of Natural and Anthropogenic Systems] / Pod nauch. red. d.t.n., prof. G.V. Averina. Moscow, Spektr, 2016, 257 p.
25. Averin G.V., Zviaginceva A.V. Opasnost' i risk kak harakteristiki osobyh sostojanij jekologicheskikh i tehnoennyh sistem [Danger and risk as the characteristics of the special conditions environmental and technological systems] // Ekologichna bezpeka, no 2/2008: 22–30.
26. Zviaginceva A.V. Sistemy ocenki opasnosti i riska pri zagryznenii atmosfernogo vozduha: popytka obobshhenija podhodov [Systems of risk assessment when air pollution: an attempt to summarize the approaches] // Sistemnyj analiz i informacionnye tehnologii v naukah o prirode i obshhestve, no 1(6)–2(7), 2014: 131–163.
27. Metodika "Kriterii ocenki jekologicheskoy obstanovki territorij dlja vyjavlenija zon chrezvychajnoj jekologicheskoy situacii i zon jekologicheskogo bedstvija" [Methodology "Criteria for assessing the environmental situation of territories to identify areas of emergency environmental situations and zones of ecological disaster"]. Moscow, MPR RF, 1992. Available at: http://businesspravo.ru/Docum/DocumShow_DocumID_10592.html (accessed 2 apr 2017). (in Russian).
28. Averin G.V., Zviaginceva A.V. Zakonomernosti formirovanija opasnyh processov v slozhnyh sistemah [Patterns of formation of hazardous processes in complex systems] // Naukovij pracj Donec'kogo nacional'nogo tehničnogo universitetu. Ser.: Informatika, kibernetika ta obchisljuval'na tehnika. Issue 9(132), 2008: 221–232.
29. Sanockij I.V., Ulanova I.P. Kriterii vrednosti v gijene i toksikologii pri ocenke opasnosti himicheskikh soedinenij [The criteria for hazard in hygiene and toxicology at the risk assessment of chemical compounds]. Moscow, Medicina, 1975, 328 p.
30. Vremennye metodicheskie ukazanija po obosnovaniju predel'no dopustimyh koncentracij (PDK) zagryzajnajushchih veshhestv v atmosfernom vozduhe naselennyh mest [Interim guidance on substantiation of maximum permissible concentration (MPC) of pollutants in the ambient air of populated areas]. Moscow,

- Minzdrav SSSR; Glavnoe sanitarno-jepidemiologicheskoe upravlenie. Utv. Minzdravom SSSR 15.06.88, no. 4681–88. 1989, 110 p.
31. Kachestvo vozduha v krupnejshih gorodah Rossii za 10 let 1998–2007 gg. Analiticheskij obzor [Air quality in the largest cities of Russia for 10 years from 1998 to 2007. Analytical review]. Saint-Petersburg, GU “GGO”, Rosgidromet, 2009, 134 p.
32. Averin G.V. Sistemodinamika [Systemdynamics]. Doneck, Donbass, 2014, 405 p.
33. Zviaginceva A.V. Modelirovanie zagrjaznenija atmosfernogo vozduha gorodov Rossii na osnove opredelenija verojatnosti neblagoprijatnyh sobytij [Russian cities air pollution simulation on the basis of determining the adverse events probability] // Nauchnye vedomosti BelGU, №16(237). Issue 39. 2016: 107–114.
34. Zviagintseva A.V. Metodika sobytijnoj ocenki i rezul'taty ranzhirovanija stran, regionov i gorodov po kompleksu pokazatelej [Events evaluation Methodic and the countries, regions and cities ranking results on a set of indicators] // Sistemnyj analiz i informacionnye tehnologii v naukah o prirode i obshhestve, no 1(10)–2(11). 2016: 147–184.
35. Zviaginceva A.V., Averin G.V., Horuzhenko A.S. Kompleksnaja ocenka sostojanija i razvitija gorodov na osnove opredelenija verojatnostej harakternyh sobytij [The urban state and development comprehensive evaluation on the characteristic events probabilities calculating basis] // Biosfernaja sovместimost': chelovek, region, tehnologii. no 3(15). 2016:18–29.

Звягинцева Г.В. «Оцінка ризиків небезпечних і несприятливих подій за даними моніторингу міського середовища». Функціонування міст може призводити до ситуацій, пов'язаних з ризиками для здоров'я населення та природного середовища, ризиками побутового, виробничого й дорожньо-транспортного травматизму, а також техногенних аварій. Оцінка ризиків небезпечних і несприятливих подій за даними моніторингу міського середовища може проводитися на основі визначення ризиків спільних подій. На основі загального підходу проведена систематизація різних подій, які спостерігаються при моніторингу міського середовища. Показано, що ймовірність стану (ризик) може характеризуватися декількома взаємопов'язаними подіями. При цьому виділено кілька груп подій різної складності, які причинно-слідчо пов'язані між собою. Для таких подій обґрунтовано та приведено розрахункові формули ймовірності їхньої реалізації. Запропоновано комплексну оцінку якості міського середовища та аналіз ризику подій негативних впливів на населення засновувати на ймовірнісних підходах моделювання даних спостережень, отриманих суб'єктами моніторингу. Запропоновано феноменологічний метод визначення ризиків небезпечних подій, який відрізняється урахуванням причинно-наслідкових зв'язків. На прикладі великих міст Росії оцінено ризики значущих подій, пов'язаних із забрудненням атмосферного повітря. Виконано ранжування міст Росії за безпекою хронічних впливів при забрудненні повітря.

Ключові слова: безпека міст, небезпечні та несприятливі події і їхні ризики, методи оцінки ризиків.

Zviagintseva A.V. “Risk assessment of dangerous and adverse events according to urban environment monitoring data”. Reflected the existing approaches to risk assessment at the environmental pollution, established in environmental and socio-hygienic monitoring. It is shown that the assessment of hazardous events associated with pollution and its consequences can be based on the joint events risks determination. When constructing risk functions scientists evaluate the such events probabilities and establish their connections with negative consequences (more complex events): effects, morbidity, mortality associated with air, water, soil, etc. pollution. Based on the general approach to hazardous events risk assessment, the systematization and classification of similar events observed in environmental and socio-hygienic monitoring was carried out. It is shown that the state (risk) probability can be characterized by several related causal events. The following events are distinguished: simple observation events of each of the indicators characterizing the environment pollution; joint events of simultaneous observation of several environmental pollution indicators; complex events of recording negative effects and consequences caused by exposure to a bioobject while observing a single environmental pollution indicator; complex events of registration of negative effects and consequences caused by exposure to a bioobject while simultaneously observing several environmental pollution indicators. For the indicated events, the calculation formulas for the probability of their realization are justified and given. It proposed the comprehensive assessment of environmental quality in industrial-urban agglomerations and the events negative impacts risk analysis on the population be based on a probabilistic approach data modeling, monitoring the subjects received. It designed the dangerous events risk determining phenomenological method, taking into account the different cause-and-effect relationships. For large Russian cities obtained the regression relationship between the probabilities of significant air pollution events and concentrations of dust and nitrogen dioxide. Assess the chronic effects risk on the population on the dependent events complex determining basis. The air pollution chronic effect danger ranking of Russian cities is done.

Keywords: ecological safety of cities, hazardous events and risk of contamination of the environment, risk assessment techniques.

Статья поступила в редакцию 03.04.2017
Рекомендована к публикации д-ром техн. наук Г.В. Авериньм

Развитие математического моделирования процесса двойникования в титане

Курганов А.В.

Белгородский государственный национальный исследовательский университет
818131@bsu.edu.ru

Курганов А.В. «Развитие математического моделирования процесса двойникования в титане». Проведено математическое моделирование системы клиновидных двойников в титане, позволяющее судить о физических процессах, определяющих образование дислокаций в зоне аккомодации системы клиновидных двойников. Напряженное состояние вблизи зоны двойникования было описано в контексте построения макроскопической дислокационной модели. Модель позволяет учитывать формирование малоугловых границ зерен в виде дислокационных стенок вблизи клиновидного двойника. Был учтен процесс взаимодействия структурных дефектов с двойниковыми дислокациями при образовании клиновидного двойника. Показано, что взаимодействие двойников изменяет максимум напряжений вблизи границ в системе двух клиновидных двойников. Установлено также, что плотность двойникующих дислокаций на границах не одинакова, что соответствует опытным данным.

Ключевые слова: математическое моделирование, двойникование, напряженное состояние, стенка дислокаций, титан.

Введение

При решении задач механики деформируемых твердых тел, связанных с процессом двойникования, который формирует в образце уровень напряжений, соизмеримый с пределом прочности материала, важным условием является учет создаваемых напряжений. Так как в большинстве случаев в ходе процесса двойникования двойники возникают группами, то большой научно-практический интерес представляет изучение систем параллельных двойников. Поэтому задача расчета поля напряжений системы клиновидных двойников с различной формой границ в механике деформируемого твердого тела является важной и актуальной.

Математическое описание и модель процесса

В качестве объекта моделирования была выбрана система двойников, полученная после индентирования титанового образца ВТ1-0 алмазной пирамидкой (рис. 1). С помощью сканирующего зондового микроскопа была изучена поверхность протравленного образца в зоне образовавшегося двойника [1]. Исследование рельефа протравленного образца показало, что область аккомодации двойниковой прослойки имеет неоднородное строение и представляет собой суперпозицию нескольких двойников. Поэтому данная картина, полученная после травления, характеризует уровень суммарных упругих напряжений в данной области.

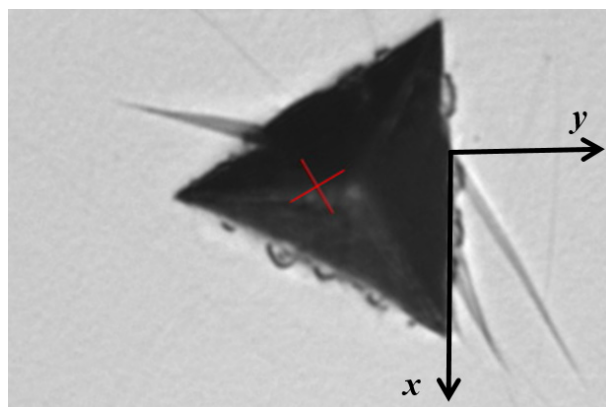


Рисунок 1. – Клиновидные двойники у отпечатка алмазной пирамиды Виккерса на поверхности титанового образца

Для детального анализа поля остаточных внутренних напряжений проведено математическое моделирование напряженного состояния зоны в окрестностях описываемого двойника в рамках макроскопической дислокационной модели [1]. Будем рассматривать двойник в приближении тонкого двойника, в соответствии с дислокационной теорией упругого двойника, представленной в [2]. Толщина двойника $h(x)$ выражается через плотность двойникующих дислокаций $\rho(x)$ соотношением [3–4]:

$$h(x) = a \int_x^L \rho(\xi) d\xi,$$

где a – межатомное расстояние в плоскости, перпендикулярной плоскости двойниковогоания; L – длина двойника.

Функция плотности двойникующих дислокаций $\rho(x)$ должна удовлетворять условию

$$\int_x^L \rho(\xi) d\xi = \frac{\delta}{b} = \frac{h}{a} = N,$$

где δ – сдвиг по линии двойниковогоания на поверхности образца; N – полное число двойникующих дислокаций одного знака; b – модуль вектора Бюргерса.

При двойниковании расстояние между двойникующими дислокациями равно межплоскостному расстоянию a . Это позволило определить полное число дислокаций $N_{дисл}$,

образующих границу двойника, из простого соотношения

$$N_{дисл} = H/a.$$

Для титана $a=2,951 \text{ \AA}$. Из рисунке 1 определяем ширину двойников, равную $H = 0,2$ и $0,36 \text{ мкм}$ соответственно. Тогда получим, что $N_{дисл}$ для двойника составит 678 и 1220, соответственно.

Плотность двойникующих дислокаций $\rho(x)$ для двойников, представленных на рисунке 1, может быть рассчитана по формуле

$$\rho = \frac{N_{дисл}}{L},$$

где L – длина двойника, равная 2,64 и 1,28 мкм соответственно.

Схематически зададим систему клиновидных двойников, зарождающихся на поверхности образца ВТ1-0, как это показано на рисунке 2. В общем случае в плоскости XOY форма границ клиновидного двойника описывается функциями $f_1(x_0)$, $f_2(x_0)$, $f_3(x_0)$ и $f_4(x_0)$ (рис. 2). Будем считать, что дислокации на данных границах параллельны друг другу и оси OZ , перпендикулярной плоскости рисунка. Плотности двойникующих дислокаций на границах клиновидного двойника различны и задаются функциями ρ_1 , ρ_2 , ρ_3 , и ρ_4 .

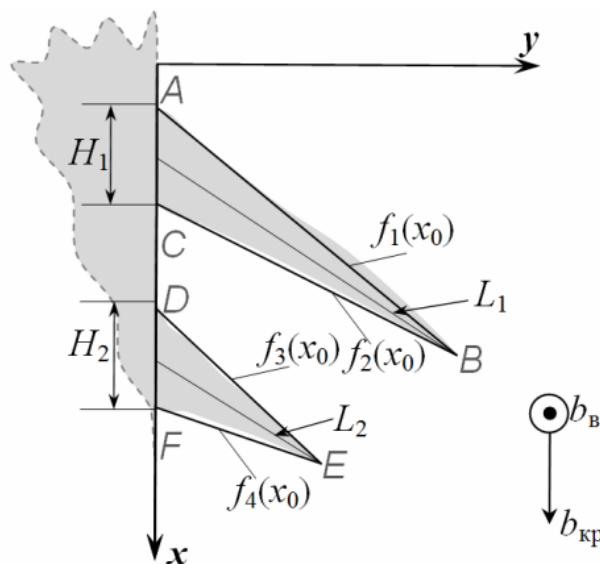


Рисунок 2. – Схематическая иллюстрация системы двойников, изображенных на рисунке 1

Напряжения, создаваемые рассматриваемой системой клиновидных двойников, могут быть определены из формулы [5]:

$$\sigma_{ij}(x, y) = \sigma_{ij}^{(1)}(x, y) + \sigma_{ij}^{(2)}(x, y) + \sigma_{ij}^{(3)}(x, y) + \sigma_{ij}^{(4)}(x, y),$$

где

$$\begin{aligned} \sigma_{ij}^{(1)} &= \int_{L_{AB}} \rho_1 \sigma_{ij}^{(1,0)} ds; \\ \sigma_{ij}^{(2)} &= \int_{L_{CB}} \rho_2 \sigma_{ij}^{(2,0)} ds; \end{aligned} \tag{1}$$

$$\begin{aligned} \sigma_{ij}^{(3)} &= \int_{L_{DE}} \rho_3 \sigma_{ij}^{(3,0)} ds; \\ \sigma_{ij}^{(4)} &= \int_{L_{FE}} \rho_4 \sigma_{ij}^{(4,0)} ds. \end{aligned} \quad (2)$$

Здесь $\sigma_{ij}^{(1)}$, $\sigma_{ij}^{(2)}$, $\sigma_{ij}^{(3)}$ и $\sigma_{ij}^{(4)}$ – напряжения, создаваемые каждой из границ системы клиновидных двойников и определяемые с помощью криволинейного интеграла вдоль профилей двойниковых границ L_{AB} , L_{CB} , L_{DE} и L_{FE} соответственно.

Криволинейные интегралы (1)–(2) сводятся к определенным интегралам типа [6, 7]:

$$\begin{aligned} \sigma_{ij}^{(1)}(x, y) &= \int_0^L \sqrt{1 + (f_1'(x_0))^2} \times \\ &\quad \times \rho_2(x_0) \sigma_{ij}^{(2,0)}(x, y, x_0) dx_0; \\ \sigma_{ij}^{(2)}(x, y) &= \int_0^L \sqrt{1 + (f_2'(x_0))^2} \times \\ &\quad \times \rho_2(x_0) \sigma_{ij}^{(2,0)}(x, y, x_0) dx_0; \\ \sigma_{ij}^{(3)}(x, y) &= \int_0^L \sqrt{1 + (f_3'(x_0))^2} \times \\ &\quad \times \rho_3(x_0) \sigma_{ij}^{(3,0)}(x, y, x_0) dx_0; \\ \sigma_{ij}^{(4)}(x, y) &= \int_0^L \sqrt{1 + (f_4'(x_0))^2} \times \\ &\quad \times \rho_4(x_0) \sigma_{ij}^{(4,0)}(x, y, x_0) dx_0, \end{aligned}$$

где L – длина двойника.

На рисунке 1 изображены два клиновидных двойника. Представим каждый такой клиновидный двойник в виде треугольника, состоящего из клиновидного скопления двойникующих дислокаций с вектором Бюргера b . Так как двойникующие дислокации являются частичными [4, 8, 9], то их вектор Бюргера можно разложить на две составляющие: винтовую b_g и краевую b_{kp} . Пусть краевая составляющая вектора Бюргера направлена вдоль оси OX (рис. 2) вдоль положительного ее направления, а винтовая – перпендикулярно плоскости рисунка (вдоль оси OZ). Среду, в которой находятся дислокации, будем считать однородной и изотропной. Проведем расчет на основании принципа суперпозиции компонент тензора напряжений, создаваемых такой совокупностью дислокаций. Схема расположения компонент вектора Бюргера изображена на рисунке 2. Пользуясь известными соотношениями для компонент тензора напряжений у единичных краевых и винтовых дислокаций [4, 8], получим:

$$\begin{aligned} \sigma_{zz}^{(k,0)} &= -\frac{\mu b_{kp}}{\pi(1-\nu)} \frac{(y-f_k(x_0))}{(x-x_0)^2 + (y-f_k(x_0))^2}, \\ \sigma_{zx}^{(k,0)} &= -\frac{\mu b_g}{2\pi} \frac{(y-f_k(x_0))}{(x-x_0)^2 + (y-f_k(x_0))^2}, \\ \sigma_{xz}^{(k,0)} &= \frac{\mu b_g}{2\pi} \frac{(x-x_0)}{(x-x_0)^2 + (y-f_k(x_0))^2}, \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \sigma_{xx}^{(k,0)} &= -\frac{\mu b_{kp}}{2\pi(1-\nu)} \times \\ &\quad \times \frac{(y-f_k(x_0))(3(x-x_0)^2 + (y-f_k(x_0))^2)}{((x-x_0)^2 + (y-f_k(x_0))^2)^2}, \\ \sigma_{yy}^{(k,0)} &= \frac{\mu b_{kp}}{2\pi(1-\nu)} \times \\ &\quad \times \frac{(y-f_k(x_0))((x-x_0)^2 - (y-f_k(x_0))^2)}{((x-x_0)^2 + (y-f_k(x_0))^2)^2}, \\ \sigma_{xy}^{(k,0)} &= \frac{\mu b_{kp}}{2\pi(1-\nu)} \times \\ &\quad \times \frac{(x-x_0)((x-x_0)^2 - (y-f_k(x_0))^2)}{((x-x_0)^2 + (y-f_k(x_0))^2)^2}, \end{aligned}$$

где k – порядковый номер границы двойника, где σ_{xx} , σ_{yy} , σ_{zz} – нормальные, а σ_{xy} , σ_{xz} , σ_{yz} – скалывающие напряжения, вызванные двойникующими дислокациями.

Результаты и обсуждение

Поле напряжений вблизи двойника клиновидной формы (рис. 1, 2), определяется по аналогии с методикой, описанной в статье [1]:

$$\begin{aligned} \sigma_{ij}(x, y) &= \int_0^L \sqrt{1 + (f_1'(x_0))^2} \rho_1(x_0) \times \\ &\quad \times \sigma_{ij}^{(1,0)}(x, y, x_0) dx_0 + \int_0^L \sqrt{1 + (f_2'(x_0))^2} \times \\ &\quad \times \rho_2(x_0) \sigma_{ij}^{(2,0)}(x, y, x_0) dx_0 + \\ &\quad + \int_0^L \sqrt{1 + (f_3'(x_0))^2} \rho_2(x_0) \times \\ &\quad \times \sigma_{ij}^{(3,0)}(x, y, x_0) dx_0 + \int_0^L \sqrt{1 + (f_4'(x_0))^2} \times \\ &\quad \times \rho_2(x_0) \sigma_{ij}^{(4,0)}(x, y, x_0) dx_0, \end{aligned}$$

где $f_1(x_0)$, $f_2(x_0)$, $f_3(x_0)$ и $f_4(x_0)$ – функции, описывающие форму границ двойника; $\rho_1(x_0)$, $\rho_2(x_0)$, $\rho_3(x_0)$ и $\rho_4(x_0)$ – плотности двойникующих дислокаций на границах двойника; $\sigma_{ij}^{(1)}$, $\sigma_{ij}^{(2)}$, $\sigma_{ij}^{(3)}$ и $\sigma_{ij}^{(4)}$ – напряжения, создаваемые на двойниковых границах отдельными дислокациями [10]. Исходя из полученных экспериментальных данных, форма некогерентных границ механических клиновидных двойников аппроксимировалась прямолинейными функциями. При моделировании предполагалось, что плотность двойникующих дислокаций на границах не одинакова, в результате чего наблюдалась асимметрия сдвиговых напряжений относительно оси двойника. Результаты моделирования представлены на рисунке 3.

