

ISSN 2413-0133
Scientific journal

ИНФОРМАЦИОННЫЕ И МАТЕМАТИЧЕСКИЕ ТЕХНОЛОГИИ В НАУКЕ И УПРАВЛЕНИИ

№3(19)/ 2020

6+

ИНФОРМАЦИОННЫЕ И МАТЕМАТИЧЕСКИЕ ТЕХНОЛОГИИ В НАУКЕ И УПРАВЛЕНИИ

Научный журнал

№ 3 (19)

Информационные и
математические
(i)
технологии
в науке и управлении

EDITORIAL BOARD

Ablameyko S.V.
Arshinsky L.V.
Berestneva O.G.
Boukhanovsky A.V.
Bychkov I.V.
Eliseev S.V.
Gornov A.Y.
Gribova V.V.
Groumpos P.
Hodashinsky I.A.
Zorina T.G.
Kalimoldaev M.N.
Karpenko A.P.
Kazakov A.L.
Khamisov O.V.
Komendantova N.P.
Kureichik V.V.
Lis R.
Massel L.V.
Mokhor V.V.
Moskvichev V.V.
Ovtcharova J.
Popov G.T.
Smirnov S.V.
Stylios C.
Taratukhin V.V.
Voevodin V.V.
Voropai N.I.
Woern H.
Wolfengagen V.E.
Yusupova N.I.
Chubarov L.B.

Абламейко С.В., академик НАН Беларуси, Минск, БГУ
Аршинский Л.В., д.т.н., Иркутск, ИрГУПС
Берестнева О.Г., д.т.н., Томск, ТПУ
Бухановский А.В., д.т.н., Санкт-Петербург, НИУ ИТМО
Бычков И.В., академик РАН, Иркутск, ИДСТУ СО РАН
Елисеев С.В., д.т.н., Иркутск, ИрГУПС
Горнов А.Ю., д.т.н., Иркутск, ИДСТУ СО РАН
Грибова В.В., д.т.н., Владивосток, ИАПУ ДВО РАН
Грумпос П., Греция, University of Patras
Ходашинский И.А., д.т.н., Томск, ТУСУР
Зорина Т.Г., д.т.н., Республика Беларусь, Институт энергетики НАН Беларуси
Калимольдаев М.Н., академик НАН РК, Республика Казахстан, ИИВТ
Карпенко А.П., д.ф.-м.н., Москва, МГТУ им. Баумана
Казаков А.Л., д.ф.-м.н., Иркутск, ИДСТУ СО РАН
Хамисов О.В., д.ф.-м.н., Иркутск, ИСЭМ СО РАН
Комендантова Н.П., PhD, Австрия, Лаксенбург, NASA
Курейчик В.В., д.т.н., профессор ЮФУ, Таганрог
Лис Р., Польша, Wroclaw University of Science and Technology
Массель Л.В., д.т.н., Иркутск, ИСЭМ СО РАН
Мохор В.В., д.т.н., Киев, ИПМЭ им. Г.Е. Пухова НАН Украины
Москвичев В.В., д.т.н., Красноярск, СКТБ «Наука» СО РАН
Овчарова Ж., Германия, Karlsruhe Institute of Technology (KIT)
Попов Г.Т., Болгария, г. София, Технический университет
Смирнов С.В., д.т.н., Самара, ИПУСС РАН
Стилос Х., Греция, Technological Educational Institute of Epirus
Таратухин В.В., Германия, ERCIS, University of Muenster
Воеводин В.В., чл.-корр. РАН, Москва, НИВЦ МГУ
Воропай Н.И., чл.-корр. РАН, Иркутск, ИСЭМ СО РАН
Вёрге Х., Германия, Karlsruhe Institute of Technology (KIT)
Вольфенгаген В.Э., д.т.н., Москва, МИФИ
Юсупова Н.И., д.т.н., Уфа, УГАТУ
Чубаров Л.Б., д.т.н., Новосибирск, ИВТ СО РАН

EXECUTIVE EDITORIAL

Chief Editor Massel L.V.
Executive Editor
Bakhvalova Z.A.
Editor Kopaigorodsky A.N.
Editor Massel A.G.
Designer Pesterev D.V.

ИСПОЛНИТЕЛЬНАЯ РЕДАКЦИЯ ЖУРНАЛА

| | | |
|------------------|---------------------|------------------------------|
| Главный редактор | Массель Л.В. | д.т.н., Иркутск, ИСЭМ СО РАН |
| Выпускающий | | |
| редактор | Бахвалова З.А. | к.т.н., Иркутск, ИСЭМ СО РАН |
| Редактор | Копайгородский А.Н. | к.т.н., Иркутск, ИСЭМ СО РАН |
| Редактор | Массель А.Г. | к.т.н., Иркутск, ИСЭМ СО РАН |
| Дизайнер | Пестерев Д.В. | Иркутск, ИСЭМ СО РАН |

Адрес учредителя, издателя и редакции

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт систем энергетики им. Л.А. Мелентьева Сибирского отделения Российской академии наук (ИСЭМ СО РАН) 664033 г. Иркутск, ул. Лермонтова, 130
Тел: (3952) 42-47-00 Факс: (3952) 42-67-96

Раб. тел.: 8 (3952) 500-646 доп. 441
Раб. тел.: 8 (3952) 500-646 доп. 440

Массель Л.В. e-mail: massel@isem.irk.ru
Бахвалова З.А. e-mail: zinand@isem.irk.ru

Сайт журнала и конференции ИМТ - <https://www.imt-journal.ru/>

Журнал включен в Российский индекс научного цитирования (РИНЦ). Номер контракта 202-04/2016. Журнал зарегистрирован в Роскомнадзоре. Регистрационный номер ПИ № ФС 77 – 73539.

Отпечатано в полиграфическом участке ИСЭМ СО РАН

Дата выхода 15.11.2020 г. Тираж 100 экз.

© Все права принадлежат авторам публикуемых статей.

© Издательство ИСЭМ СО РАН
Цена свободная. (6+)

Содержание

Технологии искусственного интеллекта и их применение

| | |
|--|-----------|
| Загорулько Ю.А., Боровикова О.И., Загорулько Г.Б., Шестаков В.К. | 5 |
| Интернет-ресурс для поддержки использования паттернов онтологического проектирования | |
| Столбов А.Б., Лемперт А.А., Козлов В.В. | 14 |
| Использование онтологического подхода для интеллектуальной поддержки сценарного моделирования водных объектов Приангарья | |
| Массель А.Г., Александрович С.А., Гаськова Д.А. | 25 |
| Онтологический инжиниринг энергетических рисков в топливно-энергетическом комплексе | |
| Корольков Б.П. | 34 |
| О построении систем искусственного интеллекта на основе эволюционного развития научного знания | |

Математическое моделирование в технике и экономике

| | |
|---|-----------|
| Елисеев А.В. | 43 |
| Связность движений в системах с диссипацией энергии: системные подходы | |
| Куликов В.В., Куцый Н.Н. | 57 |
| Анализаторы чувствительности автоматических систем с пи-регулятором с переменными параметрами при использовании линии переключения. | |
| Любимова Е.В. | 65 |
| О необходимости расширения пространства планирования и прогнозирования электроэнергетики на сферу труда | |
| Барсукова М.Н., Иваньо Я.М., Петрова С.А. | 73 |
| Об одной модели оптимизации производства аграрной продукции в благоприятных и неблагоприятных внешних условиях | |

Информационно-вычислительные технологии

| | |
|--|------------|
| Загорулько Ю.А., Загорулько Г.Б., Шестаков В.К., Сапетина А.Ф. | 86 |
| Информационно-аналитическая поддержка решения вычислительно сложных задач на суперкомпьютерах | |
| Романчуков С.В., Лызин И.А., Марухина О.В. | 96 |
| Информационная система для анализа и моделирования социального и экономического развития региона | |
| Полисадова А.И., Берестнева О.Г. | 105 |
| Анализ показателей интеллектуального потенциала регионов | |

Content

Artificial intelligence technologies and their applications

- Zagorulko Y.A., Borovikova O. I., Zagorulko G. B., Shestakov V. K.** 5
Internet resource for supporting the use of ontology design patterns

- Stolbov A. B., Lempert A. A., Kozlov V.V.** 14
The ontological approach application for intellectual support of scenario modeling of water objects in the angara region

- Massel A. G., Alexandrovich S. A., Gaskova D. A.** 25
Ontological engineering of energy risks in the fuel and energy complex

- Korolkov B.P.** 34
On the construction of artificial intelligence systems based on the evolutionary development of scientific knowledge

Mathematical modeling in engineering and economics

- Eliseev A.V.** 43
Connectivity of movements in systems with energy dissipation: system approaches

- Kulikov V.V., Kutsy N.N.** 57
Sensitivity analyzers automatic systems with pi control with variable parameters when use switching lines

- Lyubimova E. V.** 65
On the need to expand planning and forecasting space of electric power industry to labor sphere

- Barsukova M. N., Ivanyo Y. M., Petrova S. A.** 73
About one model of optimization of agricultural production in favorable and unfavorable external conditions

Information and Computing Technologies

- Zagorulko Y. A., Zagorulko G. B., Shestakov V. K., Sapetina A.F.** 86
Information and analytical support of solving compute-intensive problems on supercomputers

- Romanchukov S. V., Lyzin I. A., Marukhina O. V.** 96
Information system for analysis and modeling of social and economic development of the region

- Polisadova A. I., Berestneva O. G.** 105
Indicators analysis of intellectual potential for regions

ИНТЕРНЕТ-РЕСУРС ДЛЯ ПОДДЕРЖКИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПАТТЕРНОВ ОНТОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ

Загорулько Юрий Алексеевич

к.т.н., зав. лабораторией, e-mail: zagor@iis.nsk.su,

Боровикова Олеся Игнатьевна

м.н.с., e-mail: olesya@iis.nsk.su,

Загорулько Галина Борисовна

н.с., e-mail: gal@iis.nsk.su,

Шестаков Владимир Константинович

м.н.с., e-mail: shestakov@iis.nsk.su,

Институт систем информатики им. А.П. Ершова СО РАН,
630090 г. Новосибирск, проспект Академика Лаврентьева, 6.