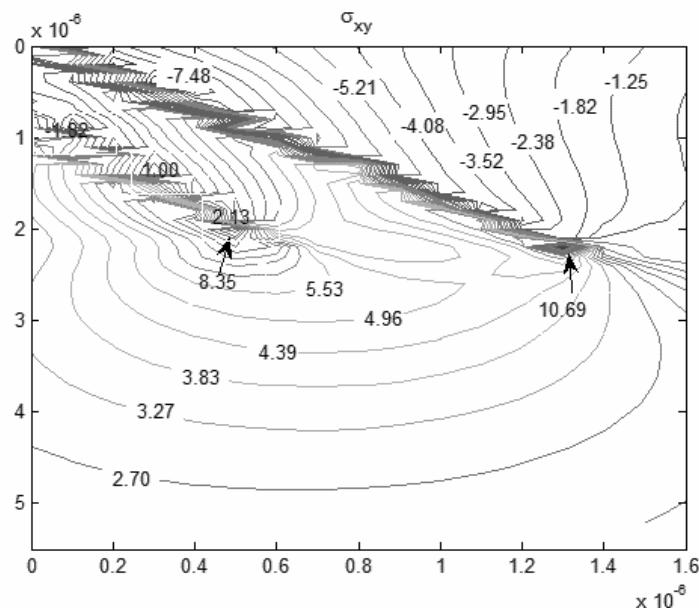


Рисунок 3. – Распределение напряжений σ_{xy} у клиновидного двойника при отсутствии внешних напряжений.

Как видно из рисунка, полученная эпюра напряжений, созданных двойниковой прослойкой, не соответствует результатам, наблюдаемым экспериментально. Поэтому для корректного математического описания процессов, происходящих в исследуемом образце, следует учесть влияние дислокационной стенки, образованной в результате взаимодействия двойнивающих дислокаций с дефектами в зоне аккомодации, а также наличие дополнительных двойников, сопутствующих основному.

Результаты математического моделирования показали, что помимо максимума напряжений, образованного границей основного двойника, возникают дополнительные максимумы и минимумы напряжений, являющиеся результатом суперпозиции полей от разных источников.

Полученные с помощью моделирования данные качественно согласуются с экспериментальными результатами.

Выводы

В целом по результатам статьи можно сделать следующие выводы.

1) Представленная математическая модель распределения напряжений в области прохождения процесса двойникового позволяет учитывать образование малоугловых границ, и, как следствие, сопутствующие основному двойники.

2) Результаты математического моделирования качественно соответствуют наблюдаемым экспериментальным данным, что позволяет анализировать физические процессы, влияющие на структуру аккомодационной зоны.

Список литературы

1. Nikulin I.S., Kamyshanchenko N.V., Nikulicheva T.B., Mishunin M.V., Vokhmyanina K.A. Formation of low-angle boundaries accompanying the deformation process by twinning in titanium // *Materials Letters*, no 182, 2016: 253–256.
2. Ostrikov O.M. Effect of the density of twinning dislocations on the configuration of stress fields near a wedge twin with different shapes of the boundaries // *Journal of Applied Mechanics and Technical Physics*. 2008. Vol. 49. Issue 5: 872–876.
3. Косевич А.М., Бойко В.С. Дислокационная теория упругого двойникового кристаллов // *Успехи физ. наук*. 1971. Т. 104, №2. – С. 101–255.
4. Косевич А.М., Пастур Л.А. О дислокационной модели двойникового // *Физика твердого тела*. 1961. Т. 3, № 4. – С. 1291–1297.
5. Остриков О.М. Дислокационная макроскопическая модель клиновидного двойника // *Вестн. Гомел. гос. ун-та им. П.О. Сухого*. 2006. № 2. – С. 10–18.
6. Остриков О.М. Дислокационная мезоскопическая модель полисинтетического двойника // *Вестн. Гомел. гос. ун-та им. П.О. Сухого*. 2007. №2. – С. 11–21.
7. Ostrikov O.M. Stressed state near a wedge-shaped twin with a disbalance of densities of twinning dislocations // *Journal of Applied Mechanics and Technical Physics*. 2002. Vol. 43, no 4: 638–639.
8. Klassen-Neklyudova M.V. *The Mechanical Twinning of Crystals*. New York, Consultants Bureau; 1964, 262 p.
9. Friedel J. *Dislocations*. Oxford, Pergamon Press, 1964, 644 p.
10. Савенко В.С., Остриков О.М. Поля напряжений у границы клиновидного двойника // *Письма в ЖТФ*. 1997. Т. 23, №22. - С. 1-6.

References (transliteration)

1. Nikulin I.S., Kamyshanchenko N.V., Nikulicheva T.B., Mishunin M.V., Vokhmyanina K.A. Formation of low-angle boundaries accompanying the deformation process by twinning in titanium // Materials Letters, no 182, 2016: 253–256.
2. O.M. Ostrikov. Effect of the density of twinning dislocations on the configuration of stress fields near a wedge twin with different shapes of the boundaries // Journal of Applied Mechanics and Technical Physics. 2008. Vol. 49. Issue 5: 872–876.
3. Kosevich, A.M., Boyko V.S. Dislokatsionnaya teoriya uprugogo dvoynikovaniya kristallov [Dislocation theory of elastic twinning of crystals] // Uspekhi fiz. nauk. 1971. Vol. 104, no 2: 101–255 (in Russian).
4. Kosevich A.M., Pastur L.A. O dislokatsionnoy modeli dvoynikovaniya [About the dislocation twinning model] // Fizika tverdogo tela. 1961. Vol. 3, no 4: 1291–1297 (in Russian).
5. Ostrikov O.M. Dislokatsionnaya makroskopicheskaya model' klinovidnogo dvoynika [Dislocation macroscopic model of a wedge-shaped twin] // Vestn. Gomel. gos. un-ta im. P.O. Sukhogo. 2006. no 2: 10–18 (in Russian).
6. Ostrikov O.M. Dislokatsionnaya mezoskopicheskaya model' polisinteticheskogo dvoynika [Dislocation mesoscopic model of a polysynthetic twin] // Vestn. Gomel. gos. Un-ta im. P.O. Sukhogo. 2007. no 2: 11–21 (in Russian).
7. Ostrikov O.M. Stressed state near a wedge-shaped twin with a disbalance of densities of twinning dislocations // Journal of Applied Mechanics and Technical Physics. 2002. Vol. 43, no 4: 638–639.
8. Klassen-Neklyudova M.V. The Mechanical Twinning of Crystals. New York, Consultants Bureau; 1964, 262 p.
9. Friedel J. Dislocations. Oxford, Pergamon Press, 1964, 644 p.
10. Savenko V.S., Ostrikov O.M. Polya napryazheniy u granitsy klinovidnogo dvoynika [Stress fields at the boundary of a wedge-shaped twin]. Pisma v ZHTF. 1997. Vol. 23. no 22: 1-6 (in Russian).

Курганов А.В. «Розвиток математичного моделювання процесу двійникування в титані». Проведено математичне моделювання системи клиновидних двійників в титані, що дозволяє судити про фізичні процеси, які визначають утворення дислокацій у зоні акомодатії системи клиновидних двійників. Напружений стан біля зони двійникування було описано в контексті побудови макроскопічної дислокаційної моделі. Модель дозволяє врахувати формування малокутових границь зерен у вигляді дислокаційних стінок поблизу клінічного двійника. Було враховано процес взаємодії структурних дефектів з подвійними дислокаціями при утворенні клиновидного двійника. Показано, що взаємодія двійників змінює максимум напруг поблизу границь в системі двох клиновидних двійників. Встановлено також, що щільність двійникуючих дислокацій на кордонах не однакова, що відповідає опитним даним.

Ключові слова: математичне моделювання, двійникування, напружений стан, стінка дислокацій, титан.

Kurganov A.V. “Development of mathematical modeling of the twinning process in titanium”. When solving the problems of the mechanics of deformable solids related to the twinning process, which creates a stress level in the sample that is commensurable with the ultimate strength of the material, an important condition is to take into account the created stresses. A mathematical simulation of the system of wedge-shaped twins in titanium is made, which allows one to judge the physical processes responsible for the formation of dislocations in the accommodation zone of a wedge-shaped twin system. Mathematical modeling of the stress state near the twinning zone was described in the context of a macroscopic dislocation model. The model makes it possible to take into account the formation of low-angle grain boundaries in the form of dislocation walls near the wedge-shaped twin. The process of interaction of structure defects with twinning dislocations during the formation of a wedge-type twin was taken into consideration. It is shown that the interaction alters the stress maximum in vicinity of boundaries in the system two wedge-type twins; it is also shown that the density of twinning dislocations at the boundaries is not the same, which corresponds to the data observed experimentally. The presented mathematical model of the distribution of stresses in the region of the passage of the twinning process allows one to take into account the formation of low-angle boundaries, and, as a consequence, the accompanying twins. The mathematical modeling performed qualitatively corresponds to the observed experimental data, which allows us to discuss the physical processes that affect the structure of the accommodative zone. The data obtained by means of modeling are qualitatively in agreement with the experimental results.

Keywords: mathematical modeling, twinning, stress state, wall of dislocations, titanium.

Статья поступила в редакцию 28.03.2017
Рекомендована к публикации канд. техн. наук А.И. Андрюхиным

Феноменологический метод описания темпоральных массивов данных

Аверин Г.В.^{1,2}, Звягинцева А.В.^{1,2}

¹Донецкий национальный технический университет

²Белгородский национальный исследовательский университет
averin.gennadiy@gmail.com, anna_zv@ukr.net

Аверин Г.В., Звягинцева А.В. «Феноменологический метод описания темпоральных массивов данных». Предложен метод описания темпоральных массивов данных на основе построения общей среды моделирования в виде многомерного фазового пространства состояний объектов одного класса. Особенностью предлагаемого подхода является принятие допущения, что существуют комплексные эмпирические меры, характеризующие в целом состояния объектов или систем. Показано, что переменные состояния и эмпирические меры могут быть связаны в фазовых пространствах состояний между собой функциональными зависимостями. Для сравнения состояний объектов между собой предлагается использовать разные эмпирические меры – геометрические величины, вероятностные характеристики, кластерные меры и т.п. В статье приведены методические принципы обработки и описания темпоральных данных для получения количественных закономерностей и представлена методика построения моделей описания данных. Показано, что структурированные количественные данные, полученные в опыте или в наблюдении, могут быть описаны с необходимой точностью с помощью различных математических моделей. Предложенная методика апробирована на массивах темпоральных данных, характеризующих физико-химические, биологические, экологические и социально-экономические системы. Процесс получения феноменологических моделей описания эмпирических данных в статье продемонстрирован на примере изучения социально-экономического состояния городов России по пяти показателям их развития в сфере реальной экономики. Результаты обработки данных позволили сделать вывод о справедливости принципа соответственных состояний для изучаемого класса объектов.

Ключевые слова: среда моделирования, многомерное фазовое пространство состояний, феноменологические модели описания данных, переменные состояния, эмпирическая мера, темпоральные массивы данных, принцип соответственных состояний.

Введение

В настоящее время актуален поиск новых идей в области изучения сложных систем, которые позволили бы привлечь множество эмпирических данных по исследованию динамических процессов, характеризующих изменение систем во времени [1–6]. Современная информатика не имеет пока общей теории описания эмпирических данных, хранящихся в проблемно-ориентированных базах данных. Данный аспект касается проблемы получения знаний на основе имеющейся обширной количественной информации. Сегодня – это одно из самых актуальных направлений моделирования сложных систем.

Предлагаем искать определенный изоморфизм для систем различной природы по отношению к данным эмпирических наблюдений, представленным в общей структурированной темпоральной (временной) форме. Считаем, что меры схожести состояний объектов и систем, как критерии изоморфности, могут быть связаны

с общим системным описанием процессов и явлений как темпоральных закономерностей.

Темпоральные базы данных – это базы, в которых хранятся временные данные. В очень широком смысле – это произвольные данные, которые явно или неявно связаны с определенными датами или промежутками времени. Особенность таких данных заключается в том, что они несут в себе информацию о любых процессах, происходящих в природе и обществе. Возможности для описания темпоральных данных могут предоставить естественные науки, потому, что они обладают развитым феноменологическим методом. Этот метод обычно рассматривается как способ макроскопического описания объектов, процессов и явлений, основанный на данных опыта или наблюдений и позволяющий получить прикладной результат с необходимой точностью без объяснения истинных причин явления.

Все массивы темпоральных данных статичны, неизменны и отражают накопленное

знание об окружающем мире. Поэтому, исходя из возможности моделирования, можно считать, что эти массивы детерминированы и как особый вид структурированных количественных данных прошлого и настоящего, могут быть описаны с необходимой точностью с помощью различных математических моделей.

Целью исследования является изложение методических принципов обработки и описания темпоральных массивов опытных данных для получения количественных закономерностей, которые бы имели общий характер и не были бы явно привязаны к той или иной области знаний. Ранее такие принципы были отработаны для физических, биологических и социальных систем [7–16].

Методика обработки и описания темпоральных массивов данных

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

Зададим n -мерное фазовое пространство состояний E^n , где $p = (p_1, p_2, \dots, p_n)$, $p \in E^n$. Точки этого пространства соответствуют n -мерным наборам значений всех переменных p_1, p_2, \dots, p_n , которые отражают состояния всех m объектов, информация о которых хранится в массивах данных. Будем считать, что полную информацию о состояниях несут в себе не только данные, определяемые переменными p_1, p_2, \dots, p_n , но и различные интегральные величины и отдельные значимые события.

Особенностью предлагаемого подхода является принятие допущения, что существуют комплексные меры, характеризующие в целом состояния объектов или систем. Будем называть такие величины эмпирическими мерами.

Эмпирическая мера представляет собой системную величину, например, эмпирическую температуру, эмпирическое время, количество теплоты, статистическую вероятность событий и т.д. Эта величина однозначно характеризует состояния объектов в определенном аспекте, зависит от переменных состояния и может быть измерена. Математически эмпирическую меру будем представлять в виде функции многих переменных, при этом эта величина должна быть инвариантом в пространстве состояний и характеризовать состояния объектов в целом. Эмпирическая мера отражает детерминированное содержание дискретных эмпирических данных,

которые представимы в виде массивов темпоральных данных. Считаем, что переменные состояний и эмпирические меры могут быть связаны в фазовых пространствах состояний между собой функциональными зависимостями вида:

$$W(\tau) = W(z_1(\tau), z_2(\tau), \dots, z_n(\tau))$$

$$\text{или } W(\tau) = W(\tau, z_1(\tau), z_2(\tau), \dots, z_n(\tau)), \quad (1)$$

где τ – время (временные метки данных).

Для сравнения состояний объектов между собой будем использовать следующие эмпирические меры:

- геометрические величины (евклидовое, манхэттенское, степенное, экспертное и др. расстояния);
- вероятностные величины (статистическая вероятность наблюдения состояния объекта в определенном объеме пространства E^n и т.д.);
- кластерные меры (мера попарного среднего, центроидная мера и т.д.).

Указанные величины определяются алгоритмическим путем на основе имеющихся темпоральных массивов выборочных данных. Так как они зависят от расстояний между точками, измеренными определенным образом, то данные меры будут являться инвариантами в многомерном фазовом пространстве состояний.

При построении измерительной шкалы для оценки сходства состояний объектов будем использовать естественнонаучные принципы применительно к системному описанию данных. Среди таких принципов следует особо выделить принцип соответственных состояний, согласно которому состояния объектов могут подчиняться одному уравнению состояния, если это уравнение выразить через некоторые приведённые переменные:

$$F\left(\frac{p_1}{p_{1_0}}, \frac{p_2}{p_{2_0}}, \dots, \frac{p_n}{p_{n_0}}\right) = 0, \quad (2)$$

где p_{k_0} – значения показателей опорного состояния для объектов одного класса.

Для построения уравнений (2) выбирается опорный объект или опорное состояние, и все остальные состояния соотносятся с выбранной точкой в пространстве E^n . В общем случае принцип соответственных состояний можно сформулировать в виде: для сложных систем и объектов может наблюдаться закономерность, когда различные состояния связаны с их характерными состояниями одинаково.

Методика построения моделей описания данных включает следующие этапы.

- составляется темпоральный массив данных для некоторого класса объектов физической, биологической или социальной природы (например, для однородной группы

городов, регионов, биологических видов, технических объектов и т.д.);

- определяется перечень переменных состояния, которые наиболее полно характеризуют изучаемые объекты, и формируется n -мерное пространство состояний;

- обосновывается выбор эмпирической меры для оценки схожести состояний объектов и предлагается система ее определения;

- разрабатывается в соответствии с [10] измерительная шкала для оценки схожести состояний объектов и находятся уравнения состояний в виде регрессионных зависимостей;

- создаются феноменологические модели вида (1) для изучаемого класса объектов;

- осуществляется обработка и анализ имеющихся данных наблюдений и проверяется адекватность полученных моделей.

Поиск моделей является достаточно трудоемким, так как требуется изучить множество вариантов использования разных эмпирических мер для оценки сходства и различных наборов переменных состояния, характеризующих определенный класс объектов. Это приводит к необходимости изучения целого ряда регрессионных зависимостей и поиску наиболее адекватных из них для представления в виде уравнения состояния.

Предложенная методика была апробирована на массивах темпоральных данных в следующих предметных областях:

- физико-химические системы [17];
- систематика биологических видов и изучение биоразнообразия [9, 18];
- комплексная оценка и модели развития стран, регионов и городов [8, 9, 11, 13];
- построение моделей и ранжирование стран по уровню человеческого развития [8, 9, 11];
- анализ загрязнения природной среды по показателям экологической безопасности [9, 19];
- оценка состояния социальных групп и построение моделей коллективного поведения [9, 14].

Пример построения феноменологической модели описания социально-экономических данных

Кратко рассмотрим процесс получения феноменологической модели описания эмпирических данных на примере изучения социально-экономического состояния городов России. При изучении социально-экономического состояния городов Российской Федерации используют базы данных показателей, которые имеются в открытом доступе в Федеральной службе государственной

статистики [20]. Для 169 городов Российской Федерации социально-экономическая информация за период с 2005 по 2015 годы разделена на 21 группу показателей, всего содержится 276 показателей.

Из данной базы информации были взяты следующие показатели развития городов в сфере реальной экономики, тыс. руб/чел.:

- объем товаров собственного производства, выполненных работ и услуг собственными силами. Обрабатывающие производства, p_1 ;
- объем работ в строительстве, p_2 ;
- объем платных услуг населению, p_3 ;
- оборот розничной торговли, p_4 ;
- объем инвестиций в основной капитал, p_5 .

В качестве эмпирической меры принято евклидовое расстояние по отношению к опорному объекту, представленное в виде относительной величины θ (расстояние между различными состояниями, отнесенное к единице измерения σ). В свою очередь, в качестве эталонного процесса принято развитие г. Белгорода в 2005–2015 гг., а за опорный объект – состояние г. Белгорода в 2005 году.

В качестве первого опорного состояния (точка M_0) при построении линейной измерительной шкалы выберем состояние г. Белгорода в 2005 году. В качестве второй опорной точки M'_0 примем состояние г. Белгорода в 2015 году. При анализе данных будем использовать комбинации перечисленных выше переменных из последовательности величин p_1, \dots, p_n , а также их безразмерные величины, отнесенные к значениям первого опорного состояния.

Построим прямую линию между состояниями M_0 и M'_0 , определим длину полученного отрезка и разобьем его на 100 равных частей. В результате имеем эталон одной измерительной единицы сходства состояний применительно к пространству E^n . Будем называть эту единицу, например, градусом (балом, пунктом) – $1^\circ M$. Ее значение равно длине σ элементарного отрезка, который будем измерять определенным образом. После этого получены уравнения состояний городов России. Коэффициенты множественной корреляции зависимостей имеют высокие значения, что позволяет сделать вывод о справедливости принципа соответственных состояний для изучаемого класса объектов [10].

Результаты обработки данных и построения уравнений состояний городов приведены на рисунке 1.

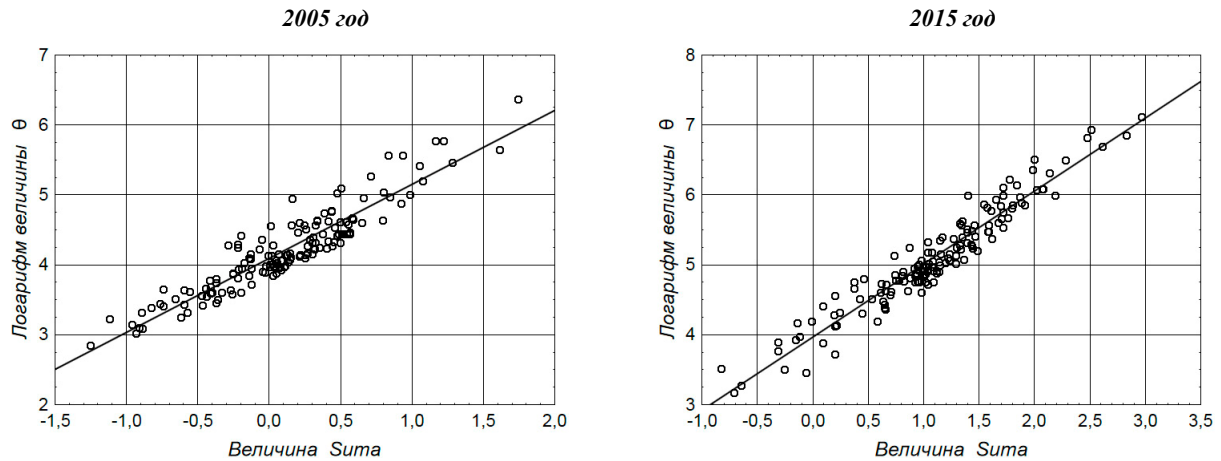


Рисунок 1. – Зависимость эмпирической меры для городов России от значений показателей развития в 2005 и 2015 гг.:
2005 год: $Suma = 0,406 \ln(p_1/p_{1_0}) + 0,398 \ln(p_4/p_{4_0}) + 0,181 \ln(p_5/p_{5_0})$;
2015 год: $Suma = 0,527 \ln(p_1/p_{1_0}) + 0,340 \ln(p_5/p_{5_0})$

Аналогичным образом строились математические модели для перечисленных выше классов объектов [8–19].

Следует отметить, что подобные зависимости могут быть справедливы для различных многомерных пространств состояний объектов независимо от природы изучаемых данных. Соответствующие феноменологические соотношения будут носить свой специфический характер для определенного класса объектов, используемых эмпирических мер и каждой комбинации выбранных переменных состояния.

Выводы

Таким образом, при описании темпоральных массивов данных возможно построение феноменологических соотношений в виде уравнений состояний объектов, что дает возможность разработки на основе общего подхода моделей физических, биологических и социальных систем.

Список литературы

1. Mathematical modeling of collective behavior in socio-economic and life sciences / G. Naldi, L. Pareschi, G. Toscani (eds.). Berlin, Springer, 2010, 438 p.
2. Econophysics and sociophysics: trends and perspectives / B.K. Chakrabarti, A. Chakraborti, A. Chatterie (eds.). Berlin, Wiley-VCH, 2006, 622 p.
3. Encyclopedia of complexity and systems science / R.A. Meyers (Editor-in-chief). Berlin, Springer, 2009, 10370 p.
4. Словохотов Ю.Л. Физика и социофизика. Ч. 1–3, Проблемы управления, 2012, №1, с. 2–20; № 2, с. 2–31; № 3, с. 2–34.
5. Cornell University Library, Physics and Society. Available at: <http://arxiv.org/list/physics.soc-ph/recent> (accessed 10 apr 2017).

6. Lillo F. 2008. Econophysics and the challenge of efficiency. *Complexity*, Vol. 14, 3: 39–54.
7. Аверин Г.В., Константинов И.С., Звягинцева А.В. О континуальном подходе к модельному представлению данных // Вестник компьютерных и информационных технологий, №10. 2016. – С. 47–52. URL: <http://www.vkit.ru/index.php/archive-rus/541-047-052> (10.04.17).
8. Аверин Г.В. Системодинамика. Донецк: Донбасс, 2014. – 405 с. URL: <http://dspace.bsu.edu.ru/handle/123456789/17840> (10.04.17).
9. Звягинцева А.В. Вероятностные методы комплексной оценки природно-антропогенных систем / Под ред. Г.В. Аверина. М.: Спектр, 2016. – 257 с. URL: <http://dspace.bsu.edu.ru/handle/123456789/17837> (05.04.2017).
10. Аверин Г.В., Звягинцева А.В. О справедливости принципа соответственных состояний для систем различной природы // Научные ведомости Белгородского государственного университета. Сер. Экономика. Информатика, №16(265), вып. 43. 2017. – С. 104–112. URL: <http://dspace.bsu.edu.ru/handle/123456789/21056> (09.04.17).
11. Звягинцева А.В. Методика событийной оценки и результаты ранжирования стран, регионов и городов по комплексу показателей // Системный анализ и информационные технологии в науках о природе и обществе, №1(10)–2(11). 2016. – С. 147–184.
12. Ехилевский С.Г., Аверин Г.В., Константинов И.С., Звягинцева А.В. Феноменологические соотношения для континуальных пространств состояний систем различной природы // Научные ведомости Белгородского государственного университета. Сер. Экономика. Информатика, №23(272), вып. 44. 2017. – С. 139–147.
13. Звягинцева А.В., Константинов И.С. Модели эволюционного развития регионов на основе показателей благоустройства городских территорий // Информационные системы и технологии, №6(104). 2017. – С. 40–50.

14. Звягинцева А.В. Рейтингование качества деятельности работников на основе оценки вероятностей совместных индикативных событий // Научные ведомости Белгородского государственного университета. Сер. Экономика. Информатика, №2(251), вып. 41. 2017. – С. 108–115.
15. Averin G.V., Zviagintseva A.V., Shevtsova M.V. and Kurtova L.N. 2017. On Representation of Discrete Information of Temporal Databases in the Continuous Form. *Journal of Engineering and Applied Sciences* Vol. 12. Issue 15: 3884–3889, DOI: 10.3923/jeasci.2017.3884.3889.
16. Averin G.V., Zviagintseva A.V., Shevtsova M.V. and Kurtova L.N. 2016. Probabilistic methods of a complex assessment of quantitative information. *Research Journal of Applied Sciences*, 11(7): 415–418.
17. Аверин Г.В., Константинов И.С., Звягинцева А.В. Принципы существования энтропии и сохранения меры информации в пространствах состояний сложных систем // Системный анализ и информационные технологии в науках о природе и обществе, №1(10)–2(11). 2016. – С. 128–135. URL: <http://sait.csm.donntu.org/> (07.04.19).
18. Аверин Г.В. О некоторых феноменологических закономерностях биологической жизни // Системный анализ и информационные технологии в науках о природе и обществе, №1(10)–2(11). 2016. – С. 11–31. URL: <http://sait.csm.donntu.org/> (07.04.17).
19. Звягинцева А.В., Аверин Г.В., Хоруженко А.С. Комплексная оценка состояния и развития городов на основе определения вероятностей характерных событий // Биосферная совместимость: человек, регион, технологии, №3(15). 2016. – С. 18–29.
20. База данных Федеральной службы государственной статистики. URL: http://www.gks.ru/wps/wcm/connect/rosstat_main/rosstat/ru/statistics/publications/catalog/doc_1138631758656 (06.04.17).
7. Averin G.V., Konstantinov I.S., Zviaginceva A.V. O kontinual'nom podhode k model'nomu predstavleniju dannyh [About continual approach to model data presentation]. *Vestnik komp'yuternyh i informacionnyh tehnologij*, no 10. 2016: 47–52. Available at: <http://www.vkit.ru/index.php/archive-rus/541-047-052> (accessed 10 apr 2017). (in Russian).
8. Averin G.V. *Sistemodinamika* [Systemdynamics]. Doneck, Donbass, 2014, 405 p. Available at: <http://dspace.bsu.edu.ru/handle/123456789/17840> (accessed 10 apr 2017). (in Russian).
9. Zviaginceva A.V. Verojatnostnye metody kompleksnoj ocenki prirodno-antropogennyh sistem [Probabilistic Methods of a Complex Assessment of Natural and Anthropogenic Systems] / Pod red. G.V. Averina, 2016. Moscow, Spektr, 257 p. Available at: <http://dspace.bsu.edu.ru/handle/123456789/17837> (accessed 5 apr 2017). (in Russian).
10. Averin G.V., Zviaginceva A.V. O spravedlivosti principa sootvetstvennyh sostojanij dlja sistem razlichnoj prirody [On justice of the principle of corresponding conditions for various systems]. *Nauchnye vedomosti Belgorodskogo gosudarstvennogo universiteta. Ser. Jekonomika. Informatika*, no 16. Issue 43: 104–112. URL: <http://dspace.bsu.edu.ru/handle/123456789/21056> (accessed 9 apr 2017). (in Russian).
11. Zviagintseva A.V. Metodika sobytijnoj ocenki i rezul'taty ranzhirovanija stran, regionov i gorodov po kompleksu pokazatelej [Events evaluation Methodic and the countries, regions and cities ranking results on a set of indicators]. *Sistemnyj analiz i informacionnye tehnologii v naukah o prirode i obshhestve*, no 1(10)–2(11). 2016: 147–184. (in Russian).
12. Ehilevskij S.G., Averin G.V., Konstantinov I.S., Zviaginceva A.V. Fenomenologicheskie sootnoshenija dlja kontinual'nyh prostranstv sostojanij sistem razlichnoj prirody [Phenomenological relations for the continual state spaces in various nature systems]. *Nauchnye vedomosti Belgorodskogo gosudarstvennogo universiteta. Ser. Jekonomika. Informatika*, no 23(272). Issue 44, 2017: 139–147. (in Russian).
13. Zviaginceva A.V., Konstantinov I.S. Modeli jevoljucionnogo razvitiya regionov na osnove pokazatelej blagoustrojstva gorodskih territorij [The regions evolutionary development models on the city territories improvement indicators basis]. *Informacionnye sistemy i tehnologii*, no 6(104). 2017: 40–50. (in Russian).
14. Zviaginceva A.V. Rejtingovanie kachestva dejatel'nosti rabotnikov na osnove ocenki verojatnostej sovmestnyh indikativnyh sobytij [The workers activity quality rating on the joint indicative events probabilities assessment basis]. *Nauchnye vedomosti Belgorodskogo gosudarstvennogo universiteta. Ser. Jekonomika. Informatika*, no 2(251). Issue 41. 2017: 108–115. (in Russian).
15. Averin G.V., Zviagintseva A.V., Shevtsova M.V. and Kurtova L.N. 2017. On Representation of Discrete Information of Temporal Databases in the Continuous Form. *Journal of Engineering and Applied Sciences* Vol. 12. Issue 15: 3884–3889, DOI: 10.3923/jeasci.2017.3884.3889.

References (transliteration)

1. Mathematical modeling of collective behavior in socio-economic and life sciences / G. Naldi, L. Pareschi, G. Toskani (eds.). Berlin, Springer, 2010, 438 p.
2. Econophysics and sociophysics: trends and perspectives / B.K. Chakrabarti, A. Chakraborti, A. Chatterie (eds.). Berlin, Wiley-VCH, 2006, 622 p.
3. Encyclopedia of complexity and systems science / R.A. Meyers (Editor-in-chief). Berlin, Springer, 2009, 10370 p.
4. Slovohotov Y.L. Fizika i sociofizika. Ch. 1–3, Problemy upravlenija [Physics and Social Science. Part 1–3. Problems of Management], 2012, no 1: 2–20, no 2: 2–31, no 3: 2–34. (in Russian).
5. Cornell University Library, Physics and Society. Available at: <http://arxiv.org/list/physics.soc-ph/recent> (accessed 10 apr 2017).
6. Lillo F. 2008. Econophysics and the challenge of efficiency. *Complexity*, Vol. 14, 3: 39–54.

16. Averin G.V., Zviagintseva A.V., Shevtsova M.V. and Kurtova L.N. 2016. Probabilistic methods of a complex assessment of quantitative information. *Research Journal of Applied Sciences*, 11(7): 415–418.
17. Averin G.V., Konstantinov I.S., Zviagintseva A.V. Principy sushhestvovaniya jentropii i sohraneniya mery informacii v prostranstvah sostojanij slozhnyh system [The principles of entropy existence and information measure conservation in spaces of conditions of complex systems]. *Sistemnyj analiz i informacionnye tehnologii v naukah o prirode i obshhestve*, no 1(10)–2(11). 2016: 128–135. Available at: <http://sait.csm.donntu.org/> (accessed 7 apr 2017). (in Russian).
18. Averin G.V. O nekotoryh fenomenologicheskikh zakonornostyah biologicheskoy zhizni [On some phenomenological regularities of biological life]. *Sistemnyj analiz i informacionnye tehnologii v naukah o prirode i obshhestve*, no 1(10)–2(11). 2016: 11–31. Available at: <http://sait.csm.donntu.org/> (accessed 7 apr 2017). (in Russian).
19. Zviagintseva A.V., Averin G.V., Horuzhenko A.S. Kompleksnaja ocenka sostojaniya i razvitiya gorodov na osnove opredeleniya verojatnostej harakternyh sobytij [The urban state and development comprehensive evaluation on the characteristic events probabilities calculating basis]. *Biosfernaja sovmestimost': chelovek, region, tehnologii*, no 3(15). 2016: 18–29. (in Russian).
20. Baza dannyh Federal'noj sluzhby gosudarstvennoj statistiki [Database of Federal State Statistics Service]. Available at: http://www.gks.ru/wps/wcm/connect/rosstat_main/rosstat/ru/statistics/publications/catalog/doc_1138631758656 (accessed 6 apr 2017). (in Russian).

Аверін Г.В., Звягінцева Г.В. «Феноменологічний метод опису темпоральних масивів даних». Запропоновано метод опису темпоральних масивів даних на основі побудови загального середовища моделювання у вигляді багатовимірного фазового простору станів об'єктів одного класу. Особливістю запропонованого підходу є прийняття допущення, що існують комплексні емпіричні міри, які характеризують в цілому стан об'єктів або систем. Показано, що змінні стану та емпіричні заходи можуть бути пов'язані в фазових просторах станів між собою функціональними залежностями. Для порівняння станів об'єктів між собою пропонується використовувати різні емпіричні міри – геометричні величини, імовірнісні характеристики, кластерні міри тощо. У статті наведено методичні принципи обробки й опису темпоральних даних для отримання кількісних закономірностей та представлена методика побудови моделей опису даних. Показано, що структуровані кількісні дані, які отримано в експерименті або в спостереженні, можуть бути описані з необхідною точністю за допомогою різних математичних моделей. Запропонована методика апробована на масивах темпоральних даних, які характеризують фізико-хімічні, біологічні, екологічні та соціально-економічні системи. Процес отримання феноменологічних моделей опису емпіричних даних в статті продемонстровано на прикладі вивчення соціально-економічного стану міст Росії за п'ятьма показниками їхнього розвитку в сфері реальної економіки. Результати обробки даних дозволили зробити висновок про справедливість принципу відповідних станів для досліджуваного класу об'єктів.

Ключові слова: *середовище моделювання, багатовимірний фазовий простір станів, феноменологічні моделі опису даних, змінні стану, емпірична міра, темпоральні масиви даних, принцип відповідних станів.*

Averin G.V., Zviagintseva A.V. “Phenomenological method of temporal data sets description”. A method for describing temporal data arrays is proposed based on the construction of a General modeling environment in the form of a multidimensional phase space of States of objects of one class. The peculiarity of the proposed approach is the assumption that there are complex empirical measures characterizing the overall state of objects or systems. It is shown that state variables and empirical measures can be related in phase state spaces by functional dependencies. For comparison of States between objects is proposed to use different empirical measures of geometric magnitudes, probabilistic characteristics, cluster measures, etc. In the article the methodological principles of processing and temporal data to obtain quantitative patterns and presents a method of constructing models describing the data. It is shown that the structured quantitative data obtained in the experiment or in the observation can be described with the necessary accuracy using various mathematical models. The proposed method has been tested on temporal data arrays characterizing physicochemical, biological, ecological and socio-economic systems. The process of obtaining phenomenological models describing empirical data in the article is demonstrated by the example of studying the socio-economic condition of Russian cities on five indicators of their development in the real economy. The results of data processing allowed to draw a conclusion about the validity of the principle of corresponding States for the studied class of objects.

Keywords: *modeling environment, multidimensional phase space of States, phenomenological models of data description, state variables, empirical measure, temporal data sets, principle of corresponding States.*

Статья поступила в редакцию 12.04.2017

Рекомендована к публикации в журнале И.С. Константиновым

О законодательном и нормативно-методическом обеспечении стратегического планирования в Российской Федерации

Михайлова А.А.

Белгородский государственный национальный исследовательский университет
mikhajlovaangela@yandex.ru

Михайлова А.А. «О законодательном и нормативно-методическом обеспечении стратегического планирования в Российской Федерации». Нормативно-методическое обеспечение стратегического планирования создает условия для эффективного процесса подготовки, принятия и реализации управленческих решений на государственном, региональном, муниципальном и отраслевом уровнях. Являясь организационно-методическими и нормативно-справочными материалами, данные документы используются при постановке и решении задач, касающихся оценки и планирования различных аспектов развития – технологического, социально-экономического, экологического, территориального и т.д. В статье акцент делается на то, что для обеспечения системности управления необходимым и важным является идентичность структуры разработки и полная взаимодополняемость основных документов стратегического планирования, которые предусмотрены Федеральным законом от 28 июня 2014 г. № 172-ФЗ «О стратегическом планировании в Российской Федерации». В работе выполнен анализ основных 15 нормативно-методических актов Российской Федерации федерального, регионального, муниципального и отраслевого уровней в области стратегического планирования. Соответствующий анализ показал, что основной проблемой в данной области является недоработка методического обеспечения, которое в обязательном порядке должно прилагаться к существующим нормативным документам, а также давать возможность разрабатывать качественные среднесрочные и долгосрочные прогнозы. Выявлено, что неполнота, недостаточность проработки и неоднородность содержания документов стратегического планирования затрудняет их внедрение на всех уровнях управления. Следует также отметить, что не для всех указанных в упомянутых документах показателей установлены критерии оценки и эффективности, позволяющие выработать управленческие решения относительно исследуемого объекта и определить приоритеты его развития. Это, в свою очередь, затрудняет использование данных показателей и предопределяет нестабильность планирования развития городов, регионов и страны в целом. Установлено, что основная причина массового отсутствия документов стратегического планирования на местах связана с тем, что разработка стратегий, приказов, планов и программ на фоне отсутствия приемлемого методического обеспечения по комплексной оценке и прогнозированию социально-экономических объектов остается крайне сложной научной и экспертной работой. В процессе исследования выявлены документы стратегического планирования на федеральном и региональном уровнях не имеющие методического обеспечения, в связи с чем при их использовании возможны проявления недоработок и юридических коллизий. Отмечается, что в отдельных документах не сформулированы задачи, в некоторых не представлены механизмы реализации, в иных не указаны достижимые показатели/индикаторы. Среди основных проблем также выявлено отсутствие системности и постоянного мониторинга выполнения принятых документов на всех уровнях, ненадлежащая организация контроля над исполнением планов и мероприятий, а также реализации задач, неорганизованность порядка определения и внесения поправок, исходя из особенностей развития территорий. В работе представлены наиболее важные показатели, имеющие рекомендуемые значения и позволяющие всесторонне оценить уровень развития. Сделан вывод, что совместное использование индикаторов устойчивого развития России и ООН позволит в совокупности проанализировать экономическую и социальную составляющую, а также объективно оценить уровень развития городов, регионов и страны в целом.

Ключевые слова: стратегическое планирование, законодательство, нормативно-методическое обеспечение, региональное и муниципальное развитие.

Введение

Нормативно-методическое обеспечение, на сегодняшний день, является неотъемлемой и необходимой частью разработки всего комплекса документов стратегического планирования.

Разрабатываемые методологии имеют свою специфику, принципы и подходы. Они основаны на анализе внешней и внутренней среды, основных приоритетов и определении возможных вариантов стратегий. Самая первая региональная стратегия в России была разработана в 1997 году в Санкт-Петербурге. За последние двадцать лет создан целый ряд нормативно-методических документов в данной области. Однако следует отметить, что до сих пор не выработана единая методология стратегического планирования. При определении сущности и содержания понятия «стратегия» можно выделить 3 основных подхода [1, 2, 3]:

- стратегия как план или система мероприятий;
- стратегия как документ;
- стратегия как видение, направленное на развитие.

Важно отметить, что существуют различные точки зрения авторов, понимающих под стратегией развития региона определенный целеполагающий документ. При этом данный документ может достаточно широко определяться: от целей развития территории, постановки задач, реализация которых необходима для достижения поставленных целей, и определения направлений развития территории, до целей, задач, направлений развития территории, составления прогнозов, механизмов реализации стратегии, анализа ресурсных возможностей, оценки социально-экономической ситуации, формулировки сценариев развития внешних условий и разработки некоторых (конкретных) мероприятий. Благодаря рекомендациям, которые содержатся в существующем нормативно-методическом обеспечении, документы, разрабатываемые в различных регионах и городах, имеют общую структуру, одинаковое смысловое содержание и направлены на достижение общих целей. В настоящее время существуют следующие основные законодательные и нормативно-методические документы стратегического планирования в Российской Федерации [4–22], представляющие интерес для изучения и анализа.