Аннотация. В настоящее время онтологии стали самым популярным средством формализации и систематизации знаний. В связи с этим появилась потребность в технологиях, позволяющей вовлекать в процесс построения онтологий специалистов в конкретных предметных областях. Для поддержки такой технологии в ИСИ СО РАН разрабатывается система автоматизированного построения онтологий научных предметных областей на основе паттернов онтологического проектирования. В статье представлен подход к разработке интернет-ресурса, поддерживающего использование таких паттернов при построении онтологий.

Ключевые слова: научная предметная область, онтология, паттерны онтологического проектирования, интернет-ресурс

Цитирование: Загорулько Ю.А., Боровикова О.И., Загорулько Г.Б., Шестаков В.К. Интернет-ресурс для поддержки использования паттернов онтологического проектирования //Информационные и математические технологии в науке и управлении. 2020. № 3 (19). С. 5-13. DOI: 10.38028/ESI.2020.19.3.001.

Введение. В связи с тем, что онтологии стали основным средством формализации и систематизации знаний в научных предметных областях (НПО), появилась потребность в методах и программных средствах, позволяющих привлекать к процессу построения онтологий не только инженеров знаний, но и специалистов в конкретных предметных областях. Однако существующие инструменты онтологического моделирования довольно трудны для освоения такими специалистами. Эффективным решением данной проблемы мог бы стать подход, поддерживающий создание онтологии из готовых блоков или фрагментов. В качестве таких блоков или фрагментов в последнее время применяются паттерны онтологического проектирования (Ontology Design Patterns или сокращенно – ODPs) [4, 10], представляющие собой описания проверенных на практике решений проблем онтологического моделирования.

В настоящее время создано и развивается несколько каталогов паттернов онтологического проектирования (ОП) [7, 9, 13, 14]. Наиболее представительный из них размещен на портале Ассоциации ODPA (Association for Ontology Design & Patterns) [7],

созданном в рамках проекта NeOn [12]. В данном каталоге представлена обширная коллекция известных на данный момент паттернов онтологического проектирования. Однако этот каталог обладает рядом недостатков. Во-первых, лишь небольшая часть представленных на нем паттернов пригодна для использования при разработке онтологий научных предметных областей. Во-вторых, для практического применения паттернов ОП в научных проектах требуется не только их систематизация, но и поддержка их совместного использования, а для этого требуются установление семантических связей между паттернами ОП и их детальное описание.

В ИСИ СО РАН разрабатывается система, поддерживающая автоматизированное построение онтологий научных предметных областей на основе паттернов ОП [4]. Для удобного доступа к паттернам ОП, входящим в эту систему, создается специализированный интернет-ресурс. В данной статье представлен подход к разработке такого интернет-ресурса.

1. Разработка онтологий на основе паттернов онтологического проектирования.

При разработке и пополнении онтологии в основном используются четыре типа паттернов ОП: структурные паттерны (Structural ODPs), паттерны содержания (Content ODPs), паттерны представления (Presentation ODPs) и лексико-синтаксические паттерны (Lexico-Syntactic ODPs).

Существует два вида *структурных паттернов*. Первые из них фиксируют способы решения проблем, вызванных ограничениями выразительных возможностей языков описания онтологий (логические паттерны или Logical ODPs), вторые – задают общую (модульную) структуру и вид онтологии (архитектурные паттерны или Architectural ODPs).

Паттерны содержания предназначены для описания типовых фрагментов онтологий, на основе которых могут строиться онтологии различных предметных областей.

Паттерны представления задают рекомендации (правила) по именованию и аннотированию элементов онтологии (соответственно Naming ODPs и Annotation ODPs), применение которых должно повысить читаемость онтологии, а также удобство и простоту ее использования.

Лексико-синтаксические паттерны задают отображения языковых структур в элементы (структуры) онтологии и применяются для автоматизации процесса построения (пополнения) онтологии на основе текстов на естественном языке.

В ИСИ СО РАН развивается подход к построению онтологий НПО [3], его особенностью является использование базовых онтологий, которые включают только самые общие сущности, не зависящие от конкретной предметной области. Большинство сущностей этих онтологий представлены паттернами содержания [15].

Для поддержки данного подхода разрабатывается система автоматизированного построения онтологий НПО на основе разнородных паттернов ОП (рис.1). Эта система включает следующие компоненты: репозиторий базовых онтологий; репозиторий разнородных паттернов ОП; набор языков и форматов, служащих для описания паттернов ОП разного назначения; словарь общенаучной и предметной лексики; редакторы паттернов и онтологий, предназначенные для специализации паттернов и построения онтологии конкретных НПО на основе базовых онтологий и паттернов.

В репозиторий базовых онтологий входят четыре онтологии, реализованные средствами языка OWL [6]: онтология научного знания, онтология научной деятельности, базовая онтология задач и методов, базовая онтология интернет-ресурсов.

Репозиторий паттернов ОП включает как паттерны, разработанные нами для представления научных знаний, так и паттерны ОП, представленные на портале Ассоциации ODPA [7], пригодные для построения онтологий НПО.

В частности, в репозиторий включены паттерны содержания, служащие для задания таких понятий НПО, как *Объект исследования*, *Предмет исследования*, *Метод исследования*, *Раздел науки*, *Научный результат*, *Научная деятельность*, *Проект* и др.

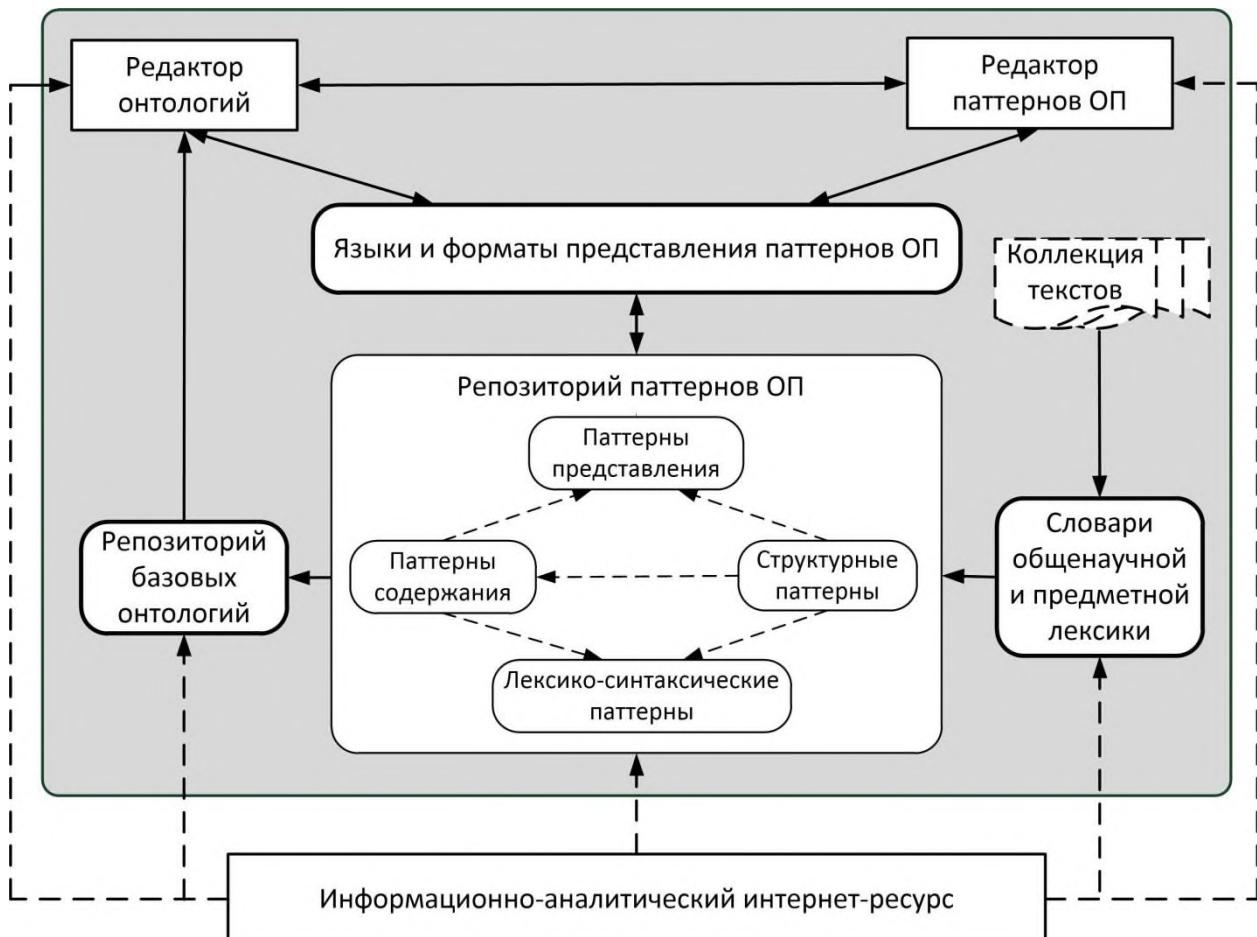


Рис. 1. Система автоматизированного построения онтологий НПО

В целом в репозиторий паттернов ОП входят паттерны четырех типов: структурные логические паттерны, паттерны содержания, паттерны представления и лексико-синтаксические паттерны. Первые три типа паттернов ОП реализованы на популярном языке спецификации онтологий OWL [6], для описания паттернов ОП четвертого типа используются специальные языки и форматы [2, 5].

Для обеспечения пользователя подробной информацией обо всех паттернах, входящих в эту систему, а также для их систематизации и поддержки совместного использования при построении онтологий НПО, создается информационно-аналитический интернет-ресурс (ИАИР). Его принципиальной особенностью является то, что он, в отличие от каталога ODPA, строится на основе онтологии.

2. Онтология интернет-ресурса «Паттерны онтологического проектирования».

Онтология рассматриваемого интернет-ресурса служит как для формализации и систематизации знаний, данных и информационных ресурсов, относящихся к паттернам ОП, так и для организации содержательного доступа к ним. Данная онтология построена на базе

ранее разработанных в нашем коллективе онтологий научной деятельности и научного знания [3] и реализована средствами языка OWL.