Нормативно-правовые документы стратегического планирования

В соответствии со ст. 11 Федерального закона от 28 июня 2014 г. №172-ФЗ «О стратегическом планировании в Российской Федерации» предусмотрена разработка

документов стратегического планирования в рамках целеполагания, прогнозирования и планирования на федеральном уровне, на уровне субъектов Российской Федерации и на уровне муниципальных образований [4].

На федеральном уровне разрабатывается 17 документов стратегического планирования (стратегии – 6, прогнозы – 6, план – 1, документы – 2, государственные программы – 2). В свою очередь, на региональном уровне разрабатывается 9 документов стратегического планирования (стратегии – 2, прогнозы – 4, план – 1, региональная программа – 1, схема – 1), на муниципальном – 8 (стратегии – 2, прогнозы – 4, план – 1, муниципальная программа – 1).

Согласно ст. 12 Федерального Закона №172-ФЗ документы стратегического планирования подлежат обязательной государственной регистрации в федеральном государственном реестре документов стратегического планирования в порядке и сроки, установленные Правительством Российской Федерации. Правила государственной регистрации и ведения федерального государственного реестра документов стратегического планирования утверждены постановлением Правительства РФ от 25 июня 2015 г. №631.

На 1 января 2017 года в государственной автоматизированной информационной системе «Управление», согласно реестру документов, общее количество зарегистрированных документов стратегического планирования всех уровней управления составило 23933 [23]. На федеральном уровне (в том числе: уровень макрорегион и федеральный округ) зарегистрировано 5 стратегий социально-экономического развития, 1 прогноз социально-экономического развития на долгосрочный период, 22 отраслевых документа, 2 схемы территориального планирования. На региональном уровне зарегистрировано 766 документов: 17 стратегий социально-экономического развития (без учета муниципальных образований), 16 прогнозов социально-экономического развития на долгосрочный и 74 на среднесрочный периоды, 60 бюджетных прогнозов на долгосрочный период, 18 планов мероприятий по реализации стратегий, 17 схем территориального планирования. На муниципальном уровне общее количество зарегистрированных документов составило 23119. Из них – 396 прогнозов социально-экономического развития на долгосрочный и 2412 на среднесрочный периоды, 501 бюджетных прогнозов на долгосрочный период и 18907 муниципальных программ.

Исходя из вышеприведенных данных, можно сделать вывод, что из 85 субъектов Российской Федерации 74 субъекта не имеют стратегий социально-экономического развития, 69 субъектов не имеют прогнозов социально-экономического развития на долгосрочный

период, 25 не имеют бюджетных прогнозов на долгосрочный период, 67 – планов мероприятий по реализации стратегий и у 68 субъектов отсутствуют схемы территориального планирования.

В соответствии с данными Федеральной службы государственной статистики [24], на 1 января 2017 г. число муниципальных образований Российской Федерации составляло 22327. На 01 января 2017 года из 22327 муниципальных образований 22327 не имели стратегий социально-экономического развития, 21931 не имели прогнозов социально-экономического развития на долгосрочный и 19915 – на среднесрочный периоды. В 21826 муниципальных образованиях отсутствовали бюджетные прогнозы на долгосрочный период и в 3420 – планы мероприятий по реализации стратегии.

С учетом вышеприведенного можно сделать вывод, что не все муниципальные образования имеют документы стратегического планирования, предусмотренные Федеральным Законом от 28 июня 2014 г. №172-ФЗ. Слабое развитие стратегического направления на муниципальном уровне в сложных политических и экономических условиях тормозит развитие всей страны, и, тем самым, существенно осложняет управление на уровне муниципальных образований. Основная причина создавшегося положения в области разработки стратегических документов связана с тем, что формирование стратегий, планов и программ на фоне отсутствия методического обеспечения по комплексной оценке и прогнозированию социально-экономических объектов остается крайне сложной научной и экспертной работой. Соответствующие службы планирования на региональном и муниципальном уровнях не всегда имеют достаточный уровень для качественной подготовки таких документов.

Анализ нормативно-методической документации Российской Федерации в области стратегического планирования

Важно отметить, что документы стратегического планирования различного уровня разрабатываются на основе методического обеспечения, представляющего собой процедуры, рекомендации, экономические оценки и инструкции по разработке того или иного документа [25].

В данной работе анализ нормативно-методической документации Российской Федерации в области стратегического планирования развития городов и регионов проведен на основе 15 документов федерального, регионального, муниципального и отраслевого уровней. Уже сейчас можно сделать вывод, что некоторые документы (Концепция Стратегии социально-экономического развития регионов Российской Федерации до 2020 г. [5], Проект Концепции Стратегии пространственного развития

Российской Федерации до 2030 г. [6], Прогноз долгосрочного социально-экономического развития Российской Федерации на период до 2030 г. [26], Бюджетные прогнозы субъекта Российской Федерации и муниципального образования на долгосрочные периоды (разрабатываются в соответствии с Бюджетным кодексом РФ) [27]), не имеют нормативно-методического обеспечения, что затрудняет разработку подобных документов на местах. При этом каждый документ должен иметь наименование, цели, задачи, основные этапы, механизмы и этапы реализации, методы и показатели, положенные в основу оценки, целевые индикаторы и критерии (основные макроэкономические показатели).

В процессе изучения документов [7–21] установлено, что 13 из них имеют прогнозные показатели, а в 2-х документах они отсутствуют. Этапы реализации присутствуют только в 12 документах. Кроме того, 10 документов характеризуют методы, положенные в оценку, в 5 документах такие методы отсутствуют. Также, не все документы имеют цели, задачи и перечень требуемых основных разделов документа.

Таким образом, неоднородность содержания документов стратегического планирования затрудняет их апробацию на соответствующих уровнях управления (федеральном, региональном, муниципальном).

Кроме содержательных отличий следует отметить, что не для всех показателей, которые упоминаются в документах стратегического планирования, установлены критерии (рекомендуемые значения), которые дают возможность оценить разницу в уровне развития. Использование большей части показателей без рекомендуемых значений предопределяет неясность в целеполагании при развитии городов, регионов и страны в целом.

В процессе анализа были отобраны наиболее важные показатели, позволяющие оценить уровень развития объектов и имеющие рекомендуемые значения.

Установлено, что из 15 анализируемых документов только 1 документ, а именно [12], имеет показатели с рекомендуемыми значениями, которые должны быть обеспечены (табл. 1). Использование данных индикаторов позволит оценить социально-экономическое развитие городов, регионов и Российской Федерации в целом, а принятые критерии дадут возможность проанализировать уровень развития городов, и выделить группы лидеров и аутсайдеров.

Помимо индикаторов нормативно-методическая документация Российской Федерации в области стратегического планирования развития городов и регионов содержит слишком большое количество показателей. Общее количество показателей, требующих анализа в данной документации, составляет порядка 770 единиц. При этом

наиболее часто используется около 30 макроэкономических показателей. Среди них следует выделить численность населения; экспорт и импорт нефти и природного газа, %; экспорт машин, оборудования и транспортных средств, %; численность населения трудоспособного и пенсионного возраста, лет; миграционный прирост, %; суммарный коэффициент рождаемости, %; общий коэффициент смертности, %; ожидаемую продолжительность жизни при рождении, лет; объем и динамику ВВП/ВРП, %; объем отгруженной продукции, динамику промышленного производства и производства с/х продукции, руб.; динамику производительности труда, руб.; оборот розничной торговли, тыс. руб.; объем платных услуг

населению, тыс. руб.; уровень безработицы, %; фонд заработной платы работников организаций, тыс. руб.; номинальную начисленную среднемесячную заработную плату работников организаций, тыс. руб.; среднегодовой размер пенсий, тыс. руб.; объем инвестиций в основной капитал, млн. руб.; государственные капитальные вложения, тыс. руб.; индекс производительности труда, %; удельный вес городского и сельского населения в общей численности населения, %; темп прироста численности населения, %; уровень младенческой смертности, на 1000 рождений; объем услуг связи, оказанных населению, на 1 жителя, руб.; численность занятых в экономике, тыс. чел. и т.д.

Таблица 1. – Некоторые индикаторы для комплексной оценки устойчивого социально-экономического развития и стратегического планирования в Российской Федерации

№ п.п.	Индикатор	Рекомендуемое значение
1	Объем инвестиций, %	К 2018 г. до 27
2	Доля продукции высокотехнологичных и наукоемких отраслей экономики в ВВП	К 2018 г. в 1,3 раза относительно уровня 2011 г.
3	Производительность труда	К 2018 г. в 1,5 раза относительно уровня 2011 г.
4	Реальная заработная плата	К 2018 г. в 1,4–1,5 раза
5	Высококвалифицированные работники	К 2020 г. оно составляло не менее трети от числа квалифицированных работников.
6	Младенческая смертность, чел.	К 2018 г. до 7,5 на 1 тыс. родившихся живыми
7	Обеспечение объема производства отечественных лекарственных средств по номенклатуре перечня стратегически значимых лекарственных средств и перечня жизненно необходимых и важнейших лекарственных препаратов, %	К 2018 г. до 90
8	Вхождение российских университетов в первую сотню ведущих мировых университетов согласно мировому рейтингу университетов, шт.	К 2020 г. не менее 5
9	Увеличение доли образовательных учреждений среднего профессионального образования для людей с ограниченными возможностями, %	К 2020 г. с 3 до 25
10	Процентная ставка по ипотечному жилищному кредиту (в рублях) по отношению к индексу потребительских цен	До 2018 г. не более 2,2 процентных пункта снижения показателя превышения среднего уровня процентной ставки по ипотечному жилищному кредиту к индексу потребительских цен
11	Количество выдаваемых ипотечных жилищных кредитов, тыс. в год	До 2018 г. увеличение до 815
12	Улучшение жилищных условий	До 2018 г. создание для граждан РФ условий не реже одного раза в 15 лет
13	Денежное довольствие военнослужащих	Увеличение до уровня ведущих отраслей
14	Размер пенсий гражданам, уволенным с военной службы, %	Ежегодное увеличение не менее чем на 2%
15	Коэффициент рождаемости, %	К 2018 г. повышение суммарного коэффициента рождаемости до 1,753
16	Ожидаемая продолжительность жизни в РФ, лет	Обеспечить увеличение к 2018 г. до 74 лет
17	Предельное количество документов, необходимых участнику внешнеэкономической деятельности для пропуска товаров через границу при экспорте, ед.	К 2018 г. – 4
18	Предельное количество документов, необходимых участнику внешнеэкономической деятельности для пропуска товаров через границу при импорте, ед.	К 2018 г. – 4
19	Доля частных медицинских организаций в общем количестве медицинских организаций, участвующих в реализации программы государственных гарантий бесплатного оказания медицинской помощи, %	К 2018 г. – 14
20	Степень удовлетворенности потребителей качеством услуг, %	К 2018 г. – 85

Сегодня в практике прогнозирования и планирования применяются методические рекомендации, правила, положения и постановления с учетом практического опыта прогнозирования развития отраслей и секторов экономики, используются показатели, являющиеся основой для формирования доходных частей бюджетов и т.д.

Прогнозы основываются на вероятностном анализе внешних и внутренних условий социально-экономического развития субъектов Федерации, составлении и анализе трех основных сценариев развития (базовый, консервативный и целевой), а также экспертном и экстраполяционном прогнозировании основных целевых показателей.

Прогноз социально-экономического развития Российской Федерации на долгосрочный период разрабатывается на основании Правил [7].

Для разработки показателей прогнозирования социально-экономического развития субъектов Российской Федерации предусмотрены соответствующие Методические рекомендации [20]. Еще одним актуальным документом стратегического планирования является Стратегия инновационного развития Российской Федерации на период до 2020 г. [22]. Данная Стратегия разработана на основе положений Концепции социально-экономического развития Российской Федерации до 2020 г. Стратегия социально-экономического развития муниципальных образований формируется на основе Методических рекомендаций [18 и др.]. Кроме вышеуказанных методических рекомендаций регионального уровня, существуют Методические рекомендации по заполнению формы (форма 2П) и к разработке показателей прогнозов социально-экономического развития субъектов Российской Федерации [21]. Данные рекомендации разработаны с целью получения прогноза значений показателей социально-экономического развития субъектов Российской Федерации.

В муниципальных образованиях разработка и применение документов стратегического планирования требует особого внимания в связи с недостаточной проработанностью содержательной части. На федеральном и региональном уровнях часть документов стратегического планирования не имеет методического обеспечения, в связи с чем могут проявляться недоработки и юридические коллизии. До сих пор не утвержден ряд важных документов, таких как: Стратегия пространственного развития, о которой написано выше, Стратегия социально-экономического развития макрорегионов, Стратегия социально-экономического развития регионов РФ, некоторые отраслевые документы стратегического планирования. Кроме того, необходима разработка методического обеспечения

к документам стратегического планирования, в которых оно отсутствует [28–38]. В Плате реализации Основ государственной политики регионального развития Российской Федерации на период до 2025 г. указаны документы, подлежащие разработке со сроком их исполнения. Срок исполнения проекта Стратегии пространственного развития – март 2018 года, разработки проектов стратегий социально-экономического развития макрорегионов – сентябрь 2018 года, разработки (корректировки) отраслевых документов стратегического планирования с учетом целей и задач пространственного развития России, определенных в стратегии пространственного развития РФ, – декабрь 2018 года [6, 16, 17]. В данном Плате предусмотрено проведение 32 мероприятий, по результатам которых будут разработаны и исполнены документы стратегического планирования с соответствующим методическим обеспечением.

Важно отметить, что существует Положение о содержании, составе, порядке разработки и корректировки стратегий социально-экономического развития макрорегионов, однако в нем не указаны задачи, механизмы, этапы, основные направления и целевые индикаторы [10]. На основании данного Положения невозможна разработка единой стратегии социально-экономического развития макрорегионов.

Кроме того, разработаны Методические рекомендации органам государственной власти субъектов РФ по долгосрочному бюджетному планированию [11] и Методические рекомендации по составлению и исполнению бюджетов субъектов РФ и местных бюджетов на основе государственных (муниципальных) программ [12], утвержденные Министерством финансов РФ, которые содержат цели, задачи, этапы, основные направления и индикаторы (показатели).

На основе Методических рекомендаций по подготовке проектов схем территориального планирования субъектов РФ [14] разрабатываются схемы территориального планирования, предусмотренные ст. 30 Федерального закона №ФЗ-172 [4]. Схемы территориального планирования РФ подлежат разработке в целях обеспечения устойчивого социально-экономического развития России и основываются на основных положениях стратегии социально-экономического развития РФ, стратегии пространственного развития РФ, стратегиях социально-экономического развития макрорегионов, отраслевых документах стратегического планирования России с учетом требований, определенных Градостроительным кодексом РФ и иными нормативно-правовыми актами.

В целом можно сделать вывод, что документы стратегического планирования Российской Федерации, предусмотренные ФЗ-172,

не полностью разработаны и утверждены. Кроме того, проблемой является недоработка методического обеспечения, которое в обязательном порядке должно прилагаться к существующим документам.

С 1 января 1999 г. принят пакет методических документов, объединенных общим названием «Пакт стабильности и роста». В 2015 году дополнительно утверждены три документа: рекомендации по наилучшим способам придания гибкости стратегическим документам в рамках существующих правил (финансовая стабильность); рекомендации Еврокомиссии по поддержке структурных реформ и инвестиций (поощрение структурных реформ, содействие инвестициям); Бюллетень Европейской комиссии «Ответы на наиболее часто задаваемые вопросы» (объекты и методы контроля финансового состояния государств-членов ЕС, условия софинансирования инвестиционных проектов и применения мер по корректировке и стабилизации национальных бюджетов).

Данные документы представляют интерес в свете разработки нормативно-методического обеспечения стратегического планирования в Российской Федерации.

Большой проблемой стратегического планирования является разработка среднесрочных и долгосрочных прогнозов. Сегодня в практике прогнозирования и планирования применяются «Методические рекомендации к разработке показателей прогноза социально-экономического развития субъектов Российской Федерации» [20], разработанные Минэкономразвития России, с учетом практического опыта прогнозирования развития отраслей и секторов экономики, положения региональных и муниципальных образований, использования показателей, являющихся основой для формирования доходных частей бюджетов и т.д. Применяются также положения «Методических рекомендаций по разработке, корректировке, мониторингу среднесрочного прогноза социально-экономического развития Российской Федерации» [13], которые рекомендуются к использованию Министерством экономического развития России при выборе макропоказателей развития субъектов.

Основными механизмами нормативно-методической документации Российской Федерации в области стратегического планирования развития городов и регионов являются: механизмы, компенсирующие дефицит финансовых ресурсов; открытость и прозрачность; механизм учета финансово-экономических последствий реализации всей

совокупности документов стратегического планирования; единый подход к управлению общественными финансами; обеспечение устойчивости функционирования торговли и общественного питания; соблюдение гарантированных нормативов в различных сферах деятельности; рыночный механизм организации оплаты труда, основанный на социальном партнерстве, и включающий межотраслевое и отраслевое регулирование заработной платы на основе тарифных соглашений и коллективных договоров, моделирование; проектирование.

Основным методом прогнозирования в существующих документах является метод экспертных оценок. Среди формализованных методов прогнозирования используются: SWOT-анализ; PEST-анализ; интегрированный параметр «нефтегазового дефицита по отношению к ВВП»; формирование оценки индексов на основе усредненных аналитических данных; экстраполяция величин; экономико-статистический анализ и моделирование; нормативный, программно-целевой и экономический анализ; экономико-математическое моделирование; обработка данных; усреднение и адаптивное сглаживание временных рядов.

Исходя из анализа нормативно-методической документации Российской Федерации в области стратегического планирования, важно отметить, что некоторые документы (например, [8–10, 12, 14–16]) не имеют задач. Другие документы не определяют механизмы реализации: [7–10, 12–16, 18, 19]. Одиннадцать документов имеют показатели и индикаторы, три документа не имеют показателей / индикаторов ([10, 19, 16]).

Исходя из таблицы 2, можно сделать вывод, что совместное использование индикаторов устойчивого развития России и ООН в нормативно-методических документах позволит в совокупности проанализировать как экономическую, так и социальную составляющую, а также другие направления стратегического планирования. Совокупное использование таких индикаторов даст возможность объективно оценить уровень развития городов и регионов.

Для любой страны при разработке методического обеспечения важным является опыт других стран. Одной из таких стратегий является «Руководство по стратегиям развития города», изданное в США.

Данное издание состоит из нескольких разделов, включая основную информацию о развитии городов, методологических процессах, стратегическому направлению и др. [39].

Таблица 2* . – Некоторые индикаторы устойчивого развития России и ООН

Индикаторы устойчивого развития России	Индикаторы Целей в области устойчивого развития ООН (SDGs)
ВРП на душу населения, руб.	Доля населения страны, живущего за национальной чертой бедности, в разбивке по полу и возрасту
Среднедушевые денежные доходы населения, тыс. руб.	Доля населения, охватываемого минимальным уровнем/системами социальной защиты, в разбивке по полу, с выделением детей, безработных, пожилых, инвалидов, беременных, новорожденных, лиц, получивших трудовое увечье, бедных и уязвимых
Средний размер назначенных пенсий, тыс. руб.	Доля населения, живущего в домохозяйствах с доступом к базовым услугам
Перевозки пассажиров железнодорожным транспортом, тыс. чел.	Доля совокупного взрослого населения, обладающего гарантированными правами землевладения, которые подтверждены признанными законом документами, и считающего свои права на землю гарантированными, в разбивке по полу и по формам землевладения
Перевозки пассажиров автобусом, млн. чел.	Число погибших, пропавших без вести и пострадавших непосредственно в результате бедствий на 100 000 человек
Объем перевозок грузов автомобильным транспортом, млн. т.	Число стран, принявших и осуществляющих национальные стратегии снижения риска бедствий в соответствии с Сендайской рамочной программой по снижению риска бедствий на 2015–2030 гг.
Валовая добавленная стоимость отрасли «Обрабатывающее производство», в % к итогу	Доля местных органов власти, принявших и осуществляющих местные стратегии снижения риска бедствий в соответствии с национальными стратегиями снижения риска бедствий
Экспорт, млн. дол. США, всего	Доля ресурсов, выделенных правительством непосредственно на программы по сокращению масштабов нищеты
Импорт, млн. дол. США, всего	Доля текущих и капитальных государственных расходов в секторах, которые приносят преимущественную выгоду женщинам, бедным и уязвимым группам населения
Прямые иностранные инвестиции, млн. дол. США	Распространенность задержки роста среди детей в возрасте до пяти лет (среднеквадратичное отклонение от медианного показателя роста к возрасту ребенка в соответствии с нормами роста детей, установленными Всемирной организацией здравоохранения (ВОЗ), <-2)
Инвестиции в основной капитал, направленные на охрану окружающей среды, млн. руб.	Распространенность неполноценного питания среди детей в возрасте до пяти лет в разбивке по виду (истощение или ожирение) (среднеквадратичное отклонение от медианного показателя веса к возрасту в соответствии с нормами роста детей, установленными ВОЗ, > + 2 или < - 2)
Объем работ, выполненных по видам экономической деятельности «Строительство», млн. руб.	Объем производства на производственную единицу в разбивке по классам размера предприятий фермерского хозяйства / скотоводства / лесного хозяйства
Численность населения, тыс. чел.	Средний доход мелких производителей продовольственной продукции в разбивке по полу и статусу принадлежности к коренным народам
Численность занятых в среднем за год, тыс. чел.	Доля площади сельскохозяйственных угодий, на которых применяются продуктивные и неистощительные методы ведения сельского хозяйства
Уровень зарегистрированной безработицы на конец года, %	Количество генетических ресурсов растительного и зоологического происхождения, предназначенных для производства продовольствия и сельского хозяйства, которые хранятся на специальных объектах либо среднесрочного, либо долгосрочного хранения
Площадь лесных земель, тыс. га	Доля местных пород, относимых к следующим категориям: находящиеся под угрозой исчезновения; не находящиеся под угрозой исчезновения; уровень угрозы исчезновения не известен
Общая площадь особо охраняемых природных территорий, тыс. га	Субсидирование экспорта сельскохозяйственной продукции
Количество исследователей, чел.	Коэффициент неонатальной смертности

* Составлено автором на основе источников [40–42]

Анализируемые Методические рекомендации по заполнению формы (форма 2-П) и к разработке показателей прогнозов социально-экономического развития субъектов Российской Федерации [21] разработаны с целью получения прогноза показателей социально-экономического развития субъектов Российской Федерации и состоят из 3 основных разделов. Разработка показателей и заполнение формы предполагает реализацию 3 этапов, использование экспертной оценки, обработки данных, метода экстраполяции, усреднения и адаптивного сглаживания. Всего в Методических рекомендациях по заполнению формы и к разработке показателей прогнозов социально-экономического развития субъектов РФ предлагается использовать 167 основных показателей, которые затрагивают различные направления деятельности.

В отношении муниципальных образований, в Федеральном Законе от 28.06.2014 г. №172-ФЗ необходимо обратить внимание на ст. 38 – отсутствие четкого регламентированного перечня разрабатываемых документов стратегического планирования; гл. 2 – отсутствует информация о полномочиях органов государственной власти на муниципальном уровне; п.6 ст.4 ФЗ – нет информации об обеспечении порядка координации деятельности муниципальных образований; п.7 ст.4 – отсутствует муниципальная согласованность и сбалансированность документов с другими уровнями; п.8 ст. 4 – отсутствует информация о разработке и утверждении документов стратегического планирования муниципального уровня; ст.5 и ст.6 – нет информации о полномочиях органов государственной власти субъектов России и муниципальных органов по взаимодействию в сфере стратегического планирования. Всё выше перечисленное свидетельствует о несогласованности документов и действий с региональным, а также федеральным уровнями, что может стать причиной недопонимания и неэффективного управления.

Таким образом, недостатки основных стратегических документов, разрабатываемых на муниципальном уровне, являются следствием отсутствия необходимых нормативно-методических документов.

Об устойчивом развитии России и Концепции ООН

Также, в работе проанализирована Концепция устойчивого развития России, утвержденная 1 апреля 1996 г. [43]. Данная Концепция разработана на основе текста Концепции, принятой в 1992 г. ООН. В данной Концепции уделяется внимание необходимости учета особенностей каждого региона, которыми являются:

- формирование регионального хозяйственного механизма;

- выполнение природоохранных мероприятий на территориях;
- осуществление мер по оздоровлению населения;
- развитие сельского хозяйства с помощью экологических технологий;
- модернизация промышленной системы.

Переход к устойчивому развитию предполагает предварительную оценку затрат, выгоды и рисков, а также определение показателей устойчивого развития и критерий принятых решений.

Показатели концепции разделены на 4 сферы, каждая из которых имеет показатели: качество жизни (продолжительность жизни человека (ожидаемая при рождении и фактическая), состояние здоровья; отклонение состояния окружающей среды от нормативов; уровень знаний или образовательных навыков; доход (измеряемый валовым внутренним продуктом на душу населения); уровень занятости; степень реализации прав человека), природоемкость хозяйства (уровень потребления природных ресурсов в результате хозяйственной деятельности (на единицу конечной продукции), уровень нарушенности экосистем в результате хозяйственной деятельности (на единицу конечной продукции), экономическая сфера (уровни удельного (на душу населения и единицу валового внутреннего продукта) потребления энергии и других ресурсов; производства отходов), окружающая среда (состояние окружающей среды; состояние экосистем; состояние охраняемых территорий; качество атмосферы, вод, территорий, находящихся в естественном и измененном состоянии; качество лесов с учетом их продуктивности и степени сохранности; количество биологических видов, находящихся под угрозой исчезновения).

Исходя из выше указанных данных, можно сделать вывод, что подобные показатели можно использовать для оценки как на федеральном, так и региональном, и муниципальном уровнях.

Переход к устойчивому развитию предполагает сохранение и расширение международного сотрудничества. С учетом площади территории РФ, роль страны значительна в сохранении экологии, биосферы и окружающей среды в целом.

Таким образом, у России есть главные приоритеты в международном сотрудничестве по переходу к устойчивому развитию и его обеспечению:

- организация международного партнерства в целях решения проблем перехода к устойчивому развитию;
- обеспечение экологических интересов страны во внешнеэкономической деятельности;

- инвестиционное экологическое стимулирование;

- активное участие в международных программах по разработке мер нормализации биосферы;

- создание эффективных механизмов экологического паритета при решении вопросов о трансграничном переносе вредных веществ.

Кроме данных приоритетов, которые должны быть в стране, существуют направления по защите окружающей среды, придерживаясь которых необходимо осуществлять международную деятельность, о чем свидетельствуют индикаторы устойчивого развития ООН.

Выводы

Стратегическое планирование на уровне региона является сложным трудоемким процессом. От выбора правильного метода прогнозирования стратегического планирования зависит целеполагание регионального развития. В научной литературе рассматриваются различные методы для разработки стратегий социально-экономического развития региона. С учетом вышеизложенного, считаем необходимым использование различных моделей для имитации ситуаций создания сценариев развития таких как: индексные модели, экспертные методы, однофакторная модель, многофакторная модель, трендовая модель, имитационные модели и др.

В целом, можно выделить следующие проблемы в документах нормативно-методического обеспечения стратегического планирования РФ:

- неоднородная структура нормативно-методических документов;

- отсутствие системности документов на всех уровнях;

- отсутствие постоянного мониторинга;

- недоработка методического обеспечения

к существующим документам;

- слабая организация контроля за исполнением планов, мониторинга, а также реализацией задач;

- проведение некорректного сравнительного анализа на различных уровнях и недостоверное определение лидеров и аутсайдеров;

- неорганизованность порядка определения и внесения поправок, исходя из особенностей развития территории.

Неоднородность структуры документов методического обеспечения существенно затрудняет восприятие и последующую апробацию документов на необходимых уровнях управления.

В свою очередь, отсутствие системности разработки документов и недоработка методического обеспечения затрудняет применение документов

стратегического планирования, а также взаимодействие субъектов стратегического планирования.

Организация контроля обеспечит оперативное предоставление информации компетентным органам для проведения анализа и определения эффективности проводимых мероприятий. Отсутствие надзора и мониторинга увеличивает уровень коррупционности, а также управленческих ошибок. Мониторинг позволит, посредством сбора информации, адекватно и оперативно реагировать на изменение ситуации. Таким образом, требуется проведение всех необходимых видов мониторинга, и, по результатам, – осуществление оценки уровня развития и планирования, посредством сравнительного анализа.

Кроме того, необходимо определить частоту и порядок внесения поправок в документы нормативно-методического обеспечения, что необходимо в условиях быстроизменяющихся процессов в экономике.

Таким образом, нормативно-методическое обеспечение документов стратегического планирования является важной составляющей эффективного развития городов, регионов и страны в целом. Именно от информативности, своевременности и системности составляемых документов зависит правильность стратегического планирования на всех уровнях управления.

Список литературы

1. Минцберг Г., Куинн Д., Гошал С. Стратегический процесс. Концепции, проблемы, решения. – СПб.: Питер, 2011. – 567 с.
2. Кузык Б.Н., Кушлин В.И., Яковец Ю.В. Прогнозирование, стратегическое планирование и национальное программирование. – М.: Экономика, 2011. – 604 с.
3. Львов Д.С. Экономика развития. – М.: Экзамен, 2002. – 512 с.
4. О стратегическом планировании в Российской Федерации: Федер. закон [от 28 июня 2014 г. №172-ФЗ]. URL: [http://base.garant.ru/70684666/\(08.04.2017\)](http://base.garant.ru/70684666/(08.04.2017)).
5. О Стратегии национальной безопасности Российской Федерации на период до 2020 года. Утв. Указом Президента РФ от 12.05.09 г. №537. URL: [http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_87685\(02.04.2017\)](http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_87685(02.04.2017)).
6. Концепция Стратегии пространственного развития Российской Федерации на период до 2030 года. Проект. – М.: Минэкономразвития РФ. 2016. – 111 с. URL: [http://карьеры-евразии.pf/uploadedFiles/files/Kontseptsiya_SPR.pdf\(10.04.2017\)](http://карьеры-евразии.pf/uploadedFiles/files/Kontseptsiya_SPR.pdf(10.04.2017)).
7. Правила разработки, корректировки, осуществления мониторинга и контроля реализации прогноза социально-экономического развития Российской Федерации на долгосрочный период. Утв. постановлением Правительства РФ от 11.11.2015 №1218. URL: [https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/71145076/#1000/\(02.04.17\)](https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/71145076/#1000/(02.04.17)).

8. Правила разработки, корректировки, осуществления мониторинга и контроля реализации прогноза социально-экономического развития Российской Федерации на среднесрочный период. Утв. постановлением Правительства РФ от 14.11.2015 г. №1234. URL: https://base.garant.ru/71249780/176977babf72beba34ea5b3bfc3cfd4f/#block_1000 (03.04.2017).
9. Методические рекомендации по разработке и корректировке стратегии социально-экономического развития субъекта Российской Федерации и плана мероприятий по ее реализации. Утв. приказом правительства Российской Федерации от 23.05.2017 №132. URL: <http://docs.cntd.ru/document/456054578> (03.04.2017).
10. Положение о содержании, составе, порядке разработки и корректировки стратегий социально-экономического развития макро-регионов. Утв. постановлением Правительства РФ от 08.08.2015 №822. URL: <http://docs.cntd.ru/document/420294426> (10.04.2017).
11. Методические рекомендации органам государственной власти субъектов Российской Федерации по долгосрочному бюджетному планированию. – 84 с. Минфин России, 03.12.2015 г. URL: https://www.minfin.ru/ru/document/?id_4=94598 (10.04.2017).
12. Методические рекомендации по составлению и исполнению бюджетов субъектов Российской Федерации и местных бюджетов на основе государственных (муниципальных) программ. Минфин России, письмо от 30.09.2014 г. №09-05-05/48843. URL: <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/70660866/> (10.04.2017).
13. Методические рекомендации по разработке, корректировке, мониторингу среднесрочного прогноза социально-экономического развития Российской Федерации. Утв. приказом Минэкономразвития России от 30.06.2016 г. №423. URL: <http://docs.cntd.ru/document/420383543> (05.04.2017).
14. Методические рекомендации по подготовке проектов схем территориального планирования субъектов Российской Федерации. Утв. приказом Министерства регионального развития Российской Федерации от 19.04.2013 г. №169. URL: <http://docs.cntd.ru/document/499017648> (07.04.2017).
15. Методические рекомендации по разработке и корректировке долгосрочного прогноза социально-экономического развития Российской Федерации. Утв. приказом Минэкономразвития России от 30.06.2016 г. № 417. URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_282735/ (07.04.2017).
16. Положение о содержании, составе, порядке разработки и утверждения стратегии пространственного развития Российской Федерации и подготавливаемых в ее составе предложений о совершенствовании системы расселения на территории Российской Федерации и приоритетных направлениях размещения производительных сил на территории Российской Федерации. Утв. постановлением Правительства РФ от 20.08.2015 г. N870. URL: <https://base.garant.ru/71170676/> (07.04.2017).
17. Правила осуществления мониторинга и контроля реализации стратегии пространственного развития Российской Федерации. Утв. постановлением Правительства РФ от 20.08.2015 г. N870. URL: <https://base.garant.ru/71170676/> (07.04.2017).
18. Методические рекомендации по разработке Стратегии социально-экономического развития муниципальных образований. – Томск. Администрация Томской области. – 24 с.
19. Методические рекомендации по подготовке стратегий развития отраслей экономики. Проект Минэкономразвития. URL: <http://economy.gov.ru/minec/about/structure/depSectorEconom/2017030706> (10.04.2017).
20. Методические рекомендации к разработке показателей прогнозов социально-экономического развития субъектов Российской Федерации. – М.: Минэкономразвития РФ, 2009. – 188 с.
21. Методические рекомендации по заполнению формы и к разработке показателей прогнозов социально-экономического развития субъектов Российской Федерации (форма 2П). – М.: Минэкономразвития РФ, 2013. – 428 с. URL: http://volgafin.volgograd.ru/upload/iblock/0ba/6_metod_rekomendatzii.pdf (10.04.2017).
22. Стратегия инновационного развития Российской Федерации на период до 2020 года. Утв. постановлением Правительства РФ от 08.12.2011 г. №2227-р. URL: <http://docs.cntd.ru/document/902317973> (02.04.2017).
23. Государственная автоматизированная информационная система «Управление». Документы стратегического планирования. URL: <http://gasu.gov.ru/stratdocuments> (04.04.2017).
24. База данных Федеральной службы государственной статистики. Показатели муниципальных образований. – Электр. рес.: офиц. сайт. URL: http://www.gks.ru/free_doc/new_site/bd_munst/munst.htm (10.04.2017).
25. Зенькова И.В. Прогнозирование и планирование экономики. – Новополюк: ПГУ, 2005. – 332 с.
26. Преобразование нашего мира: Повестка дня в области устойчивого развития на период до 2030 г. Резолюция, принятая Генеральной Ассамблеей 25.09.2015. – 44 с. URL: <https://undocs.org/ru/A/RES/70/1> (15.04.2017).

27. О бюджетном прогнозе Российской Федерации на долгосрочный период. Утв. постановлением Правительства РФ от 31.08.2015 г. №914. URL: <http://base.garant.ru/71179722/> (02.04.2017).
28. Муниципальные стратегии: десять лет спустя / под ред. Б.С. Жихаревича. – СПб.: Международный центр социально-экономических исследований «Леонтьевский центр», 2011. – 136 с.
29. Методические рекомендации по оптимизации стратегического планирования на муниципальном уровне. – М.: Институт экономики города, 2015. – 32 с.
30. Методические рекомендации по согласованной подготовке и реализации документов планирования развития муниципальных образований / Л.Ю. Падиля Сароса, Л.В. Перцов, В.Ю. Прокофьев, Э.К. Трутнев, К.В. Холопик, С.А. Крымов. – М.: Институт экономики города, 2010. – 112 с.
31. О гармонизации документов государственного стратегического планирования: препринт WP8/2015/01 / А.В. Клименко, В.А. Королев, Д.Ю. Двинских, И.Ю. Сластихина. – М.: Вс. шк. экономики, 2015. – 48 с.
32. Стратегическое планирование. Министерство экономического развития Российской Федерации. – Электр. рес.: офиц. сайт. URL: <http://economy.gov.ru/minec/main> (09.04.17).
33. Доклад о человеческом развитии в Российской Федерации за 2016 год. Цели устойчивого развития ООН и Россия / Под ред. С.Н. Бобылева и Л.М. Григорьева. – М.: Аналитический центр при Правительстве Российской Федерации. 2016. – 298 с. URL: <http://ac.gov.ru/files/publication/a/11068.pdf> (02.04.2017).
34. Kroll H., Muller E., Schnabl E., Zenker A. 2014. From smart concept to challenging practice – How European regions deal with the commission's request for novel innovation strategies. Working Paper Policy and Region № R2/2014. Karlsruhe: Fraunhofer ISI.
35. McCann P., Ortega-Argilés R. 2011. Smart specialisation, regional growth and applications to EU cohesion policy // Documents de Treball IEV. no14:1–32.
36. Цыгичко В.Н. Прогнозирование социально-экономических процессов. 2017. – 240 с.
37. Лебедева И.М., Федерова А.Ю. Макроэкономическое планирование и прогнозирование. – СПб: Университет ИТМО, 2016. – 54 с.
38. Селиверстов В.Е. Региональное стратегическое планирование: от методологии к практике. – Новосибирск: ИЭОПП СО РАН, 2013. – 436 с.
39. Guide to City Development Strategies Improving Urban Performances // The Cities Alliance 2006 1818 H Street NW Washington D.C. 20433 U.S.A.
40. ООН-Хабитат. Программа ООН по населенным пунктам. – Электр. рес.: офиц. сайт. URL: <http://www.un.org/ru/ga/habitat/> (09.04.2017).
41. Бобылев С.Б. Индикаторы устойчивого развития: региональное измерение // Пособие по региональной экологической политике. – М.: Акрополь, ЦЭПР, 2007. – 60 с.
42. Индикаторы социально-экономического развития муниципальных образований / Г.Ю. Ветров [и др.]. – 2-е изд., доп. – М.: Фонд «Институт экономики города», 2002. – 134 с.
43. Концепция перехода Российской Федерации к устойчивому развитию. Утв. Указом Президента РФ от 01.04.1996 г. №440. URL: <http://www.consultant.ru/cons/cgi/online.cgi?req=doc&base=EXP&n=233558#04945648507120698> (02.04.2017).

References (transliteration)

1. Mincborg G., Kuinn D., Goshal S. Strategicheskij process. Konceptii, problemy, reshenija [Strategy process. Concepts, problems, solutions]. St. Petersburg, Piter, 2011, 567 p. (in Russian).
2. Kuzyk B.N., Kushlin V.I., Jakovec J.V. Prognozirovanie, strategicheskoe planirovanie i nacional'noe programmirovaniye [Forecasting, strategic planning and national programming]. Moscow, Jekonomika, 2011, 604 p. (in Russian).
3. L'vov D.S. Jekonomika razvitija [Development economics]. Moscow, Jekzamen, 2002, 512 p. (in Russian).
4. O strategicheskome planirovanii v Rossijskoj Federacii: Feder. zakon [On strategic planning in the Russian Federation: Federal law] [ot 28 ijunja 2014 g. no.172-FZ]. Available at: <http://base.garant.ru/70684666/> (accessed April 8, 2017). (in Russian).
5. O Strategii nacional'noj bezopasnosti Rossijskoj Federacii na period do 2020 goda [On the national security Strategy of the Russian Federation until 2020]. Utv. Ukazom Prezidenta RF ot 12.05.09 g. no.537. Available at: https://base.garant.ru/71249780/176977babf72beba34ea5b3bfc3cfd4f/#block_1000 (accessed April 3, 2017). (in Russian).
6. Konceptija Strategii prostranstvennogo razvitija Rossijskoj Federacii na period do 2030 goda. Proekt [The concept of the Strategy of spatial development of the Russian Federation for the period up to 2030. Project]. Moscow, Minjekonomrazvitija RF. 2016, 111 p. Available at: http://kar'ery-evrazii.rf/uploadedFiles/files/Kontseptsiya_SPR.pdf (accessed April 10, 2017). (in Russian).