Существенную часть онтологии образуют описания паттернов ОП, поэтому ядро этой онтологии составляют класс *Паттерн онтологического проектирования*, задающий основные свойства паттернов ОП, и его подклассы, служащие для представления различных типов паттернов ОП.

Описание свойств паттернов ОП выполняется на основе формата, предложенного на портале ассоциации ODPA. В соответствии с ним в описание паттерна включаются сведения о его авторе и области применения, его текстовое описание, графическое представление, ссылки на другие паттерны, набор сценариев и примеров использования. Паттерн содержания дополнительно может снабжаться ссылками на паттерны, которые им специализируются, а также набором вопросов компетенции (Competency questions) [11].

Систематизация паттернов ОП, представленных в контенте ресурса, выполняется по разным основаниям: по типам решаемых проблем онтологического моделирования, их назначению, видам онтологии (формальная онтология, онтология верхнего уровня, предметная онтология и т.п.) и предметным областям.

Для систематизации паттернов ОП по типам решаемых проблем была взята за основу классификация, предложенная в исследовательском проекте NeOn [12]. Эта классификация включает уже упомянутые выше категории паттернов, а также паттерны соответствия (Correspondence ODPs) и паттерны логического вывода (Reasoning ODPs). При этом группа паттернов представления была дополнена нами паттернами визуализации.

Соответственно для представления различных типов паттернов вводятся такие классы, как *Структурный паттерн*, *Паттерн содержания*, *Паттерн представления* и др.

Онтология паттернов ОП включает также классы, служащие для представления дополнительной информации о разработанных паттернах ОП, в частности, о том, в рамках какой деятельности и для какой предметной области они были разработаны и где используются. Кроме того, онтология паттернов ОП позволяет описывать информацию об исследованиях, выполняемых в онтологическом инжиниринге с использованием паттернов, об информационных ресурсах, создаваемых и используемых в этих исследованиях, об ученых, сообществах, организациях, вовлеченных в процесс таких исследований, о публикациях, посвященных разработке и использованию паттернов. Для этих целей служат классы *Предметная область*, *Деятельность*, *Публикация*, *Событие*, *Персона*, *Организация*, *Информационный ресурс*, *Географическое место*, а также отношения «являетсяРезультатом Деятельности», «относитсяКПредметнойОбласти», «используетсяВДеятельности», «являетсяАвторомПаттерна», «описываетсяВПубликации», «представленНаРесурсе» и др.

С помощью онтологических связей «дополняет», «импортирует», «обобщает», «состоитИз», «специализирует» задаются операции [8] между паттернами содержания. С использованием этих связей выполняется настройка каждого паттерна на моделируемую НПО.

Для обеспечения систематизации и поиска информации о паттернах были введены отношения, связывающие разнородные паттерны. Так, отношение «использует» задает связь между паттерном содержания и структурным паттерном, «используется для представления» – связывает паттерн содержания с паттерном представления, «соответствует» – задает соответствие между лексико-сintаксическим паттерном и паттерном содержания.

3. Реализация интернет-ресурса. На основе описанной выше онтологии был разработан интернет-ресурс «Паттерны онтологического проектирования». При его создании была использована технология разработки интеллектуальных научных интернет-ресурсов (НИИР) [3], которая предоставляет оболочку ресурса, набор упомянутых выше базовых онтологий и паттернов ОП, а также методику их использования. В состав оболочки также входит редактор данных [1], который поддерживает работу с паттернами ОП, а именно – предоставляет пользователю возможность пополнять онтологию конкретными сущностями на основе включенных в репозиторий структурных паттернов и паттернов содержания.

Как было сказано выше, данный интернет-ресурс входит в состав системы автоматизированного построения онтологий НПО и является своеобразным интеллектуальным справочником, систематизирующим на основе онтологии информацию, относящуюся к паттернам ОП, и предоставляющим к ней содержательный доступ.

The screenshot shows the website's interface. At the top, there is a dark header bar with links for 'Главная', 'Онтология', 'О ресурсе', a search icon, and 'Выход (admin)'. Below the header, the main title 'ПАТТЕРНЫ ОНТОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ' is displayed next to a molecular structure icon. On the left, a sidebar shows a hierarchical tree of ontology classes: 'Geographic place', 'Activity', '+ Информационный ресурс' (Information resource), 'Area of use', 'Organization', '- Паттерн онтологического проектирования' (Pattern of ontological design), which is expanded to show 'Лексико-синтаксический паттерн' (Lexico-syntactic pattern), 'Паттерн вывода' (Inference pattern), '- Паттерн представления' (Presentation pattern), 'Паттерн аннотирования' (Annotation pattern), 'Паттерн именования' (Naming pattern), '- Паттерн содержания' (Content pattern), which is selected and expanded to show 'Паттерн соответствия' (Correspondence pattern), 'Паттерн выравнивания' (Alignment pattern), 'Паттерн реинжиниринга' (Reengineering pattern), '- Структурный паттерн' (Structural pattern), 'Архитектурный паттерн' (Architectural pattern), 'Логический паттерн' (Logical pattern), 'Персона', 'Публикация', and 'Событие'. The right side contains two main sections: 'Свойства объекта' (Object properties) and 'Связи объекта' (Object relationships). The 'Свойства объекта' section has a table with rows for 'Название' (Name) and 'Научная деятельность' (Scientific activity), and another row for 'Назначение' (Function) with a detailed description. The 'Связи объекта' section lists relationships: 'используется В Деятельности' (Used in Activity), 'Деятельность' (Activity), 'Проект «Разработка интеллектуальных СППР в слабоформализованных предметных областях на основе сервис-ориентированного подхода и технологий Semantic Web»' (Project «Development of intelligent SPPR in semantically weakly formalized domains based on service-oriented approach and Semantic Web technologies»), 'Проект «Интеллектуальная поддержка решения задач на пета- и экзафлопсных суперЭВМ»' (Project «Intelligent support for solving tasks on petas- and exaflops supercomputers»), 'относится к предметной области' (Belongs to subject area), 'Область использования' (Area of use), 'Научная предметная область' (Scientific subject area), 'является результатом' (Is a result), and 'Деятельность' (Activity), each with its own detailed description.

Рис. 2. Представление паттерна содержания «Научная деятельность» на интернет-ресурсе «Паттерны онтологического проектирования».

Пользователь может осуществлять навигацию по контенту интернет-ресурса, используя дерево (иерархию) классов онтологии, построенное на основе отношения «общее-частное». При этом он может выбирать объекты любого класса и «работать» с их описаниями. При выборе требуемого класса из дерева классов пользователю выдается список объектов выбранного класса. Информация о свойствах конкретного объекта и его

связях отображается в виде html-страницы. При этом объекты, связанные с рассматриваемым объектом, представляются на его странице в виде содержательных гиперссылок, по которым можно перейти к их детальному описанию.

На рис. 2 показана страница интернет-ресурса. В левой части страницы расположена иерархия классов онтологии паттернов ОП, а в правой части – описание паттерна содержания «Научная деятельность». Здесь представлено название паттерна, описано его назначение, приведены квалификационные вопросы, а также связи паттерна с предметными областями и проектами, в рамках которых он разрабатывался и использовался.

Графическое представление паттерна *Научная деятельность* показано на рис. 3.

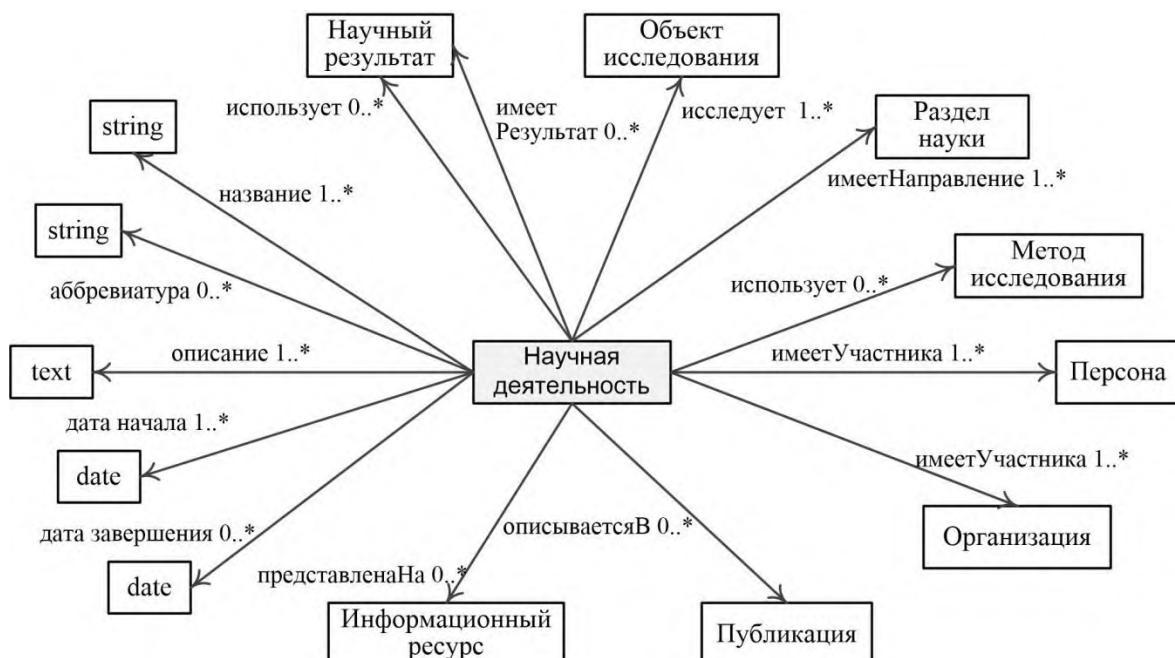


Рис. 3. Графическое представление паттерна содержания для описания научной деятельности

Заключение. В статье представлен подход к разработке интернет-ресурса «Паттерны онтологического проектирования». Данный ресурс предназначен для систематизации информации, относящейся к паттернам ОП, и обеспечения к ней содержательного доступа. Концептуальной основой данного ресурса является онтология паттернов ОП.

К настоящему времени создана pilotная версия интернет-ресурса, которая доступна по адресу <https://uniserv.iis.nsk.su/pattern/>.