7. Pravila razrabotki, korrektyrovki, osushhestvleniya monitoringa i kontrolja realizacii prognoza social'no-jekonomicheskogo razvitija Rossijskoj Federacii na dolgosrochnyj period [Rules of development, adjustment, monitoring and control of implementation of the forecast of social and economic development of the Russian Federation for the long term]. Utv. postanovleniem Pravitel'stva RF ot 11.11.2015 no.1218. Available at: <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/71145076/#1000/> (accessed April 2, 2017). (in Russian).
8. Pravila razrabotki, korrektyrovki, osushhestvleniya monitoringa i kontrolja realizacii prognoza social'no-jekonomicheskogo razvitija Rossijskoj Federacii na srednesrochnyj period [Rules of development, adjustment, monitoring and control of implementation of the forecast of social and economic development of the Russian Federation for the medium term]. Utv. postanovleniem Pravitel'stva RF ot 14.11.2015 g. no.1234. Available at: https://base.garant.ru/71249780/176977babf72beba34ea5b3bfc3cfd4f/#block_1000 (accessed April 3, 2017). (in Russian).
9. Metodicheskie rekomendacii po razrabotke i korrektyrovke strategii social'no-jekonomicheskogo razvitija sub'ekta Rossijskoj Federacii i plana meroprijatij po ee realizacii [Methodical recommendations on development and adjustment of strategy of social and economic development of the subject of the Russian Federation and the plan of actions for its implementation]. Utv. prikazom pravitel'stva Rossijskoj Federacii ot 23.05.2017 no.132. Available at: <http://docs.cntd.ru/document/56054578> (accessed April 3, 2017). (in Russian).
10. Polozhenie o sodержanii, sostave, porjadke razrabotki i korrektyrovki strategij social'no-jekonomicheskogo razvitija makroregionov [Regulations on the content, composition, procedure for the development and adjustment of strategies for socio-economic development of macroregions]. Utv. postanovleniem Pravitel'stva RF ot 08.08.2015 no.822. Available at: <http://docs.cntd.ru/document/420294426> (accessed April 10, 2017). (in Russian).
11. Metodicheskie rekomendacii organam gosudarstvennoj vlasti sub'ektov Rossijskoj Federacii po dolgosrochnomu bjudzhetnomu planirovaniju [Methodical recommendations to public authorities of subjects of the Russian Federation on long-term budget planning], 84 p. Minfin Rossii, 03.12.2015 g. Available at: https://www.minfin.ru/ru/document/?id_4=94598 (accessed April 10, 2017). (in Russian).
12. Metodicheskie rekomendacii po sostavleniju i ispolneniju bjudzhetov sub'ektov Rossijskoj Federacii i mestnyh bjudzhetov na osnove gosudarstvennyh (municipal'nyh) program [Methodical recommendations on drawing up and execution of budgets of subjects of the Russian Federation and local budgets on the basis of the state (municipal) programs]. Minfin Rossi, pis'mo ot 30.09.2014 g. no.09-05-05/48843. Available at: <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/70660866/> (accessed April 10, 2017). (in Russian).
13. Metodicheskie rekomendacii po razrabotke, korrektyrovke, monitoringu srednesrochnogo prognoza social'no-jekonomicheskogo razvitija Rossijskoj Federacii [Methodical recommendations on development, adjustment, monitoring of the medium-term forecast of social and economic development of the Russian Federation]. Utv. prikazom Minjekonomrazvitija Rossii ot 30.06.2016 g. no.423. Available at: <http://docs.cntd.ru/document/420383543> (accessed April 5, 2017). (in Russian).
14. Metodicheskie rekomendacii po podgotovke proektov shem territorial'nogo planirovanija sub'ektov Rossijskoj Federacii [Methodical recommendations on preparation of drafts of schemes of territorial planning of subjects of the Russian Federation]. Utv. prikazom Ministerstva regional'nogo razvitija Rossijskoj Federacii ot 19.04.2013 g. no.169. Available at: <http://docs.cntd.ru/document/499017648> (accessed April 7, 2017). (in Russian).
15. Metodicheskie rekomendacii po razrabotke i korrektyrovke dolgosrochnogo prognoza social'no-jekonomicheskogo razvitija Rossijskoj Federacii [Methodical recommendations on development and adjustment of the long-term forecast of social and economic development of the Russian Federation]. Utv. prikazom Minjekonomrazvitija Rossii ot 30.06.2016 g. no.417. Available at: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_282735/ (accessed April 7, 2017). (in Russian).
16. Polozhenie o sodержanii, sostave, porjadke razrabotki i utverzhdenija strategii prostranstvennogo razvitija Rossijskoj Federacii i podgotavlivaemyh v ee sostave predlozhenij o sovershenstvovanii sistemy rasselenija na territorii Rossijskoj Federacii i prioritnyh napravlenijah razmeshhenija proizvoditel'nyh sil na territorii Rossijskoj Federacii [Regulations on the contents, structure, the order of development and the approval of strategy of spatial development of the Russian Federation and the offers prepared in its structure on improvement of system of resettlement in the territory of the Russian Federation and the priority directions of placement of productive forces in the territory of the Russian Federation]. Utv. Postanovleniem Pravitel'stva RF ot 20.08.2015 g. no.870. Available at: <https://base.garant.ru/71170676/> (accessed April 7, 2017). (in Russian).

17. Pravila osushhestvlenija monitoringa i kontrolja realizacii strategii prostranstvennogo razvitija Rossijskoj Federacii [Rules of implementation of monitoring and control of implementation of strategy of spatial development of the Russian Federation]. Utv. postanovleniem Pravitel'stva RF ot 20.08.2015 g. no.870. Available at: <https://base.garant.ru/71170676/> (accessed April 7, 2017). (in Russian).
18. Metodicheskie rekomendacii po razrabotke Strategii social'no-jekonomicheskogo razvitija municipal'nyh obrazovanij [Methodological recommendations for the development of the Strategy of socio-economic development of municipalities]. Tomsk, Administracija Tomskoj oblasti, 24 p. (in Russian).
19. Metodicheskie rekomendacii po podgotovke strategij razvitija otraslej jekonomiki. Proekt [Guidelines for the preparation of strategies for the development of economic sectors. Ministry Of Economic Development Project] Minjekonomrazvitija. Available at: <http://economy.gov.ru/minec/about/structure/depSectorEconom/2017030706>. (accessed April 10, 2017). (in Russian).
20. Metodicheskie rekomendacii k razrabotke pokazatelej prognozov social'no-jekonomicheskogo razvitija sub'ektov Rossijskoj Federacii [Methodological recommendations for the development of indicators of socio-economic development of the Russian Federation]. Moscow, Minjekonomrazvitija RF, 2009, 188 p. (in Russian).
21. Metodicheskie rekomendacii po zapolneniju formy i k razrabotke pokazatelej prognozov social'no-jekonomicheskogo razvitija sub'ektov Rossijskoj Federacii (forma 2P) [Methodical recommendations on filling of the form and to development of indicators of forecasts of social and economic development of subjects of the Russian Federation (form 2P)]. Moscow, Minjekonomrazvitija RF. 2013, 428 p. Available at: http://volgafin.volgograd.ru/upload/iblock/0ba/6_metod_rekomendaczii.pdf (accessed April 10, 2017). (in Russian).
22. Strategija innovacionnogo razvitija Rossijskoj Federacii na period do 2020 goda [Strategy of innovative development of the Russian Federation for the period up to 2020]. Utv. postanovleniem Pravitel'stva RF ot 08.12.2011 g. №2227-r. Available at: <http://docs.cntd.ru/document/902317973> (accessed April 2, 2017). (in Russian).
23. Gosudarstvennaja avtomatizirovannaja informacionnaja sistema "Upravlenie". Dokumenty strategicheskogo planirovanija [State automated information system "Management". Strategic planning documents]. Available at: <http://gasu.gov.ru/stratdocuments> (accessed April 4, 2017). (in Russian).
24. Baza dannyh Federal'noj sluzhby gosudarstvennoj statistiki. Pokazateli municipal'nyh obrazovanij [State automated information system "Management". Strategic planning documents]. Available at: http://www.gks.ru/free_doc/new_site/bd_munst/munst.htm (accessed April 10, 2017). (in Russian).
25. Zen'kova I.V. Prognozirovanie i planirovanie jekonomiki [Database of the Federal state statistics service. Indicators of municipalities]. Novopolock, PGU, 2005, 332 p. (in Russian).
26. Preobrazovanie nashego mira: Povestka dnja v oblasti ustojchivogo razvitija na period do 2030 g. [The transformation of our world: an Agenda for sustainable development for the period till 2030]. Rezoljucija, prinjataja General'noj Assambleej 25.09.2015, 44 p. Available at: <https://undocs.org/ru/A/RES/70/1> (accessed April 15, 2017). (in Russian).
27. O bjudzhetnom prognoze Rossijskoj Federacii na dolgosrochnyj period [On the budget forecast of the Russian Federation for the long term]. Utv. postanovleniem Pravitel'stva RF ot 31.08.2015 g. no.914. Available at: <http://base.garant.ru/71179722/> (accessed April 2, 2017). (in Russian).
28. Municipal'nye strategii: desjat' let spustja [Municipal strategies: ten years later] / pod red. B.S. Zhiharevicha. St. Petersburg, Mezhdunarodnyj centr social'no-jekonomi-cheskih issledovanij "Leont'evskij centr", 2011, 136 p. (in Russian).
29. Metodicheskie rekomendacii po optimizacii strategicheskogo planirovanija na municipal'nom urovne [Methodical recommendations on optimization of strategic planning at the municipal level]. Moscow, Institut jekonomiki goroda, 2015, 32 p. (in Russian).
30. Metodicheskie rekomendacii po soglasovannoj podgotovke i realizacii dokumentov planirovanija razvitija municipal'nyh obrazovanij [Guidelines for the coordinated preparation and implementation of planning documents for the development of municipalities] / L.J. Padil'ja Sarosa, L.V. Percov, V.J. Prokofev, J.K. Trutnev, K.V. Holopik, S.A. Krymov. Moscow, Institut jekonomiki goroda, 2010, 112 p. (in Russian).
31. O garmonizacii dokumentov gosudarstvennogo strategicheskogo planirovanija: preprint WP8/2015/01 [On harmonization of state strategic planning documents: Preprint WP8/2015/01] / A.V. Klimenko, V.A. Korolev, D.J. Dvinskih, I.J. Slastihina. Moscow, Vs. shk. jekonomiki, 2015, 48 p. (in Russian).
32. Strategicheskoe planirovanie. Ministerstvo jekonomicheskogo razvitija Rossijskoj Federacii [Strategic planning. Ministry of economic development of the Russian Federation]. Available at: <http://economy.gov.ru/minec/main> (accessed April 9, 2017). (in Russian).

33. Doklad o chelovecheskom razvitii v Rossijskoj Federacii za 2016 god. Celi ustojchivogo razvitija OON i Rossija [Report on human development in the Russian Federation for 2016. Sustainable development goals of the UN and Russia] / Pod red. S.N. Bobyleva i L.M. Grigor'eva. Moscow, Analiticheskij centr pri Pravitel'stve Rossijskoj Federacii. 2016, 298 p. Available at: <http://ac.gov.ru/files/publication/a/11068.pdf> (accessed April 2, 2017). (in Russian).
34. Kroll H., Muller E., Schnabl E., Zenker A. 2014. From smart concept to challenging practice – How European regions deal with the commission's request for novel innovation strategies. Working Paper Policy and Region no.R2/2014. Karlsruhe: Fraunhofer ISI.
35. McCann P., Ortega-Argilés R. 2011. Smart specialisation, regional growth and applications to EU cohesion policy // Documents de Treball IEB. no14: 1–32.
36. Cygichko V.N. Prognozirovanie social'no-jekonomicheskikh processov [Forecasting of social and economic processes]. 2017, 240 p. (in Russian).
37. Lebedeva I.M., Federova A.J. Makroekonomicheskoe planirovanie i prognozirovanie [Macroeconomic planning and forecasting]. St. Petersburg, Universitet ITMO, 2016, 54 p. (in Russian).
38. Seliverstov V.E. Regional'noe strategicheskoe planirovanie: ot metodologii k praktike [Regional strategic planning: from methodology to practice]. Novosibirsk, IJOPP SO RAN, 2013, 436 p. (in Russian).
39. Guide to City Development Strategies Improving Urban Performances // The Cities Alliance 2006 1818 H Street NW Washington D.C. 20433 U.S.A.
40. OON-Habitat. Programma OON po naselennym punktam [The United Nations Human Settlements Programme, UN-HABITAT]. Available at: <http://www.un.org/ru/ga/habitat/> (accessed April 9, 2017).
41. Bobylev S.B. Indikatory ustojchivogo razvitija: regional'noe izmerenie [Indicators of sustainable development: the regional dimension]. Posobie po regional'noj jekologicheskoy politike. Moscow, Akropol', CJPR, 2007, 60 p. (in Russian).
42. Indikatory social'no-jekonomicheskogo razvitija municipal'nyh obrazovanij [Indicators of socio-economic development of municipalities] / G.J. Vetrov [i dr.]. Issue 2, dop. Moscow, Fond "Institut jekonomiki goroda", 2002, 134 p. (in Russian).
43. Koncepcija perehoda Rossijskoj Federacii k ustojchivomu razvitiju [The concept of transition of the Russian Federation to sustainable development]. Utv. Ukazom Prezidenta RF ot 01.04.1996 g. no.440. Available at: <http://www.consultant.ru/cons/cgi/online.cgi?req=doc&base=EXP&n=233558#04945648507120698> (accessed April 2, 2017). (in Russian).

Михайлова А.О. «Про законодавче та нормативно-методичне забезпечення стратегічного планування в Російській Федерації». Нормативно-методичне забезпечення стратегічного планування створює умови для ефективного процесу підготовки, прийняття та реалізації управлінських рішень на державному, регіональному, муніципальному та галузевому рівнях. Будучи організаційно-методичними та нормативно-довідковими матеріалами, ці документи використовуються при постановці та вирішенні задач, які стосуються оцінки і планування різних аспектів розвитку – технологічного, соціально-економічного, екологічного, територіального тощо. У статті акцент робиться на те, що для забезпечення системності управління необхідним і важливим є ідентичність структури розробки і повна взаємодоповнюваність основних документів стратегічного планування, які передбачені Федеральним законом від 28 червня 2014 р №172-ФЗ «Про стратегічне планування в Російській Федерації». В роботі виконано аналіз основних 15 нормативно-методичних актів Російської Федерації федерального, регіонального, муніципального та галузевого рівнів в області стратегічного планування. Відповідний аналіз показав, що основною проблемою в цій галузі є недоробка методичного забезпечення, яке в обов'язковому порядку має додаватися до існуючих нормативних документів, а також давати можливість розробляти якісні середньострокові та довгострокові прогнози. Виявлено, що неповнота, недостатність опрацювання та неоднорідність змісту документів стратегічного планування ускладнює їхнє впровадження на всіх рівнях управління. Слід також зазначити, що не для всіх наведених у зазначених документах показників встановлено критерії оцінки та ефективності, які дозволяють виробити управлінські рішення щодо досліджуваного об'єкта та визначити пріоритети його розвитку. Це, в свою чергу, ускладнює використання даних показників і зумовлює нестабільність планування розвитку міст, регіонів і країни в цілому. Встановлено, що основна причина масової відсутності документів стратегічного планування на місцях пов'язана з тим, що розробка стратегій, наказів, планів і програм на тлі відсутності прийнятного методичного забезпечення за комплексною оцінкою та прогнозуванням соціально-економічних об'єктів залишається вкрай складною науковою та експертною роботою. У процесі дослідження виявлено документи стратегічного планування на федеральному та регіональному рівнях, які не мають методичного забезпечення, в зв'язку з чим при їхньому використанні можливі прояви недоробок і юридичних колізій. Відзначається, що в окремих документах не

сформульовано задачі, в деяких не представлено механізми реалізації, в інших не вказано досяжні показники / індикатори. Серед основних проблем також виявлена відсутність системності та постійного моніторингу виконання прийнятих документів на всіх рівнях, неналежна організація контролю над виконанням планів і заходів, а також реалізації задач, неорганізованість порядку визначення та внесення поправок, виходячи з особливостей розвитку території. В роботі представлені найбільш важливі показники, що мають рекомендовані значення та дозволяють всебічно оцінити рівень розвитку. Зроблено висновок, що спільне використання індикаторів стійкого розвитку Росії і ООН дозволить в сукупності проаналізувати економічну та соціальну складову, а також об'єктивно оцінити рівень розвитку міст, регіонів і країни в цілому.

Ключові слова: стратегічне планування, законодавство, нормативно-методичне забезпечення, регіональний та муніципальний розвиток.

Mihailova A.A. "About legislative and normative and methodical ensuring strategic planning in the Russian Federation". Normative and methodological support of strategic planning creates conditions for the effective process of preparation, adoption and implementation of management decisions at the state, regional, municipal and sectoral levels. As organizational and methodological and regulatory references, the documents are used in the formulation and solution of tasks related to the assessment and planning of various aspects of development – technological, socio-economic, environmental, territorial and etc. The article focuses on the fact that the identity of the development structure and the full complementarity of the main strategic planning documents are necessary and important for ensuring systematic management, which are provided by the Federal law of June 28, 2014 No.172-FZ "On strategic planning in the Russian Federation". The paper analyzes the main 15 normative-methodical acts of the Russian Federation of the federal, regional, municipal and sectoral levels in the field of strategic planning. The relevant analysis showed that the main problem in this area is the lack of methodological support, which must necessarily be attached to existing regulations, as well as to enable the development of high-quality medium-and long-term forecasts. It is revealed that incompleteness, insufficiency of elaboration and heterogeneity of the content of strategic planning documents complicates their implementation at all levels of management. It should also be noted that not all of the indicators mentioned in the mentioned documents have evaluation and efficiency criteria that allow to develop management decisions regarding the object under study and to determine priorities for its development. This, in turn, makes it difficult to use these indicators and predetermines the instability of planning for the development of cities, regions and the country as a whole. It is established that the main reason for the mass absence of strategic planning documents in the field is due to the fact that the development of strategies, orders, plans and programs in the absence of an acceptable methodological support for the integrated assessment and forecasting of socio-economic objects remains extremely difficult scientific and expert work. In the course of the study, the documents of strategic planning at the Federal and regional levels that do not have methodological support were identified, and therefore, when they are used, there may be manifestations of defects and legal conflicts. It is noted that some documents do not formulate objectives, some do not provide implementation mechanisms, others do not specify achievable indicators/indicators. Among the main problems in the documents, the lack of systematic and continuous monitoring of their implementation at all levels, inadequate organization of control over the implementation of plans and activities, as well as the implementation of tasks, the lack of organization of the procedure for determining and amending, based on the characteristics of the development of territories. The paper presents the most important indicators that have recommended values and allow a comprehensive assessment of the level of development. It is concluded that the joint use of indicators of sustainable development of Russia and the UN will allow to analyze the economic and social component, as well as to objectively assess the level of development of cities, regions and the country as a whole.

Keywords: strategic planning, legislation, standard and methodological support, regional and municipal development.

Статья поступила в редакцию 16.04.2017
Рекомендована к публикации канд. техн. наук А.В. Звягинцевой

Работа трассировщика пути в движках визуализации трёхмерной графики

Зенкевич Д.А.

Белгородский государственный университет
zenkevichif@bk.ru

Зенкевич Д.А. «Работа трассировщика пути в движках визуализации трёхмерной графики». Изучены принципы и особенности работы трассировщика пути в движках визуализации трёхмерной графики и представлены основные составляющие данного процесса. Рассмотрены такие инструменты технологии трёхмерной визуализации как функции распределения двунаправленного рассеивания поверхности отражения: BSSRDF, BRDF и BTDF. Продемонстрировано моделирование движения луча при использовании данных функций. Описаны средства, определяющие внешний вид объекта и рассмотрено понятие шейдера и как шейдера взаимодействуют с источниками света. Даны рекомендации по управлению объемом лучей света в условиях возникновения шума в конечном изображении. Так как движок визуализации работает с учётом физических свойств объекта, то возможно добиться реалистичных результатов и сбалансированного освещения. Даны рекомендации по сохранению энергии объектов визуализации в процессе работы. Описан процесс трассировки лучей для создания корректных изображений на основе трёхмерных сцен и сделаны выводы по работе.

Ключевые слова: трёхмерная графика, рендер, движок визуализации, шейдер.

Введение

Движок визуализации трёхмерной графики или движок рендеринга выступает в качестве дополнения для программ разработки трёхмерной графики. Данные движки предназначены для создания изображения на основе трёхмерной сцены с использованием метода трассировки лучей и позволяют обеспечить интерактивность и простоту использования. Для материалов используется система узлов, с помощью которой можно создавать фотореалистичные материалы любой сложности. Большими преимуществами движка являются возможность быстрого просмотра результата непосредственно в окне 3D-вида, а также рендеринг с помощью графической карты (GPU) или процессора (CPU).

Движок рендеринга имеет в своем распоряжении 77 узлов для создания материалов. Узлы имеют множество функций и позволяют создавать самые разнообразные материалы.

В компьютерной графике все, что определяет внешний вид поверхности или объема, называется шейдером. В свою очередь, материалом называют всю группу узлов, которая составляет отдельный материал.

Терминология технологии визуализации

Лучи отражения и преломления не разделяются на различные функции, а вычисляются

с помощью одной функции BSDF. В целом это создает небольшие ограничения по настройке материалов, но зато делает этот процесс гораздо более простым, за счет значительно меньшего количества используемых параметров.

- BSDF (bidirectional scattering distribution function) – функция распределения двунаправленного рассеивания. Является наиболее общей функцией. Содержит в себе функции BRDF и BTDF (рис. 1).

- BSSRDF (bidirectional scattering-surface reflectance distribution function) – функция распределения двунаправленного рассеивания поверхности отражения. BSSRDF описывает, как свет перемещается между любыми двумя лучами, которые попали на поверхность (рис. 1). В случае с Cycles на данный момент функция используется лишь в шейдере Subsurface Scattering.

- BRDF (bidirectional reflectance distribution function) – функция распределения двунаправленного отражения. Представляет собой упрощенную BSSRDF, при условии, что свет отражается от поверхности в точке падения.

- BTDF (bidirectional transmittance distribution function) – функция распределения двунаправленного пропускания. Работает также, как и BRDF с той лишь разницей, что луч выходит с противоположной стороны поверхности.

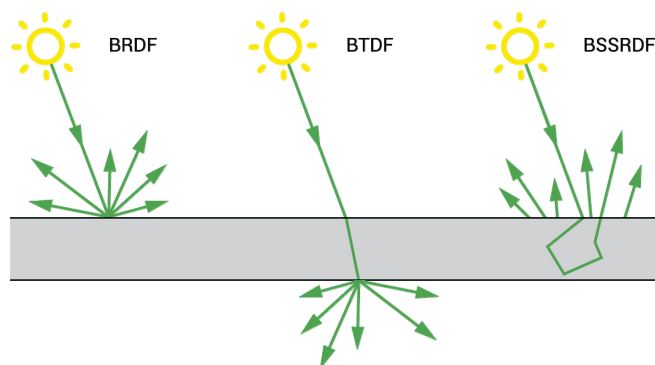


Рисунок 1. – Движение луча при использовании функций визуализации

Средства, определяющие внешний вид объекта

Шейдеры определяют то, как будет взаимодействовать свет с мешем. Один или несколько шейдеров могут управлять движением луча, например, отразиться от поверхности, пройти сквозь нее или поглотиться ею. Исключением является шейдер Emission, который управляет тем, как свет излучается из меша.

Материалы определяют внешний вид мешей. С их помощью можно влиять на внешний вид поверхности (surface), на внутренний объем поверхности (volume) и на смещение поверхности (displacement).

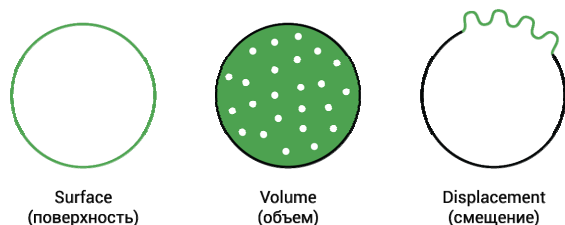


Рисунок 2. – Части воздействия света

Средство Surface

Поверхностные шейдеры определяют взаимодействие света с объектом на его поверхности. С их помощью моделируется дальнейшее направление луча: поглощение, отражение, преломление.

Средство Volume

Если луч не отразился и не поглотился на поверхности объекта, он попадает внутрь меша и проходит к обратной его стороне. В случае наличия шейдера объема будет описано взаимодействие света с объемом. Свет может рассеиваться, поглощаться или излучаться в любой точке объема. Поверхностные шейдеры и шейдеры объема могут быть объединены в одном материале. Это может быть полезно для таких материалов, как стекло, вода или лед, так

как в этом случае необходимо контролировать поведение луча как на поверхности этих объектов, так и внутри них.

Средство Displacement

Сама форма объектов может быть изменена с помощью материалов. Таким образом, текстуры могут быть использованы для того, чтобы сделать поверхность меша более детализированной. В зависимости от настроек, смещение может быть виртуальным (bump), при котором поверхность остается неизменной, а изменяется лишь направление нормалей, чтобы создать впечатление смещения. Также смещение может быть реальным (как при использовании модификатора displacement), или комбинированным: bump + displacement.

Контроль количества отражений луча

Максимальное количество отражений луча света можно контролировать. В идеале их должно быть много, но на практике мы не можем дожидаться рендеринга сцены бесконечно, поэтому приходится добиваться приемлемых результатов с ограниченным числом отражений луча. При этом можно регулировать индивидуально количество отражений для различных типов лучей: diffuse, glossy и transmission.

При установке минимального количества отражений луча ниже максимального значения, включается вероятностное прекращение трассировки луча. В таком случае луч прекратит свое существование в процессе моделирования при превышении минимального количества отражений с определенной вероятностью, что даст более быстрый и в то же время более шумный рендер.

Основными источниками шума в сцене являются отражающая и преломляющая каустики. Их можно отключить по желанию, однако этим будет нанесен определенный ущерб реалистичности изображения.

Сохранение энергии

Движок визуализации создан с учетом физических свойств объектов (к сожалению, не всех). Благодаря этому, значительно проще добиваться реалистичных результатов и сбалансированного освещения. Но есть несколько моментов, которые необходимо учитывать. Для того, чтобы материал выглядел реалистично с использованием глобального освещения, он должен следовать правилу сохранения энергии. Это правило гласит, что объект не может отразить больше света, чем на него попало.

В рендеринге это правило не является строгим и его можно нарушать. При смешивании шейдеров с помощью шейдера Mix, выходные значения всегда будут в диапазоне от 0 до 1, что соответствует данному правилу. При использовании шейдера Add можно создать больше отраженного света, чем количество света, которое первоначально попало на объект. Таким образом, вместо глянцевой поверхности, можно получить излучающую поверхность, что будет абсолютно некорректно, с точки зрения физики. Шейдер Add используется для создания полупрозрачных материалов, волос, специфических объемов и многих других объектов.

Работа трассировщика пути

Для каждого пикселя изображения создается свой луч. Все лучи исходят из камеры и до столкновения с чем-либо являются лучами камеры (*camera ray*). Если луч попадет на источник света (*emission*) или шейдер (*holdout*), то он будет удален из сцены, а пиксель получит цвет источника света или станет прозрачным, в случае с *holdout*. Во всех остальных случаях поведение луча зависит от типа шейдера, назначенного поверхностям, на который падает луч. Самым простым примером будет идеальное зеркало (*sharp glossy*). В данном случае луч будет отражаться согласно простейшему правилу, то есть под тем же углом, под которым и попал на поверхность. После этого луч уже продолжит свой путь как глянцевый луч (*glossy ray*). Допустим, далее он поступает на диффузную поверхность (*diffuse*). От данной поверхности луч отразится в случайном направлении. Если к этому моменту времени луч не достигнет максимального количества отражений для него, то в конечном счете он попадет на источник света. На этом путь луча будет прекращен и пиксель получит цвет в зависимости от того, какой путь преодолел луч. Данный процесс повторяется такое количество раз, сколько сэмплов будет установлено на вкладке рендера. В конце принимается среднее значение всех полученных цветов пикселя.

На рисунке 3 показан простой пример. Луч, вышедший из камеры, попадает на глянцевую поверхность и отражается на источник света. Путь луча после отскока окрашен в красный цвет и называется Glossy 0. Это означает, что луч поменял свой тип, с луча камеры (*camera ray*) на луч отражения (*reflection*). Ноль означает количество отражений, проделанных лучом (Cycles начинает считать с 0). После отражения от поверхности, луч изменяет свой тип, в зависимости от типа поверхности, на которую он попал. В данном случае для поверхности назначен шейдер Glossy. Но разные лучи, вышедшие из камеры, могут отражаться в различных направлениях и попасть на пол, который на рисунке 4 имеет диффузную поверхность. В таком случае луч, отразившийся от пола, станет диффузным лучом (*diffuse ray*).

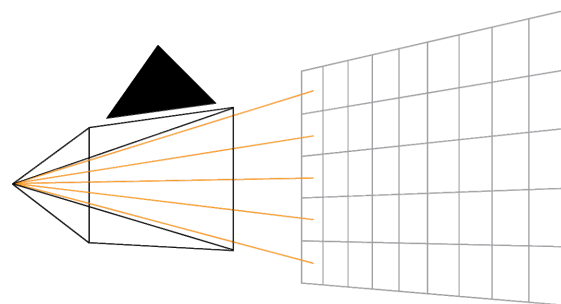


Рисунок 3. – Установка сэмплов пиксельного изображения

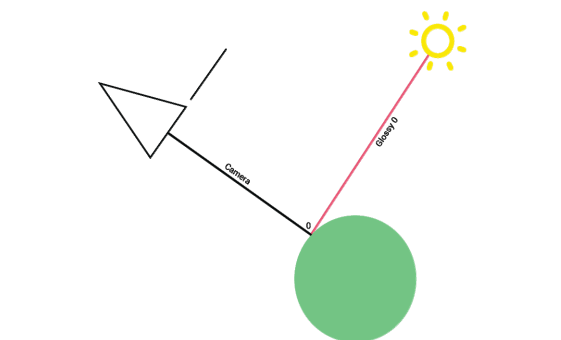


Рисунок 4. – Пример луча, вышедшего из камеры

Попадая на стеклянную поверхность, луч может дальше двигаться по разным путям.

Отразиться от поверхности либо пройти сквозь нее, луч может на основе фактора Френеля. Первый пример был изучен ранее (отражение луча от поверхности). Рассмотрим путь луча сквозь объект. Попав внутрь и выйдя из объекта, луч будет иметь тип Transmission до тех пор, пока не попадет на пол. Так как пол имеет диффузный шейдер, луч соответственно станет диффузным, и продолжит отражаться от поверхности до попадания на источник света.

Весь путь данного луча состоит из 3-х отражений, но он имеет лишь одно отражение *transmission* и одно *diffuse*. Если бы установить максимальное количество отражений менее 3-х, то луч прекратил бы свое существование при попадании на стену, и не дошел бы до источника света.

Каждый луч, вышедший из камеры, возвращает значение интенсивности своего пикселя. Этот результат называют сэмплом (sample). Чтобы определить окончательный цвет пикселя, берется среднее значение всех сэмплов, полученных для него.

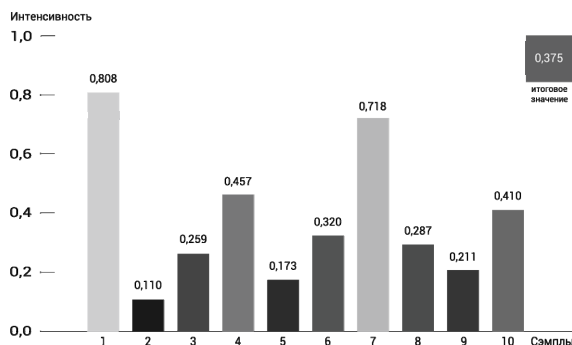


Рисунок 6. – Хранящиеся значения интенсивности

На приведенных выше рисунках может показаться, что путь луча хорошо определен, но они иллюстрируют лишь один из множества возможных путей движения луча. Помимо случайного выбора шейдера поверхности при попадании на нее, движок также случайным образом выбирает направление луча. Практически все шейдеры имеют компонент, который указывает возможные направления пути луча при попадании на поверхность. Исходя из этой информации, движок случайным образом выбирает направление луча в соответствии с заданным диапазоном. В этом диапазоне различные углы отражений имеют различные вероятности. Так, например, при попадании на диффузную поверхность, вероятности всех углов одинаковы, в то время как для глянцевого шейдера вероятность отразиться под углом падения значительно выше, чем под любым другим.

Выводы

Подведем итоги данной статьи. Процесс, показанный выше, является упрощенной версией того, что движок может делать в реальности. На самом деле во время каждого отражения создается еще один новый луч. Особенность состоит в том, что с помощью алгоритма программы заранее учитывается местоположение источников света. Поэтому при попадании на поверхность, в первую очередь

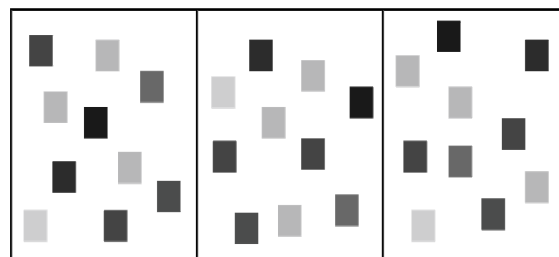


Рисунок 5. – Три пикселя с хранящимися значениями интенсивности

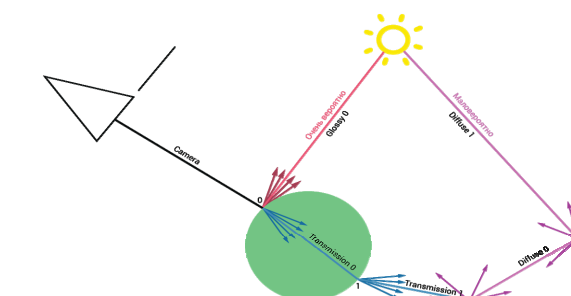


Рисунок 7. – Возможные варианты направления луча после каждого отражения

создается луч по направлению к случайному источнику света. Этот процесс называется *Light Sampling*, а лучи – *Shadow rays*. Теневые лучи (*shadow rays*) либо находят путь к источнику света, либо блокируются другими объектами. В первом случае количество света от этого источника сохраняется. Затем движок случайным образом выбирает шейдер поверхности, на которую попал луч. Этот процесс называется «оценка шейдеров». Следующим шагом движок определяет в каком направлении луч будет двигаться дальше. При этом случайным образом выбирается одно из возможных направлений для данного шейдера. Данный процесс называется «выборка шейдеров». Луч продолжит свой путь в новом направлении.

Разница между «оценкой шейдеров» и «выборкой шейдеров» существенна. Выборка используется для выбора нового направления луча, в зависимости от типа шейдера. Оценка же означает, что выбирается определенное направление и шейдер оценивает, насколько вероятно то, что луч отразится в этом направлении.

Таким образом, луч может разделяться на 4 категории:

Camera – луч, вышедший из камеры;

Reflection – луч, сгенерированный в результате отражения от поверхности;

Transmission – луч, сгенерированный в результате прохождения сквозь поверхность;

Shadow – луч, используемый для создания теней.

В свою очередь, лучи Reflection и Transmission могут иметь следующие свойства:

Diffuse – луч, сгенерированный в результате диффузного отражения или прохождения сквозь полупрозрачный объект;

Glossy – луч, сгенерированный в результате зеркального отражения или прохождения сквозь полупрозрачный объект;

Singular – луч, сгенерированный в результате отражения от идеального зеркала (*sharp glossy*) или прохождения сквозь полупрозрачный объект.

Список литературы

1. Алямовский А.А. SolidWorks 2007/2008. Компьютерное моделирование в инженерной практике / А.А. Алямовский, А.А. Собачкин, Е.В. Одинцов, А.И. Харитонович, Н.Б. Пonomarev. – СПб: БХВ-Петербург, 2008. – 1040 с.
2. Архипов Г.И. Теория кратных тригонометрических сумм / Карацуба А.А., Чубариков В.Н. – М.: Наука, 1987. – 368 с.
3. Аверин Г.В. Системодинамика: наука о закономерностях процессов изменения и развития систем во времени. – Palmarium Academic Publishing, 2014. – 488 с.
4. Кельтон В.Д., Лоу А.М. Имитационное моделирование. Классика CS. 3-е изд., – СПб: Питер: Киев: BHV, 2004. – 847 с.
5. Прахов А.А. Blender. 3D-моделирование и анимация. Руководство для начинающих. – СПб.: БХВ-Петербург, 2009. – 272 с.
6. Falk G. Die Rolle der Axiomatik in der Physik, erläutert am Beispiel der Thermodynamik // Die naturwissenschaften, 46, 1959, no. 16: 480–486.
7. Лазарев А.И. Информация и безопасность. Композиционная технология информационного моделирования сложных объектов принятия решений. – М.: Московский городской центр научно-технической информации, 1997. – 336 с.
8. Чехлов Д.А. Визуализация в Autodesk Maya. Mental ray renderer. – М.: ДМК Пресс, 2016. – 696 с.
9. Hokr B.H. Modeling focusing Gaussian beams in a turbid medium with Monte Carlo simulations / B.H. Hokr, J.N. Bixler, G. Elpers, V. Zollars, R.J. Thomas, V.V. Yakovlev, M.O. Scully // Optics Express. 2015. Vol. 23(7): 8699–8705.
10. Кравченко С.В. Расчёт осесимметричных оптических элементов с двумя асферическими поверхностями для формирования заданных распределений освещённости / С.В. Кравченко, М.А. Моисеев, Л.Л. Досколович, Н.Л. Казанский // Компьютерная оптика. 2011. Т. 35, №4. – С. 467–472.
11. Havran V. Heuristic ray shooting algorithms // Faculty of Electrical Engineering, Czech Technical University. 2000, 206 p.

12. Wald I. On building fast kd-trees for ray tracing, and on doing that in $O(N \log N)$ / I. Wald, V. Havran // Interactive Ray Tracing. 2006: 61–69.
13. Rineau L. A generic software design for Delaunay refinement meshing / L. Rineau, M. Yvinec // Computational Geometry. 2007. Vol. 38(1): 100–110.
14. Hokr B.H., Bixler J.N., Elpers G., Zollars B., Thomas R.J., Yakovlev V.V., Scully M.O. Modeling focusing Gaussian beams in a turbid medium with Monte Carlo simulations. Optics Express 2015; Vol. 23, Issue 7: 8699–8705.
15. Gunther J., Popov S., Seidel H.P., Slusallek P. Realtime Ray Tracing on GPU with BVH-based Packet Traversal. Proceedings of the IEEE Symposium on Interactive Ray Tracing 2007, 10–12 September, Germany; 1: 113–118.

References (transliteration)

1. Aljamovskij A.A. SolidWorks 2007/2008. Komp'yuternoe modelirovanie v inzhenernoj praktike [Computer modeling in engineering practice] / A.A. Aljamovskij, A.A. Sobachkin, E.V. Odincov, A.I. Haritonovich, N.B. Ponomarev. St. Petersburg, BHV-Peterburg, 2008, 192 p. (in Russian).
2. Arhipov G.I. Teorija kratnyh trigonometricheskikh sum [The theory of multiple trigonometric sums] / Karacuba A.A., Chubarikov V.N. Moscow, Nauka, 1987, 368 p. (in Russian).
3. Averin G.V. Sistemodinamika: nauka o zakonomernostyah processov izmenenija i razvitiya sistem vo vremeni [Systemdynamik: the Science About the Regularities of the Processes of Change and Development Systems at Time]. Palmarium Academic Publishing, 2014, 488 p. (in Russian).
4. Kel'ton V.D., Lou A.M. Imitacionnoe modelirovanie. Klassika CS [Simulation modeling. Classic CS]. Issue 3, St. Petersburg, Piter, Kiev, BHV, 2004, 847 p. (in Russian).
5. Prahov A.A. Blender. 3D-modelirovanie i animacija. Rukovodstvo dlja nachinajushhh [3D modeling and animation. Guide for beginners]. St. Petersburg, BHV-Peterburg, 2009, 272 p. (in Russian).
6. Falk G. Die Rolle der Axiomatik in der Physik, erläutert am Beispiel der Thermodynamik // Die naturwissenschaften, 46, 1959, no. 16: 480–486.
7. Lazarev A.I. Informacija i bezopasnost'. Kompozicionnaja tehnologija informacionnogo modelirovanija slozhnyh ob'ektov prinjatija reshenij [Information and security. Compositional technology of information modeling of complex decision-making objects]. Moscow, Moskovskij gorodskoj centr nauchno-tehnicheskoy informacii, 1997, 336 p. (in Russian).

8. Chehlov D.A. Vizualizacija v Autodesk Maya. Mental ray renderer [Visualization in Autodesk Maya. Mental ray renderer]. Moscow, DMK Press, 2016, 696 p. (in Russian).
9. Hokr B.H. Modeling focusing Gaussian beams in a turbid medium with Monte Carlo simulations / B.H. Hokr, J.N. Bixler, G. Elpers, B. Zollars, R.J. Thomas, V.V. Yakovlev, M.O. Scully // Optics Express. 2015. Vol. 23(7): 8699–8705.
10. Kravchenko S.V. Raschjot osesimmetrichnyh opticheskikh jelementov s dvumja asfericheskimi poverhnostjami dlja formirovanija zadannyh raspredelenij osveshhjonosti [Calculation of axisymmetric optical elements with two aspheric surfaces for the formation of given light distributions] / S.V. Kravchenko, M.A. Moiseev, L.L. Doskolovich, N.L. Kazanskij // Komp'juternaja optika. 2011. Vol. 35, no. 4: 467–472. (in Russian).
11. Havran V. Heuristic ray shooting algorithms // Faculty of Electrical Engineering, Czech Technical University. 2000, 206 p.
12. Wald I. On building fast kd-trees for ray tracing, and on doing that in O(N log N) / I. Wald, V. Havran // Interactive Ray Tracing. 2006: 61–69.
13. Rineau L. A generic software design for Delaunay refinement meshing / L. Rineau, M. Yvinec // Computational Geometry. 2007. Vol. 38(1): 100–110.
14. Hokr B.H., Bixler J.N., Elpers G., Zollars B., Thomas R.J., Yakovlev V.V., Scully M.O. Modeling focusing Gaussian beams in a turbid medium with Monte Carlo simulations. Optics Express 2015; Vol. 23, Issue 7: 8699–8705.
15. Gunther J., Popov S., Seidel H.P., Slusallek P. Realtime Ray Tracing on GPU with BVH-based Packet Traversal. Proceedings of the IEEE Symposium on Interactive Ray Tracing 2007, 10–12 September, Germany; 1: 113–118.