Дальнейшие исследования по этой тематике будут направлены на пополнение контента интернет-ресурса информацией о новых паттернах онтологического проектирования, которые будут включаться в систему автоматизированного построения онтологий по мере их разработки.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект № 19-07-00762) и Министерства образования и науки Республики Казахстан (грант № АР 05133546).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ахмадеева И.Р., Серый А.С., Шестаков В.К. Некоторые особенности реализации платформы для построения информационно-аналитических интернет-ресурсов // Информационные и математические технологии в науке и управлении. 2017. № 3 (7). С. 168–175.

2. Большикова Е.И., Баева Н.В., Бордаченкова Е.А., Васильева Н.Э., Морозов С.С. Лексико-синтаксические шаблоны в задачах автоматической обработки текстов // Компьютерная лингвистика и интеллектуальные технологии: Труды Международной конференции Диалог'2007. М.: Издательский центр РГГУ. 2007. С. 70–75.
3. Загорулько Ю.А., Загорулько Г.Б., Боровикова О.И. Технология создания тематических интеллектуальных научных интернет-ресурсов, базирующаяся на онтологии // Программная инженерия. 2016. № 2(7). С. 51–60.
4. Загорулько Ю.А., Боровикова О.И. Использование системы разнородных паттернов онтологического проектирования для разработки онтологий научных предметных областей // Программирование. 2020. № 4. С. 27–35.
5. Рабчевский Е.А. Автоматическое построение онтологий на основе лексико-синтаксических шаблонов для информационного поиска // Труды 11й Всерос. научной конференции «Электронные библиотеки: перспективные методы и технологии, электронные коллекции» — RCDL'2009. Петрозаводск. 2009. С. 69–77.
6. Antoniou G., Harmelen F. Web Ontology Language: OWL // Handbook on Ontologies. Berlin: Springer Verlag. 2004. Pp. 67–92.
7. Association for Ontology Design & Patterns. Режим доступа: <http://ontologydesignpatterns.org> (дата обращения 29.09.2020).
8. Blomqvist E., Hammar K., Presutti V. Engineering Ontologies with Patterns: The eXtreme Design Methodology // Ontology Engineering with Ontology Design Patterns. Studies on the Semantic Web. Hitzler, P., Gangemi, A., Janowicz, K., Krisnadhi, A., Presutti, V. (eds). Amsterdam: IOS Press, 2016. Vol. 25. P. 23–50. Режим доступа: <http://ebooks-iospress-nl/volumearticle/45577> (дата обращения 29.09.2020).
9. Dodds L., Davis I. Linked Data Patterns. 2012. Режим доступа: <http://patterns-dataincubator.org/book> (дата обращения 29.09.2020).
10. Gangemi A., Presutti V. Ontology Design Patterns // Handbook on Ontologies. Berlin: Springer. 2009. Pp. 221–243.
11. Karima N., Hammar K., Hitzler P. 2017. How to Document Ontology Design Patterns // Advances in Ontology Design and Patterns. Studies on the Semantic Web. IOS Press, Kobe, Japan. Vol. 32. Pp. 15–27. Режим доступа: <http://ebooks-iospress-nl/volumearticle/48704> (дата обращения 29.09.2020).
12. NeOn Project. Режим доступа: http://www.neon-project.org/nw>Welcome_to_the_NeOn_Project (дата обращения 29.09.2020).
13. Ontology Design Patterns (ODPs) Public Catalog. Режим доступа: <http://odps.sourceforge.net> (дата обращения 29.09.2020).
14. Shimizu C., Hirt Q., Hitzler P. MODL: A Modular Ontology Design Library. Режим доступа: <http://ceur-ws.org/Vol-2459/paper4.pdf> (дата обращения 29.09.2020).
15. Zagorulko Y., Borovikova O., Zagorulko G. Implementation of Content Patterns in the Methodology of the Development of Ontologies for Scientific Subject Domains // Kuznetsov S., Osipov G., Stefanuk V. (eds) Artificial Intelligence. RCAI 2018. Communications in Computer and Information Science, Springer, Cham. 2018. Vol. 934. Pp. 260–272.

**INTERNET RESOURCE FOR SUPPORTING THE USE OF ONTOLOGY DESIGN
PATTERNS**

Yury A. Zagorulko

Dr., Head of Laboratory "Artificial Intelligence", e-mail: zagor@iis.nsk.su,

Olesya I. Borovikova

Junior Researcher, e-mail: olesya@iis.nsk.su,

Galina B. Zagorulko

Researcher, e-mail: gal@iis.nsk.su,

Vladimir K. Shestakov

Junior Researcher, e-mail: shestakov@iis.nsk.su,

A.P. Ershov Institute of Informatics Systems

Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences

6, Acad. Lavrentjev pr., 630090, Novosibirsk, Russia.

Annotation. Currently, ontologies have become the most popular means for formalizing and systematizing knowledge. In this regard, there is a need for a technology that allows to involve specialists in specific subject areas in the process of building ontologies. To support this technology, A.P. Ershov Institute of Informatics Systems is developing a system for the automated construction of ontologies of scientific subject domains based on ontology design patterns. The paper presents an approach to the development of an Internet resource that supports the use of such patterns in the construction of ontologies.

Keywords: Scientific subject domain, ontology, ontology design patterns, ontology, ontological design patterns, Internet resource

References

1. Ahmadeeva I.R., Seryj A.S., Shestakov V.K. Nekotorye osobennosti realizacii platformy dlya postroeniya informacionno-analiticheskikh internet-resursov [Some features of implementation of the platform for building information-analytical Internet resources] // Informacionnye i matematicheskie tekhnologii v nauke i upravlenii = Information and mathematical technologies in science and management. 2017. №. 3 (7). Pp. 168–175. (in Russian).
2. Bolshakova E.I., Baeva N.V., Bordachenkova E.A., Vasilieva N.E., Morozov S.S. Leksiko-sintaksicheskie shablony v zadachah avtomaticheskoy obrabotki tekstov [Lexicosyntactic patterns for automatic text processing] // Kompyuternaja lingvistika i intellectual'nye technologii: Trudy Mezdunarodnoj konferentsii Dialog'2007. M.: Izdatelskij tsentr RGGU. 2007. Pp. 70–75. (in Russian).
3. Zagorulko Yu.A., Zagorulko G.B., Borovikova O.I. Tekhnologija sozdanija tematicheskikh intellektual'nykh nauchnykh internet-resursov, bazirujushchajasja na ontologii [Technology for building subject-based intelligent scientific internet resources based on ontology] // Programmnaja inzhenerija = Software Engineering. 2016. № 2. Pp. 51–60. (in Russian).

4. Zagorulko Yu.A., Borovikova O.I. Ispol'zovanie sistemy raznorodnyh patternov ontologicheskogo proektirovaniya dlya razrabotki ontologij nauchnyh predmetnyh oblastej [Using a System of Heterogeneous Ontology Design Patterns to Develop Ontologies of Scientific Subject Domains] // Programmirovaniye = Programming and Computer Software. 2020. № 4. Pp. 27–35. (in Russian).
5. Rabchevsky E.A. Avtomaticheskoe postroenie ontologij na osnove leksiko-sintaksicheskikh shablonov dlya informacionnogo poiska [Automatic ontology construction based on lexical-syntactic patterns for information retrieval] // Trudy XI Vserossijskoj nauchnoj konferentsii «Elektronnye biblioteki: perspektivnye metody i tekhnologii, elektronnye kollektivi» - RCDL'2009. Petrozavodsk. 2009. Pp. 69–77. (in Russian).
6. Antoniou G., Harmelen F. Web Ontology Language: OWL // Handbook on Ontologies. Berlin: Springer Verlag. 2004. Pp. 67–92.
7. Association for Ontology Design & Patterns. Available at: <http://ontologydesignpatterns.org>, accessed 29.09.2020
8. Blomqvist E., Hammar K., Presutti V. Engineering Ontologies with Patterns: The eXtreme Design Methodology // Ontology Engineering with Ontology Design Patterns. Studies on the Semantic Web. Hitzler, P., Gangemi, A., Janowicz, K., Krisnadhi, A., Presutti, V. (eds). – Amsterdam: IOS Press. 2016. vol. 25. Pp. 23–50. Available at: <http://ebooks.iospress.nl/volumearticle/45577>, accessed 29.09.2020.
9. Dodds L., Davis I. Linked Data Patterns. 2012. Available at: <http://patterns.dataincubator.org/book>, accessed 29.09.2020.
10. Gangemi A., Presutti V. Ontology Design Patterns // Handbook on Ontologies. Berlin: Springer. 2009. Pp. 221–243.
11. Karima N., Hammar K., Hitzler P. 2017. How to Document Ontology Design Patterns // Advances in Ontology Design and Patterns. Studies on the Semantic Web. IOS Press, Kobe, Japan. vol. 32. Pp. 15–27. Available at: <http://ebooks.iospress.nl/volumearticle/48704>, accessed 29.09.2020.
12. NeOn Project. Available at: [http://odps.sourceforge.net](http://www.neon-project.org/nw>Welcome to the NeOn Project, accessed 29.09.2020.13. Ontology Design Patterns (ODPs) Public Catalog. Available at: <a href=), accessed 29.09.2020.
14. Shimizu C., Hirt Q., Hitzler P. MODL: A Modular Ontology Design Library. Available at: <http://ceur-ws.org/Vol-2459/paper4.pdf>, accessed 29.09.2020.
15. Zagorulko Y., Borovikova O., Zagorulko G. Implementation of Content Patterns in the Methodology of the Development of Ontologies for Scientific Subject Domains // Kuznetsov S., Osipov G., Stefanuk V. (eds) Artificial Intelligence. RCAI 2018. Communications in Computer and Information Science, Springer, Cham. 2018. vol. 934. Pp. 260–272.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ОНТОЛОГИЧЕСКОГО ПОДХОДА ДЛЯ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ ПОДДЕРЖКИ СЦЕНАРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ ПРИАНГАРЬЯ

Столбов Александр Борисович

к.т.н., м.н.с., e-mail: [stolboff @icc.ru](mailto:stolboff@icc.ru),

Лемперт Анна Ананьевна

к.ф.-м.н., в.н.с., e-mail: lempert@icc.ru,

Козлов Владимир Васильевич

программист, e-mail: boba50@mail.ru,

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт динамики
систем и теории управления имени В.М. Матросова Сибирского отделения
Российской Академии наук, 664033, Иркутск, ул. Лермонтова, 134.

Аннотация. В статье рассматриваются результаты, касающиеся одной из актуальных задач исследования окружающей среды: сценарного моделирования состояния водных ресурсов. При этом для поддержки сценарного моделирования разрабатываются несколько взаимосвязанных онтологий: онтология компонентно-ориентированного моделирования сложных объектов, содержащую информацию о структуре моделей и принципах их построения и онтология водных объектов, использующая информацию из сторонних информационных моделей водных ресурсов, а также на основе анализа научно-методической литературы и открытых источников данных мониторинга водных объектов Иркутской области. Для апробации подхода в рамках поискового этапа исследований основной математической моделью в форме системы обыкновенных дифференциальных уравнений выбрана известная балансовая модель изменения гидролого-экологических характеристик устьев рек.

Ключевые слова: математическое моделирование, сценарный анализ, онтологии, Байкальский регион, водные объекты

Цитирование: Столбов А.Б., Лемперт А.А., Козлов В.В. Использование онтологического подхода для интеллектуальной поддержки сценарного моделирования водных объектов Приангарья // Информационные и математические технологии в науке и управлении. 2020. № 3 (19). С. 14-24.
DOI: 10.38028/ESI.2020.19.3.002.

Введение. В настоящее время исследованиями в области изучения водных объектов, в том числе связанных с анализом антропогенной нагрузки и оценкой качества воды, занимаются многие специалисты в России и за рубежом. Как следствие, накоплен богатый теоретический и практический опыт, разработано большое количество методических рекомендаций, осуществляется законодательное осмысление и внедрение полученных результатов для регламентации деятельности на водных объектах. Тем не менее, ряд объективных и субъективных проблем, связанных со сложностью самого объекта исследования, с организацией непрерывного и массового процесса наблюдения за ним и с

необходимостью согласованного учёта нормативов разного уровня, сохраняют высокий уровень востребованности этих исследований.

С методологической точки зрения актуальным является применение междисциплинарного подхода к изучению водного объекта: привлечение специалистов из смежных областей, применение разнородного математического аппарата, комбинированное использование данных мониторинга и экспертных оценок. Всё большую роль в последние годы играют информационно-коммуникационные технологии как в области сбора и обработки данных, так и при организации вычислений, поддержки процесса моделирования и прогнозирования.

В последнее десятилетие активно набирает популярность направление комплексного моделирования окружающей среды, в рамках которого исследования водных объектов занимают значимое место. Особенностью этого нового направления является целенаправленное объединение усилий многих исследовательских коллективов между собой, а также активное привлечение специалистов-практиков из регулирующих и надзорных органов для выработки адекватных комплексных методик, средств и стандартов на основе современных технологических достижений [12, 17].

Таким образом, в настоящее время наблюдается тенденция к комплексному рассмотрению проблем окружающей среды вообще, и анализу состояния водных объектов, в частности. При этом необходимо отметить, что при совместной разработке особое внимание уделяется не столько получению конченого результата в форме модели или её спецификации, сколько организации процесса её создания, что и является основной темой данной статьи: на примере изучения водных объектов рассматриваются проблемы организации интеллектуальной поддержки процесса комплексного компонентного сценарного моделирования.

Компонентно-ориентированный подход к моделированию. При создании современных систем моделирования, способных осуществлять поддержку междисциплинарного подхода для работы сообщества разработчиков и пользователей, можно выделить две основные парадигмы. В первой парадигме модель создается и поддерживается небольшой группой разработчиков. При этом код модели находится под контролем этой группы, что, с одной стороны, упрощает разработку и сопровождение кода, но, с другой стороны, ограничивает размер сообщества, способствующего развитию модели. Такой подход является традиционным и изначально направлен на целостное и комплексное изучение сложного объекта. Тем не менее в последние годы современные достижения в области коммуникационных и вычислительных возможностей создали предпосылки для активного развития другого направления – компонентно-ориентированного моделирования.

В рамках этой второй парадигмы небольшой группой разработчиков создается и поддерживается каркас (фреймворк) моделирования. При этом для внешнего сообщества существует возможность вносить свой вклад в развитие модельного аппарата, используемого в каркасе. Разработчики создают свои модели как компоненты и придерживаются установленных стандартов, которые необходимы для обеспечения совместимости моделей друг с другом. Такой компонентный подход к построению моделей на данный момент является менее устоявшимся, однако он приобретает всё большую популярность, так как способствует более активному продвижению и внедрению результатов моделирования в государственных структурах и промышленных предприятиях, особенно в области

исследований окружающей среды, где сама специфика решаемых задач требует коллективных усилий [17].

Главная особенность использования компонентов заключается в том, что каждая модель в системе является независимой, но может быть интегрирована с другими. Таким образом, компонентное моделирование является ключевым принципом в развитии современных каркасов моделирования и обеспечивает их гибкость и расширяемость. Децентрализации функциональности модели на независимые компоненты позволяет получить следующие преимущества по сравнению с традиционным подходом к созданию моделей:

- проводить моделирование относительно свободнее, так как можно отказаться от строгих допущений, характерных для централизованного подхода к построению моделей;
- специалистам можно сосредоточиться на вопросах реализации отдельных компонентов;
- пользователям (в т.ч. лицам, принимающим решения) легче понимать структуру целостных систем, построенных из более детальных компонентов.

Тем не менее существует и целый ряд областей, где компонентно-ориентированный подход в силу своей изначальной общности уступает моделям и системам, полученным на основе традиционного подхода. К таким проблемам относятся:

- эффективность вычислений (эффективность архитектуры, точность вычислений, поддержка специфических аппаратных требований при реализации);
- хранение данных (единые стандарты обработки и представления данных, распределенное хранение, взаимосвязь хранилищ и компонентов);
- наглядность представления, сложность изучения (документация, руководство, обучение, пользовательский интерфейс);
- средства поддержки модульности и связности.

Далее в работе более подробно рассматривается последняя проблема, так как её решение частично затрагивает и предыдущие вопросы.

Идея компонентного моделирования активно эксплуатируется в комплексном моделировании окружающей среды (Integrated Environmental Modeling – IEM). Для решения проблемы модульности и связности разработаны различные стандарты взаимодействия компонентов IEM. Наиболее популярными на данный момент являются следующие стандарты:

- OpenMI (Open Modeling Interface),
- OMS (Object Modeling System),
- Basic Model Interface (BMI) проекта CSDMS (Community Surface Dynamics Modeling System).

Эти стандарты содержат набор стандартных функций для выполнения запросов и управления, которые при добавлении в код модели и реализации облегчают ее интеграцию с другими элементами программного обеспечения.

Важной особенностью решения проблемы поддержки модульности и связности является то, что при сборке комплексной модели из моделей-компонентов необходимо не просто правильно смонтировать компоненты с технической точки зрения (например, на

основе передачи сообщений или приведенных выше примеров стандартов), но также требуются специальные научные знания о предметных и проблемных связях. При этом необходимо учитывать следующие факторы:

- семантическая неоднородность между дисциплинами, обусловленная разнообразием терминологии, используемой внутри моделей для описания: уравнений, переменных, параметров, единиц измерения;
- разнообразие понятий, используемых для определения функциональности и взаимосвязей между компонентами, что приводит к чрезмерной сложности получаемых модельных композиций;
- синтаксическая неоднородность в структуре метаданных, используемых для описания компонента в рамках моделирования, препятствует повторному использованию компонента;
- несоответствие элементов соединения, возникающее в результате несогласованных пространственных или временных обменов данными или из-за несовместимости семантики, используемой различными моделями.

В совокупности влияние перечисленных факторов приводит к отсутствию общего понимания и плохой коммуникации внутри и между пользователями систем компонентного моделирования, а для их учёта требуется разработка специализированных механизмов проектирования, построения, тестирования и обслуживания сложных систем моделирования. Одним из вариантов, способствующим решению описанных проблем, является использование онтологического подхода, который традиционно применяется в тех случаях, когда необходимо формально согласовать различного рода семантические и синтаксические несоответствия.

Концептуальная модель компонентно-ориентированного сценарного моделирования (КМ КОСМ). В настоящее время разработкой онтологий в разных областях науки об окружающей среде занимаются многие коллективы. В ходе анализа особое внимание уделялось онтологиям водных ресурсов, онтологиям математического и компонентного моделирования.

В качестве программного средства для ввода, редактирования и представления КМ КОСМ была использована, разрабатываемая при участии одного из авторов статьи, платформа построения систем, основанных на знаниях [19]. При этом при создании КМ КОСМ системный компонент для обработки концептуальных моделей дополнен модулем, расширяющим информацию о понятиях данными об источниках информации: описание библиографических ссылок; список альтернативных названий и определений понятия (в т.ч. на русском и английских языках); ссылки на онтологию-источник; ссылки на онтологии и другие электронные ресурсы, в которых были использованы понятия; перечень примеров для элемента КМ в форме текста.

За основу при создании КМ КОСМ была выбрана онтология компонентов водных ресурсов (Water Resources Component – WRC) [14], в которой, свою очередь, использована информация из следующих проектов: The Earth System Curator (ESC) [13] – содержит метаданные, описывающие программное обеспечение численного моделирования климата; Community Surface Dynamics Modeling System (CSDMS) [21] – проект по созданию среды

моделирования на основе программных модулей с открытым исходным кодом для исследования широкого спектра процессов, связанных с земной поверхностью.

Для КМ КОСМ на основе WRC были предложены 7 уровней: ресурсный, технический, связующий, математический, единиц измерения, предметный, сценарный.

Ресурсный уровень предназначен для описания информации о разработчиках компонента, типах используемых файлов, уровне готовности компонента. Для создания этого уровня использовались информационные модели из [12, 16]. Имеет аналог в онтологии WRC.