Зенкевич Д.О. «Робота трасувальника шляху в двигунах візуалізації тривимірної графіки». Вивчено принципи й особливості роботи трасувальника шляху в двигунах візуалізації тривимірної графіки і представлено основні складові даного процесу. Розглянуто такі інструменти технології тривимірної візуалізації як функції розподілу двонаправленого розсіювання поверхні відображення: BSSRDF, BRDF і BTDF. Продемонстровано моделювання руху променя при використанні даних функцій. Описано засоби, які визначають зовнішній вигляд об'єкта, та розглянуто поняття шейдера та як шейдера взаємодіють з джерелами світла. Дано рекомендації з управління обсягом променів світла в умовах виникнення шуму в кінцевому зображенні. У зв'язку з тим, що движок візуалізації працює з урахуванням фізичних властивостей об'єкта, можливо добитися реалістичних результатів і збалансованого висвітлення. Дано рекомендації щодо збереження енергії об'єктів візуалізації в процесі роботи. Описано процес трасування променів для створення коректних зображень на основі тривимірних сцен і зроблено висновки за роботою.

Ключові слова: тривимірна графіка, рендер, движок візуалізації, шейдер.

Zenkevich D.A. “Operation of the path tracer in the engines visualizations three-dimensional graphics”. The principles and features of the path tracer in three-dimensional graphics visualization engines are studied and the main components of this process are presented. Such tools of three-dimensional visualization technology as the distribution function of directional scattering of the reflection surface: BSSRDF, BRDF and BTDF are considered. The simulation of the beam motion using these functions is demonstrated. The tools determining the appearance of the object are described and the concept of Shader and how shaders interact with light sources is considered. Recommendations for controlling the volume of light rays in the conditions of noise in the final image are given. Since the rendering engine works with the physical properties of the object in mind, it is possible to achieve realistic results and balanced lighting. Recommendations for the conservation of energy objects in the process. The process of ray tracing to create correct images based on three-dimensional scenes is described and conclusions on the work are drawn.

Keywords: three-dimensional graphics, render, rendering engine, shader.

Статья поступила в редакцию 22.03.2017
Рекомендована к публикации д-ром техн. наук Г.В. Авериньим

Сведения об авторах на русском языке



Аверин Геннадий Викторович, д.т.н., проф. В 1980 году закончил Николаевский кораблестроительный институт им. адмирала С.О. Макарова, по квалификации инженер-механик. В 1994 году защитил докторскую диссертацию, с 2005 года профессор по кафедре компьютерных систем мониторинга. Ведет преподавательскую деятельность в Донецком национальном техническом университете и Белгородском государственном национальном исследовательском университете. Является автором более 150 публикаций, 15 монографий и учебных пособий. Область научных интересов: системный анализ и теория систем, математическое моделирование и интеллектуальный анализ данных, теория опасности и риска, информационные системы в области охраны окружающей среды и аналитической деятельности.



Беловодский Валерий Николаевич, к.т.н., доц. В 1971 году закончил факультет физико-математических и естественных наук Университета Дружбы народов им. П. Лумумбы по специальности «Математика» (г. Москва), в 1982 году – аспирантуру Рижского политехнического института по специальности «Динамика, прочность машин, приборов и оборудования», с 2003 года – доцент кафедры компьютерных систем мониторинга Донецкого национального технического университета. Является автором около 100 научных работ и нескольких учебных пособий, участвовал в ряде международных конференций по проблемам вибрации и теории машин и механизмов (Прага, Либерец, Лиссабон). Область научных интересов: моделирование, нелинейные динамические системы, временные ряды, фрактальное сжатие изображений, реконструкция уравнений, обучающие системы.



Букин Сергей Леонидович, к.т.н., доцент. В 1977 году закончил Донецкий политехнический институт, по квалификации горный инженер-механик. В настоящее время занимает должность профессора кафедры обогащения полезных ископаемых горного факультета Донецкого национального технического университета. Является автором более 80 публикаций, 33 авторских свидетельств и патентов на изобретения. Область научных интересов: вибрационная техника для горного производства, машины и технологии переработки полезных ископаемых. Принимал активное участие в создании ряда вибрационных машин различного технологического назначения для горнорудной, металлургической и химической отраслей промышленности.



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.



Ехилевский Степан Григорьевич, д.т.н., проф. В 1980 году закончил Донецкий государственный университет, по квалификации физик-преподаватель. В 1992 году защитил кандидатскую диссертацию, в 2003 – докторскую. С 1998 по 2004 годы – профессор Донецкого национального технического университета. С 2004 года – декан факультета информационных технологий Полоцкого государственного университета (Республика Беларусь). Является автором более 130 научных публикаций. Направления научных исследований: создание новых методов моделирования сорбционной активности регенеративных патронов изолирующих дыхательных аппаратов, совершенствование конструкций дыхательных аппаратов за счёт оптимизации теплового режима и защитного ресурса аппаратов.



Звягинцева Анна Викторовна, к.т.н., доц. В 1999 году закончила факультет экологии и химической технологии 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, в настоящее время является докторантом. Опубликовано более 100 научных работ, в том числе 5 монографий и 1 учебное пособие. Научные интересы: системный анализ, теория опасности и риска, безопасность и управление техногенными и социально-экономическими системами.



Зенкевич Дмитрий Александрович, магистрант. В 2017 году закончил федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Белгородский государственный национальный исследовательский университет» (НИУ «БелГУ») по направлению подготовки «Прикладная математика и информатика» (бакалавриат). В настоящее время обучается в магистратуре НИУ «БелГУ» по специальности «Математика», магистерская программа – теория чисел. Научные интересы: моделирование, разработка программного обеспечения. Научно-техническая деятельность: компьютерная и инженерная графика, 3D-моделирование, программирование симуляторов и компьютерных игр, проектирование и исследование подсистем анализа в составе автоматизированных систем управления технологическими процессами в различных областях.



Курганов Андрей Викторович, магистрант. В 2016 году закончил федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Белгородский государственный национальный исследовательский университет» (НИУ «БелГУ») по направлению подготовки «Математика» (бакалавриат). В настоящее время обучается в магистратуре НИУ «БелГУ» по специальности «Математика», магистерская программа – дифференциальные уравнения. Область научных интересов: математическое моделирование, физика твердого тела, структура твердых тел, дефекты кристаллической структуры, методы исследования кристаллической структуры и динамики решетки, прочность и пластичность металлов и сплавов.



Михайлова Анжела Александровна, аспирант кафедры менеджмента организации Института управления Белгородского государственного национального исследовательского университета (НИУ «БелГУ»). В 2015 году закончила экономический факультет НИУ «БелГУ» по специальности «Правовое обеспечение внешнеэкономической деятельности», по квалификации экономист. В 2013–2015 годах обучалась в Научно-учебном центре иностранных языков НИУ «БелГУ» по программе дополнительного образования «Переводчик в сфере профессиональной коммуникации» (уровень владения английским языком C1). Является автором 15 публикаций. Область научных интересов: стратегическое планирование и управление, комплексная оценка состояния и развития социально-экономических систем, законодательное обеспечение стратегического управления.



Чередникова Ольга Юрьевна, к.т.н. В 1995 году закончила Донецкий государственный технический университет, по квалификации инженер-программист. В 2013 году защитила кандидатскую диссертацию по специальности «Автоматизация процессов управления», доцент кафедры компьютерной инженерии факультета компьютерных наук и технологий Донецкого национального технического университета. Является автором более 20 научных публикаций. Область научных интересов: моделирование динамических процессов, создание компьютерных комплексов автоматизированного контроля и управления технологическими процессами.

Сведения об авторах на украинском языке



Аверін Геннадій Вікторович, д.т.н., проф. У 1980 році закінчив Миколаївський кораблебудівний інститут ім. адмірала С.О. Макарова, за кваліфікацією інженер-механік. У 1994 році захистив докторську дисертацію, з 2005 року професор по кафедрі комп'ютерних систем моніторингу. Веде викладацьку діяльність в Донецькому національному технічному університеті та Белгородському державному національному дослідницькому університеті. Є автором понад 150 публікацій, 15 монографій та навчальних посібників. Область наукових інтересів: системний аналіз і теорія систем, математичне моделювання та інтелектуальний аналіз даних, теорія безпеки і ризику, інформаційні системи в галузі охорони навколишнього середовища та аналітичної діяльності.



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 Ризького політехнічного інституту за спеціальністю «Динаміка, міцність машин, приладів та обладнання», з 2003 року – доцент кафедри комп'ютерних систем моніторингу Донецького національного технічного університету. Є автором близько 100 наукових робіт і декількох навчальних посібників, брав участь у низці міжнародних конференцій з проблем вібрації та теорії машин і механізмів (Прага, Ліберець, Лісабон). Область наукових інтересів: моделювання, нелінійні динамічні системи, часові ряди, фрактальне стиснення зображень, реконструкція рівнянь, навчальні системи.



Букін Сергій Леонідович, к.т.н., доцент. У 1977 році закінчив Донецький політехнічний інститут, за кваліфікацією гірничий інженер-механік. Нині займає посаду професора кафедри збагачення корисних копалин гірничого факультету Донецького національного технічного університету. Є автором понад 80 публікацій, 33 авторських свідоцтв і патентів на винаходи. Область наукових інтересів: вібраційна техніка для гірничого виробництва, машини і технології переробки корисних копалин. Приймав активну участь у створенні низки вібраційних машин різного технологічного призначення для гірничорудної, металургійної та хімічної галузей промисловості.



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 понад 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 та систем автоматичного управління технологічними процесами в різних областях.



Схілевський Степан Григорович, д.т.н., проф. У 1980 році закінчив Донецький державний університет, за кваліфікацією фізик-викладач. У 1992 році захистив кандидатську дисертацію, в 2003 – докторську. З 1998 по 2004 роки – професор Донецького національного технічного університету. З 2004 року – декан факультету інформаційних технологій Полоцького державного університету (Республіка Білорусь). Є автором понад 130 наукових публікацій. Напрями наукових досліджень: створення нових методів моделювання сорбційної активності регенеративних патронів ізолюючих дихальних апаратів, вдосконалення конструкцій дихальних апаратів завдяки оптимізації теплового режиму та захисного ресурсу апаратів.



Звягінцева Ганна Вікторівна, к.т.н., доц. У 1999 році закінчила факультет екології та хімічної технології 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, нині є докторантом. Опубліковано понад 100 наукових робіт, в тому числі 5 монографій та 1 навчальний посібник. Наукові інтереси: системний аналіз, теорія небезпеки і ризику, безпека та управління техногенними та соціально-економічними системами.



Зенкевич Дмитро Олександрович, магістрант. У 2017 році закінчив федеральний державний автономний освітній заклад вищої освіти «Белгородський державний національний дослідницький університет» (НДУ «БелДУ») за напрямом підготовки «Прикладна математика та інформатика» (бакалавріат). Нині навчається в магістратурі НДУ «БелДУ» за спеціальністю «Математика», магістерська програма – теорія чисел. Наукові інтереси: моделювання, розробка програмного забезпечення. Науково-технічна діяльність: комп'ютерна та інженерна графіка, 3D-моделювання, програмування симуляторів і комп'ютерних ігор, проектування та дослідження підсистем аналізу в складі автоматизованих систем управління технологічними процесами в різних галузях.



Курганов Андрій Вікторович, магістрант. У 2016 році закінчив федеральний державний автономний освітній заклад вищої освіти «Белгородський державний національний дослідницький університет» (НДУ «БелДУ») за напрямом підготовки «Математика» (бакалавріат). Нині навчається в магістратурі НДУ «БелДУ» за спеціальністю «Математика», магістерська програма – диференціальні рівняння. Область наукових інтересів: математичне моделювання, фізика твердого тіла, структура твердих тіл, дефекти кристалічної структури, методи дослідження кристалічної структури і динаміки решітки, міцність і пластичність металів і сплавів.



Михайлова Анжела Олександрівна, аспірант кафедри менеджменту організації Інституту управління Белгородського державного національного дослідницького університету (НДУ «БелДУ»). У 2015 році закінчила економічний факультет НДУ «БелДУ» за спеціальністю «Правове забезпечення зовнішньоекономічної діяльності», за кваліфікацією економіст. У 2013–2015 роках навчалася в Науково-навчальному центрі іноземних мов НДУ «БелДУ» за програмою додаткової освіти «Перекладач у сфері професійної комунікації» (рівень володіння англійською мовою С1). Є автором 15 публікацій. Область наукових інтересів: стратегічне планування та управління, комплексна оцінка стану та розвитку соціально-економічних систем, законодавче забезпечення стратегічного управління.



Череднікова Ольга Юрївна, к.т.н. У 1995 році закінчила Донецький державний технічний університет, за кваліфікацією інженер-програміст. У 2013 році захистила кандидатську дисертацію за спеціальністю «Автоматизація процесів управління», доцент кафедри комп'ютерної інженерії факультету комп'ютерних наук і технологій Донецького національного технічного університету. Є автором понад 20 наукових публікацій. Область наукових інтересів: моделювання динамічних процесів, створення комп'ютерних комплексів автоматизованого контролю та управління технологічними процесами.

Сведения об авторах на английском языке



Gennadiy Averin, Doctor of Engineering Sciences, Full Professor. In 1980 he graduated from Admiral Makarov Nikolaev Shipbuilding Institute with a qualification of engineer-mechanic. In 1994 defended his doctoral thesis, since 2005 he is a Full Professor at the Department of Computer Monitoring Systems of the Donetsk National Technical University (DonNTU). Currently he simultaneously teaches at DonNTU and Belgorod State National Research University (BelSU). He is the author of over 150 publications, 15 monographs and textbooks. Area of scientific interests: system analysis and systems theory, mathematical modeling and data mining, hazard and risk theory and information systems in the field of environmental protection and analytical activity.



Valeriy Belovodskiy, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor. In 1971 graduated from the Lumumba Friendship University in specialty "Mathematics" (Moscow), in 1982 – postgraduate study at the Riga Polytechnic Institute with a degree in "Dynamics, Strength of Machines, Devices and Equipment", since 2003 is an Associate Professor at the Department of Computer Monitoring Systems of the Donetsk National Technical University (Donetsk). Is the author of about 100 scientific papers and several textbooks, participated in a number of international conferences on vibration problems and theory of machines and mechanisms (Prague, Liberec, Lisbon). Research interests: modeling, nonlinear dynamical systems, time series, fractal image compression, reconstruction of equations, training systems.



Sergey Bukin, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor. In 1977 graduated from the Donetsk Polytechnic Institute, qualifying mining engineer-mechanic. Currently holds the position of professor at the department of mineral processing of the mining faculty of Donetsk National Technical University. Author of more than 80 publications, 33 copyright certificates and patents for inventions. Research interests: vibration technology for mining, machinery and mineral processing technology. Actively participated in the creation of a number vibration machines of various technological purposes for the mining, metallurgical and chemical industries.



Yuri Dostlev. Senior Engineer, part-time Senior Lecturer at the Department of the Computer Engineering of the Faculty of Computer Sciences and Technologies of the Donetsk National Technical University. He is the author of over 30 publications. Research interests: real-time systems, research of dynamic characteristics of real objects, creation of computer complexes for the automated control and management of technological processes. Scientific and technical activities: design and research of hardware and software of real-time systems, automatic control systems of technological processes in various fields.



Stepan Ekhilevsky, Doctor of Engineering Sciences, Full Professor. In 1980 he graduated from the Donetsk State University as physics teacher. In 1992 defended his candidate thesis, in 2003 – doctoral thesis. Since 1998 he is a Professor of the Donetsk National Technical University, since 2004 – the Dean of the Faculty of Information Technologies at Polotsk State University (Republic of Belarus). He is the author of more than 130 scientific publications. Directions of scientific researches: creation of new methods of modeling of dynamic sorption activity of regenerative cartridges of the isolating respiratory devices, improvement of designs of respiratory devices due to optimization of the thermal mode and a protective resource of devices.



Anna Zviagintseva, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor. In 1999 she graduated from the Faculty of Ecology and Chemical Technologies on specialty “Ecology and Environmental Protection”, in 2007 received a master's degree in Software of Automated Systems at the Donetsk National Technical University (DonNTU). In 2006 defended her thesis on the specialty “Environmental security”, since 2007 is Associate Professor at the Department of Computer Monitoring Systems of the Faculty of Computer Sciences and Technologies DonNTU. Published more than 100 scientific works papers, including 5 monographs and 1 manual. Research interests: system analysis, hazard and risk theory, safety and management of technogenic and socio-economic systems.



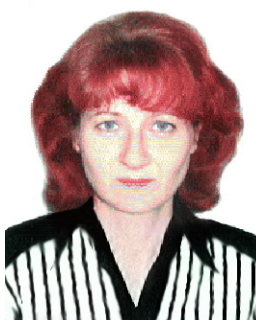
Dmitry Zenkevich, master student. In 2017 he graduated from the Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education “Belgorod State National Research University” (NRU “BelSU”), in the field of Applied mathematics and computer science. Currently he is studying at the magistracy of NRU “BelSU” in mathematics, master’s program – number theory. Research interests: modeling, and software development. Scientific and technical activity: computer and engineering graphics, 3D modeling, programming of simulators and computer games, design and research of subsystems of the analysis as a part of automated control systems of technological processes in various areas.



Andrey Kurganov, master student. In 2016 he graduated from the Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education “Belgorod State National Research University” (NRU “BelSU”), in the field of mathematics. Currently he is studying at the magistracy of NRU “BelSU” in mathematics, master’s program – differential equations. Research interests: mathematical modeling, solid state physics, structure of solids, crystal structure defects, methods for studying the crystal structure and lattice dynamics, strength and plasticity of metals and alloys.



Angela Mikhailova, Postgraduate at the Department of Management of the Belgorod State National Research University (NRU “BelSU”). In 2015 graduated from the faculty of Economics of the NRU “BelSU” with a degree in “Legal support of foreign economic activity”, an economist by qualification. In 2013–2015 studied at the Research and training center of foreign languages of NRU “BelSU” under the program of additional education “Translator in the field of professional communication” (English proficiency level C1). The author of 15 publications. Research interests: strategic planning and management, integrated assessment of the state and development of socio-economic systems, legislative support of strategic management.



Olga Cherednikova, Candidate of Engineering Sciences. In 1995 she graduated from Donetsk State Technical University (DonNTU) with a qualification of engineer-programmer. In 2013 she defended her thesis by specialty “Automation of Control Processes”, at present she is an Associate Professor at the Department of Computer Engineering of the faculty of Computer Sciences and Technologies of DonNTU. She is the author of more than 20 scientific publications. Research interests: modeling of dynamic processes, creation of computer systems of automated process control and management.

Научное издание

**Системный анализ и информационные технологии
в науках о природе и обществе
Сборник научных трудов**

(на русском, украинском, английском языках)

№1(12)–2(13)'2017

Ответственный за выпуск *А.В. Звягинцева*
Технические редакторы *В.Н. Беловодский, А.С. Хоруженко*
Компьютерная верстка *В.А. Павлий*
Дизайн обложки *А.Д. Багимова, В.В. Бойко*

Подписано к печати 25.08.2017. Формат 60×84 ¹/₈.
Бумага офсетная. Печать ризографическая.
Усл. печ. лист. 9,7. Уч.-изд. лист. 6,9.
Тираж 100 экз.

Адрес редакции: 83001, г. Донецк, ул. Артема, 58, ГВУЗ «ДонНТУ», 4-й учебный корпус,
к. 20, а. Тел.: +38 (062) 301-08-51 E-mail: anna_zv@ukr.net, averin.gennadiy@gmail.com
URL: <http://sait.csm.donntu.org>; <http://csm.donntu.org/ru/node/120>;
<http://sait.donntu.org>; <http://cmd.donntu.org/ru/node/120>

Издатель Государственное высшее учебное заведение «Донецкий национальный технический университет»
83001, г. Донецк, ул. Артема, 58. Тел.: +38 (062) 301-08-67, +38 (062) 301-09-67

Свидетельство о государственной регистрации субъекта издательского дела:
серия ДК №2982 от 21.09.2007

Отпечатано ООО фирма «ДРУК-ИНФО»
83001, г. Донецк, ул. Артема, 58, к. 113, тел.: +38 (062) 335-64-55

Факультет компьютерных наук и технологий

Тел: +38062 345-09-35

<http://cs.donntu.org>

© 1972-2017



Кафедра компьютерного
моделирования и дизайна

Тел: +3 8062 301-08-51

Web site: <http://cmd.donntu.org>

E-mail: anna_zv@ukr.net

© 2003-2017