Технический уровень предназначен для описания информации о требуемой компьютерной архитектуре, которая позволяет запускать вычислительный эксперимент, реализуемый с использованием компонентов; редактировать или обновлять код компонентов; определять вычислительные ресурсы, необходимые для выполнения задач компонента; оптимизировать процесс выполнения моделирования при наличии доступных вычислительных ресурсов (например, по временному фактору). Основные понятия технического уровня: операционная система, язык программирования, объём памяти, количество процессоров, тип параллелизмами. Имеет аналог в WRC.

Связующий уровень содержит понятия, свойства и отношения, традиционно используемые каркасами моделирования для решения следующих задач: определение стандартов соединения компонентов; определение поддерживаемых каркасов моделирования; определение вычислительных характеристик компонента (например, виды пространственных и временных характеристик). Имеет аналог в WRC. Также используются информационные модели проектов Community Surface Dynamics Modeling System (CSDMS) и Open Modeling Interface [15].

Математический уровень предназначен для описания уравнений компонентов, входных и выходных переменных, параметров, математической классификации уравнений и численных методов. Для разработки этого уровня, помимо онтологии WRC, были также использованы: The Mathematical Modelling Ontology [22] и OntoMathPRO [18].

В качестве отправной точки для апробации подхода будет использоваться комплексная модель для расчета изменения гидролого-экологических характеристик устьев рек [8]. Модель позволяет рассчитывать изменения гидролого-экологических характеристик устьев рек и определять интервалы времени, в течение которых значения этих характеристик не выходят за пределы, обусловленные экологическими требованиями. Модель относится к балансовому типу и включает два взаимосвязанных блока – гидрологический и качества воды. Основными переменными и параметрами модели являются:

- объём, площадь водного объекта, уровень воды;
- расходы воды главной реки, притоков, сбросов сточных вод, водозабор, испарения, осадки, расход в смежный водоём (море);
- значения слоя осадков и испарений;
- масса вещества в водном объекте;
- поступление вещества вследствие его преобразования из других веществ или продукции при биохимических процессах;
- расходование вещества вследствие его разложения или потребления организмами;
- убыль вещества на одной из внешних границ водного.

Использование онтологического подхода для моделирования водных объектов Приангарья

Уровень единиц измерения основан на известных онтологиях Semantic Web for Earth and Environment Technology (SWEET) [20] и Units of Measurement Ontology [23]. Суммарно эти онтологии содержат более 6000 понятий. На текущем этапе реализации проекта в КМ КОСМ добавлены только имеющие отношение к водным ресурсам единицы измерения и связанные с ними понятия верхнего уровня. Не имеет аналога в WRC.

Сценарный уровень является наиболее оригинальным и должен, в том числе, содержать описание особенностей интеллектуального и математического моделирования уникальных сложных объектов. На данный момент этот уровень находится в стадии активной разработки; рассматриваются следующие типы сценариев: изменение значений входных переменных и изменение значений параметров.

Предметный уровень фактически представляет собой онтологию водных ресурсов. Для её создания источниками исходной информации по водному объекту, его водосбору, видам воздействия и связанной с ними хозяйственной и иной деятельности являются:

- данные справочной литературы;
- официальные источники информации (реестры и кадастры, фонды и банки данных и т.п.);
- публикации в монографиях, журналах и на веб-ресурсах, содержащие результаты ранее проведенных изыскательских и научно-исследовательских работ по изучению водосборной территории и водных ресурсов, включая данные мониторинга;
- информационные модели (онтологии), посвященные водным ресурсам.

Для создания множества понятий и отношений первого варианта предметного уровня КМ КОСМ за основу были взяты классические монографии и современные учебники по оценке качества природных вод [2, 3, 5-7, 11], а также характеристики используемой балансовой гидро-экологической модели [8]. Пример пользовательского интерфейса для редактирования понятий КМ КОСМ представлен на рисунке 1.

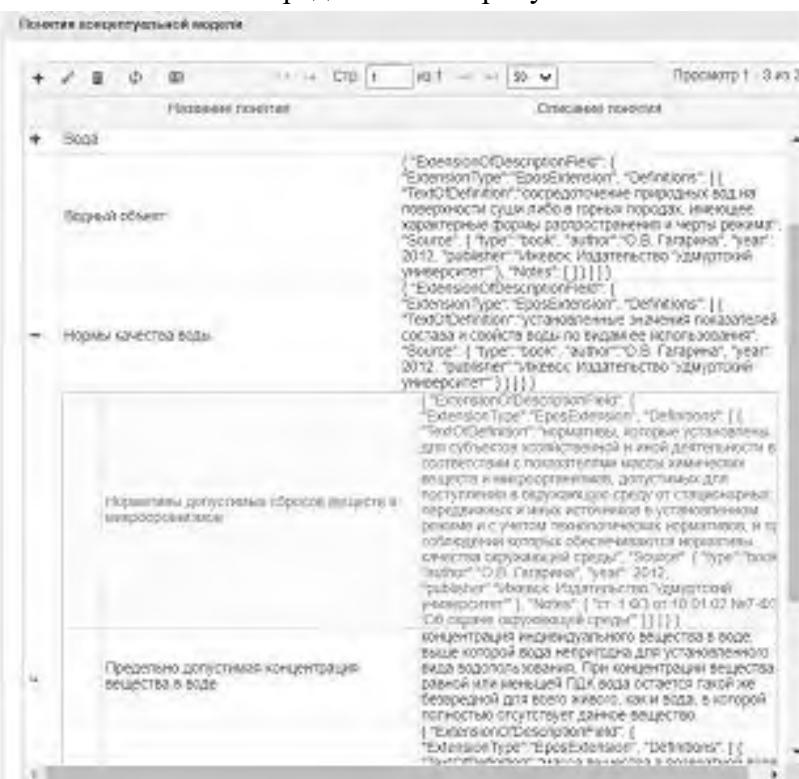


Рис. 1. Фрагмент предметного уровня КМ КОСМ в пользовательском редакторе

Среди прочих источников информации выделяется ЕСИМО [9] – межведомственная информационная система для доступа к ресурсам морских информационных систем и комплексного информационного обеспечения морской деятельности. Эта система предоставляет открытый доступ к большому количеству информации по гидрологии рек (характерные уровни воды, ежедневные расходы воды), оперативных данных метеонаблюдений и обобщенных метеорологических параметров для регионов России (в основном для Дальнего Востока).

Заключение. На основе анализа современного состояния и проблем в области поддержки сценарного моделирования сложных объектов окружающей среды на примере водных объектов выявлены два основных подхода, к которым можно свести существующие решения: традиционный (целостный) и компонентно-ориентированный. Последний подход выбран за основу для интеграции математических моделей и программных модулей, используемых в процессе поддержки сценарного моделирования. Для преодоления имеющихся проблем, возникающих в ходе применения компонентно-ориентированного подхода и связанных, прежде всего, с различными типами несогласованностей в процессе интеграции компонентов, предлагается использование онтологий. Информация из существующих онтологий, связанных с тематикой исследований, использована для разработки прототипа концептуальной модели компонентно-ориентированного сценарного моделирования, включающая следующие 7 уровней: ресурсный, технический, связующий, математический, единиц измерения, предметный, сценарный.

С использованием предложенной концептуальной модели на первом этапе процесса сценарного моделирования водных объектов будут описаны вычислительные компоненты системы. На последующих этапах на основе этой информации с использованием базы знаний будут осуществляться содержательная интеграция компонентов и формирование технического задания в соответствии с требованиями используемого каркаса моделирования.

Исследование выполнено при частичной финансовой поддержке РФФИ и Правительства Иркутской области в рамках научного проекта № 20-47-380001.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бульон В.В. Фосфорный бюджет озера Байкал и водохранилищ Ангарского каскада: моделирование, реконструкция и прогноз // Доклады Академии наук. 2018. Т. 480. № 2. С. 244–246.
2. Владимиров А.М., Орлов В.Г. Охрана и мониторинг поверхностных вод суши. Учебник. СПб.: РГГМУ. 2009. 220 с.
3. Гагарина О.В. Оценка и нормирование качества природных вод: критерии, методы, существующие проблемы: Учебно-методическое пособие. Ижевск: Издательство «Удмуртский университет». 2012. 199 с.
4. Информация о состоянии загрязнения окружающей среды на территории деятельности «Иркутского УГМС». Режим доступа: <https://www.irmeteo.ru/index.php?id=5> (дата обращения 18.09.2020).
5. Карапашев А.В. Методические основы оценки и регламентирования антропогенного влияния на качество поверхностных вод. Ленинград: Гидрометеоиздат. 1987. 285 с.
6. Карапашев А.В. Речная гидравлика. Курс общей и специальной гидравлики для гидрологов. Ленинград: Гидрометеоиздат. 1969. 416 с.

7. Клейн М.В. Некоторые проблемы методического и метрологического обеспечения контроля качества водных ресурсов // Окружающая среда и устойчивое развитие регионов: новые методы и технологии исследования: труды. Казань: Изд-во. Казан. гос. ун-т. 2009. Т. 4. С. 121-124.
8. Михайлов В.Н. Гидрология устьев рек. М.: Изд-во МГУ. 1998. 176 с.
9. Портал Единой государственной системы информации об обстановке в Мировом океане (ЕСИМО). Режим доступа: <http://portal.esimo.ru/> (дата обращения 18.09.2020).
10. Уровень воды онлайн – Allrivers. Данные с гидропостов в Восточной Сибири. Режим доступа: <https://allrivers.info/region/russia/siberia> (дата обращения 18.09.2020).
11. Филатов Н.Н. Состояние и перспективы исследований гидрофизических процессов и экосистем внутренних водоемов // Фундаментальная и прикладная гидрофизика. 2019. Т.12. №1. С. 3-14.
12. Argent R. An overview of model integration for environmental applications – Components, frameworks and semantics // Environmental Modelling & Software. 2004. Vol. 19. № 3. Pp. 219-234.
13. Dunlap R., Mark L., Rugaber S., Balaji V., Chastang J., Cinquini L., DeLuca C., Middleton D., Murphy S. Earth system curator: Metadata infrastructure for climate modeling // Earth Science Informatics. 2008. № 1. Pp. 131-149.
14. Elag M., Goodall J.L. An ontology for component-based models of water resource systems // Water Resour. Res. 2013. № 49. Pp. 5077-5091.
15. Harpham Q., Hughes A., Moore R.V. Introductory Overview: The OpenMI 2.0 Standard for Integrating Numerical Models // Environmental Modelling & Software. 2019. Vol. 122. 104549. Pp. 1-13.
16. Horsburgh J., Tarboton D., Maidment D., Zaslavsky I. A relational model for environmental and water resources data // Water Resources Research. 2008. Vol. 44. № 5. W05406. Pp. 1-12.
17. Moore R., Hughes A. Integrated environmental modelling: Achieving the vision // Geological Society, London, Special Publications. 2016. Vol. 408. Pp. 17-34.
18. Nevzorova O.A., Zhiltsov N., Kirillovich A., Lipachev E. OntoMathPRO Ontology: A Linked Data Hub for Mathematics // Communications in Computer and Information Science. 2014. Vol. 468. Pp. 105-119.
19. Nikolaychuk O.A., Pavlov A.I., Stolbov A.B. The software platform architecture for the component-oriented development of knowledge-based systems // Proceedings of the 41st International Convention on Information and Communication Technology, Electronics and Microelectronics (MIPRO). 2018. Pp. 1234-1239.
20. Raskin R., Pan M. Knowledge representation in the Semantic Web for Earth and Environmental Terminology (SWEET) // Computers & Geosciences. 2005. Vol. 31. № 9. Pp. 1119-1125.
21. Syvitski J., Hutton E., Peckham S., Slingerland R. CSDMS - A modeling system to aid sedimentary research // Sedimentary Geology. 2011. Vol. 9. № 1. Pp. 4-9.
22. The Mathematical Modelling Ontology. Режим доступа: <https://sourceforge.net/p/mamo-ontology/wiki/Home> (дата обращения 18.09.2020).
23. Units of Measurement Ontology. Режим доступа: <https://github.com/bio-ontology-research-group/unit-ontology> (дата обращения 18.09.2020).

THE ONTOLOGICAL APPROACH APPLICATION FOR INTELLECTUAL SUPPORT OF SCENARIO MODELING OF WATER OBJECTS IN THE ANGARA REGION

Anna A. Lempert

Ph. D., leading researcher, e-mail: lempert@icc.ru,

Alexander B. Stolbov

Ph. D., junior researcher, e-mail: stolboff@icc.ru,

Vladimir V. Kozlov

software developer, e-mail: boba50@mail.ru,

Matrosov Institute for System Dynamics and Control Theory

Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences

134, Lermontov Str., 664033, Irkutsk, Russia.

Annotation. The article discusses the results related to one of the specific tasks of environmental research: scenario modeling of the water resources state. To support scenario modeling, several interrelated ontologies are being developed: an ontology of component-oriented scenario modeling of complex objects containing information about the structure of models and the principles of their construction and an ontology of water objects that utilizes data and knowledge from third-party information models of water resources, as well as based on the analysis of scientific and methodological literature and open sources of monitoring data for water objects of the Irkutsk region. For the approach testing a well-known mathematical model balance model of changes in the hydrological and ecological characteristics of river mouths was chosen.

Keywords: mathematical modeling, scenario analysis, ontologies, Baikal region, water objects

References

1. Bul'on V.V. Fosfornyj byudzhet ozera Bajkal i vodohranilishch Angarskogo kaskada: modelirovanie, rekonstrukciya i prognoz [Phosphorus budget of lake Baikal and reservoirs of the Angara cascade: modeling, reconstruction and forecast] // Doklady Akademii nauk = Proceedings of the Russian Academy of Sciences. 2018. Vol. 480. № 2. Pp. 244-246. (in Russian).
2. Vladimirov A.M.,Orlov V.G. Ohrana i monitoring poverhnostnyh vod sushi. Uchebnik [Protection and monitoring of land surface waters. Textbook]. SPb.: RGGMU, 2009. 220 p. (in Russian).
3. Gagarina O.V. Ocenka i normirovanie kachestva prirodnyh vod: kriterii, metody, su-shchestvuyushchie problemy: Uchebno-metodicheskoe posobie [Assessment and regulation of natural water quality: criteria, methods, existing problems: Training manual]. Izhevsk: Izdatel'stvo «Udmurtskij universitet». 2012. 199 p. (in Russian).
4. Informaciya o sostoyanii zagryazneniya okruzhayushchej sredy na territorii deyatel'nosti «Irkutskogo UGMS» [Information about the state of environmental pollution in the territory of

- Irkutsk Region]. Available at: <https://www.irmeteo.ru/index.php?id=5> (accessed 18.09.2020). (in Russian).
5. Karaushev A.V. Metodicheskie osnovy ocenki i reglamentirovaniya antropogenного влияния на качество поверхностных вод [Methodological bases of assessment and regulation of anthropogenic impact on surface water quality.]. Leningrad: Gidrometeoizdat, 1987. 285 p. (in Russian).
 6. Karaushev A.V. Rechnaya gidravlika. Kurs obshchej i special'noj gidravliki dlya gidrologov [River hydraulics. General and special hydraulics course for hydrologists]. Leningrad: Gidrometeoizdat, 1969. 416 p. (in Russian).
 7. Klejn M.V. Nekotorye problemy metodicheskogo i metrologicheskogo obespecheniya kontrolya kachestva vodnyh resursov [Some problems of methodological and metrological support of water quality control]// Okruzhayushchaya sreda i ustojchivoe razvitiye regionov: novye metody i tekhnologii issledovaniya: Trudy = Environment and sustainable development of regions: new research methods and technologies: proceedings. Kazan': Izd-vo. Kazan. gos. un-t., 2009. Vol. 4. Pp. 121-124. (in Russian).
 8. Mihajlov V.N. Gidrologiya ust'ev rek [Hydrology of river mouths]. M.: Izd-vo MGU, 1998. 176 p. (in Russian).
 9. Portal Edinoj gosudarstvennoj sistemy informacii ob obstanovke v Mirovom okeane (ESIMO) [Portal of the Unified state information system on the situation in the world ocean]. Available at: <http://portal.esimo.ru/> (accessed 18.09.2020). (in Russian).
 10. Uroven' vody onlajn – Allrivers. Dannye s gidropostov v Vostochnoj Sibiri [The water level of online Allrivers. Data from hydro stations in Eastern Siberia]. Available at: <https://allrivers.info/region/russia/siberia> (accessed 18.09.2020). (in Russian).
 11. Filatov N.N. Sostoyanie i perspektivy issledovanij hidrofizicheskikh processov i ekosistem vnutrennih vodoemov [The modern state and perspective investigations of hydrophysical processes and ecosystems of inland waters (a review)] // Fundamentalnaya i prikladnaya hidrofizika = Fundamental and applied hydrophysics. 2019. Vol. 12, № 1. Pp. 3-14. (in Russian).
 12. Argent R. An overview of model integration for environmental applications – Components, frameworks and semantics // Environmental Modelling & Software. 2004. Vol. 19. № 3. Pp. 219-234.
 13. Dunlap R., Mark L., Rugaber S., Balaji V., Chastang J., Cinquini L., DeLuca C., Middleton D., Murphy S. Earth system curator: Metadata infrastructure for climate modeling // Earth Science Informatics. 2008. № 1. Pp. 131-149.
 14. Elag M., Goodall J.L. An ontology for component-based models of water resource systems // Water Resour. Res. 2013. No49. Pp. 5077–5091.
 15. Harpham Q., Hughes A., Moore R.V. Introductory Overview: The OpenMI 2.0 Standard for Integrating Numerical Models // Environmental Modelling & Software. 2019. Vol. 122. 104549. Pp. 1-13.
 16. Horsburgh J., Tarboton D., Maidment D., Zaslavsky I. A relational model for environmental and water resources data // Water Resources Research. 2008. Vol. 44. № 5. W05406. Pp. 1-12.
 17. Moore R., Hughes A. Integrated environmental modelling: Achieving the vision // Geological Society, London, Special Publications. 2016. Vol. 408. Pp. 17-34.

18. Nevzorova O.A., Zhiltsov N., Kirillovich A., Lipachev E. OntoMathPRO Ontology: A Linked Data Hub for Mathematics // Communications in Computer and Information Science. 2014. Vol. 468. Pp. 105-119.
19. Nikolaychuk O.A., Pavlov A.I., Stolbov A.B. The software platform architecture for the component-oriented development of knowledge-based systems // Proceedings of the 41st International Convention on Information and Communication Technology, Electronics and Microelectronics (MIPRO). 2018. Pp. 1234-1239.
20. Raskin R., Pan M. Knowledge representation in the Semantic Web for Earth and Environmental Terminology (SWEET) // Computers & Geosciences. 2005. Vol. 31. № 9. Pp. 1119-1125.
21. Syvitski J., Hutton E., Peckham S., Slingerland R. CSDMS - A modeling system to aid sedimentary research // Sedimentary Geology. 2011. Vol. 9. № 1. Pp. 4-9.
22. The Mathematical Modelling Ontology. Available at: <https://sourceforge.net/p/mamo-ontology/wiki/Home> (accessed 18.09.2020).
23. Units of Measurement Ontology. Available at: <https://github.com/bio-ontology-research-group/unit-ontology> (accessed 18.09.2020).

ОНТОЛОГИЧЕСКИЙ ИНЖИНИРИНГ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ РИСКОВ В ТОПЛИВНО-ЭНЕРГЕТИЧЕСКОМ КОМПЛЕКСЕ

Массель Алексей Геннадьевич

к.т.н., с.н.с. отдела Систем искусственного интеллекта в энергетике,

Институт систем энергетики им. Л.А. Мелентьева СО РАН,

664033г. Иркутск, ул. Лермонтова 130, e-mail: amassel@isem.irk.ru.

Александрович Сергей Александрович

н.с., Институт энергетики НАН Беларуси

г. Минск, Республика Беларусь, e-mail: serje.alex@gmail.com.

Гаськова Дафья Александровна

м.н.с. отдела Систем искусственного интеллекта в энергетике,

Институт систем энергетики им. Л.А. Мелентьева СО РАН,

664033г. Иркутск, ул. Лермонтова 130, e-mail: gaskovada@gmail.com.

Аннотация. В статье приводятся основные этапы онтологического инжиниринга энергетических рисков топливно-энергетического комплекса. Применение онтологий позволяет формализовать доступную информацию, а применение онтологического инжиниринга позволяет структурировать знания о предметной области. Использование онтологий позволяет впоследствии переходить к технологии экспертных систем, что, в свою очередь, должно облегчить процесс поддержки принятия решений. Помимо применения экспертных систем, в статье описывается применение байесовских сетей доверия. Именно совокупность используемых подходов позволяет получить новые результаты. Данная работа выполняется в рамках совместного международного проекта РФФИ и БРФФИ.

Ключевые слова: Онтологии, экспертные системы, оценка рисков, байесовские сети доверия.

Цитирование: Массель А.Г., Александрович С.А., Гаськова Д.А. Онтологический инжиниринг энергетических рисков в топливно-энергетическом комплексе // Информационные и математические технологии в науке и управлении. 2020. № 3 (19). С. 25-33. DOI: 10.38028/ESI.2020.19.3.003.

Введение. Актуальность проблемы обусловлена как важной ролью энергетической безопасности, которую обеспечивает топливно-энергетический комплекс в экономике страны, так и нарастанием количества угроз, приводящих к нарушению безопасности. Под энергетической безопасностью будем понимать состояние защищенности граждан, общества, государства, экономики от угроз дефицита в обеспечении их потребностей в энергии экономически доступными энергетическими ресурсами приемлемого качества, от угроз нарушения бесперебойности энергоснабжения [10].

Одной из ключевых задач исследований в сфере энергобезопасности является анализ возможности возникновения угроз энергетической безопасности, которые определяются как совокупность условий и факторов, создающих экстремальные ситуации в системах топливо-

и энергоснабжения потребителей, представляющих опасность для нормального функционирования этих систем [1, 2].

При формировании перечня возможных чрезвычайных ситуаций, которые приводят к энергетическим рискам, отмечено, что производственно-технологические риски, прежде всего, связаны с высоким уровнем изношенности (моральной и физической) объектов инженерно-энергетических коммуникаций, нерегулярной профилактикой и ремонтом оборудования, что влечет за собой: повышенный расход ресурсов; потери ресурсов; рост числа аварий; неисправность электрооборудования; особенно это характерно для осенне-зимнего периода.

Кроме того, к чрезвычайным ситуациям могут приводить природные явления, такие, как сильный ветер, ледяной дождь, снегопады, наводнения, периоды экстремальной высокой или низкой температуры, грозы. Эти природные явления называются в числе главных причин возникновения аварий в энергосистемах, тепловых трассах, системах водоснабжения и канализации. Они могут повреждать или разрушать инфраструктуру электропередач или снижать ее передающие способности.

Для систематизации информации по рискам, их связи с возможными ЧС и вариантами, превентивными мероприятиями и вариантами оценки ущербов предложено разработать систему соответствующих онтологий, связывающих эти понятия. Ее разработка начата в рамках международного проекта в этом и будет продолжена в следующем году. При разработке системы онтологий авторы опираются на методы и принципы построения онтологического пространства знаний в области энергетики, которые разрабатываются совместно с коллегами – участниками проекта.

Онтологический инжиниринг. В области искусственного интеллекта, в которой развивается понятие онтологии, представление знаний включает извлечение, моделирование и хранение знаний в таком виде, чтобы программы могли их обрабатывать. Чаще всего представление знаний фокусируется либо на формализме представления, либо на информации, которая должна быть закодирована в нем, что обеспечивается инженерией знаний. Онтологию можно рассматривать как одну из моделей представления знаний [3].

Соответствующий выбор формализма представления знаний может упростить решение проблемы. Это означает, что выбор конкретного типа формализмов зависит от типа знания предметной области. Техники представления знаний включают [14, 16]:

- Списки (например, связанные списки, которые используются для представления иерархических знаний).
- Деревья (графический метод представления иерархических знаний).
- Представления на основе правил (используются в конкретных контекстах решения проблем).
- Представления, основанные на логике (могут использовать дедуктивные или индуктивные рассуждения) [13].

Предпосылкой управления знаниями является создание онтологического пространства знаний предметной области – знаний в области энергетики.

Под **онтологическим инжинирингом** понимается процесс проектирования и разработки онтологий, объединяющий две основные технологии проектирования сложных систем – объектно-ориентированный и структурный анализ. Он включает выявление основных классов сущностей (базовых понятий) в описании реальных взаимодействующих

процессов, отношений между этими классами, а также совокупности свойств, которые определяют их изменение и поведение во взаимодействии [5, 8, 10, 12, 15].

Целями онтологического инжиниринга являются: повышение уровня интеграции информации, необходимой для принятия управленческих решений, повышение эффективности информационного поиска, предоставление возможности совместной обработки знаний на основе единого семантического описания пространства знаний.

Теоретическими работами в этой области занимаются Т.А. Гаврилова (Санкт-Петербургская научная школа), С.В. Смирнов (Самарская школа), Л.Р. Черняховская (Уфимская школа), Ю.А. Загорулько (Новосибирская школа), Л.В. Массель (Иркутская школа), В.В. Грибова (Дальневосточная школа) и др. В зарубежных научных трудах онтологическому инжинирингу также уделяется большое внимание, например, [9-10].

При построении онтологического пространства авторами применялся фрактальный подход к структурированию знаний [7], который позволяет объединить онтологии отраслевых систем энергетики, топливно-энергетического комплекса в целом и онтологии энергетических рисков.

Энергетические риски. В ходе работы совместно с белорусскими коллегами был проведен анализ существующих энергетических рисков [8,10]. Сначала была построена метаонтология рисков (рис.1).

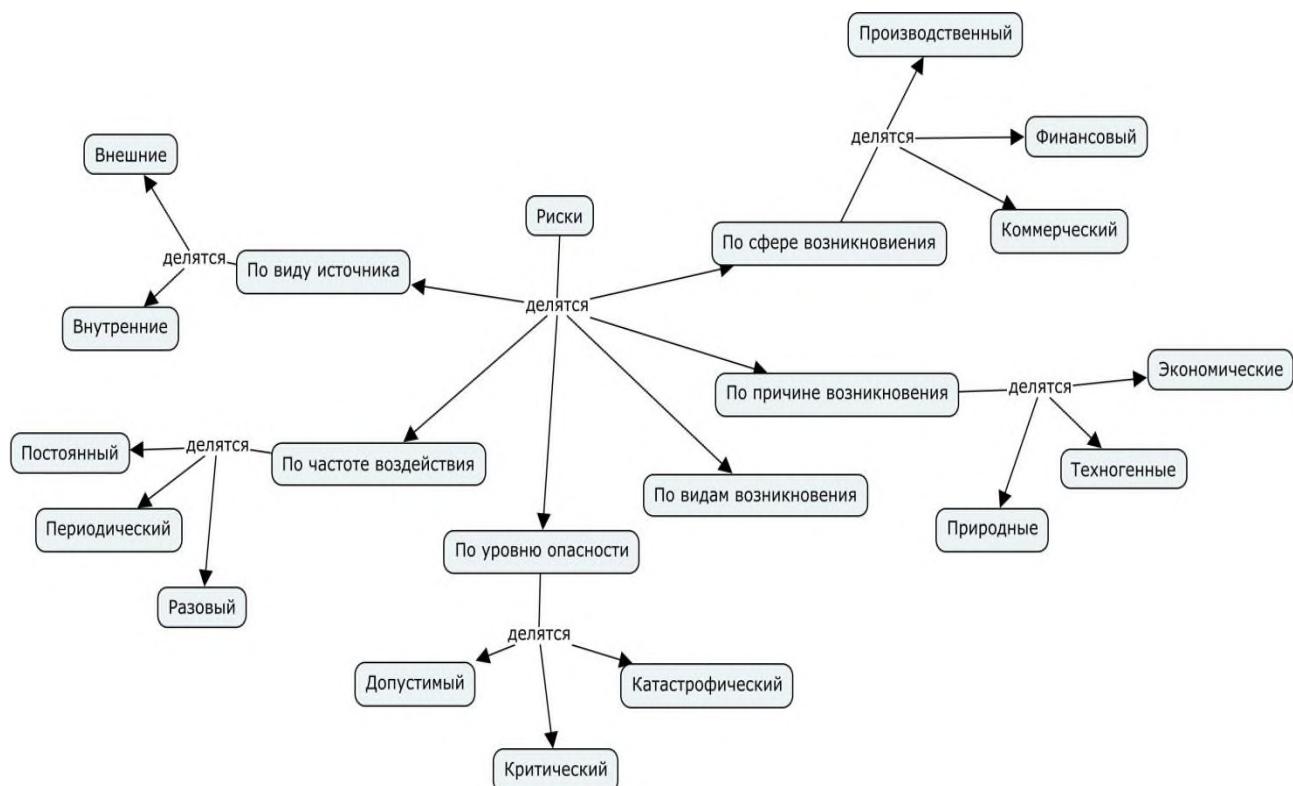


Рис.1. Метаонтология рисков.

На следующем этапе был осуществлен анализ основных групп рисков для рынка энергоресурсов с точки зрения производителя/поставщика энергоресурсов и потребителя энергоресурсов. Результаты анализа представлены в таблице 1.

Таблица 1. Основные группы рисков для рынка энергоресурсов [9,10]

| Риски | Производитель/поставщик энергоресурсов | Потребитель энергоресурсов |
|---------------------|---|---|
| Рыночные | Макро | <ul style="list-style-type: none"> шок снижения цены (резкое падение доходов), неопределенность прогнозов уровня спроса (непредвиденное снижение объемов продаж), неопределенность уровня запасов энергоресурсов (непредвиденное снижение добычи), кредитный риск (дефицит инвестиционных средств), валютный риск (дефицит инвестиционных средств), процентный риск (дефицит инвестиционных средств) |
| | микро | <ul style="list-style-type: none"> обострение конкуренции, слияния, поглощения (большая конкурентная сила, монополизация рынка), технологический прорыв в области альтернативной энергетики (снижение спроса на традиционные источники энергии), производственные риски, трудовые конфликты (приостановки производства, снижение доходов, дополнительные расходы) |
| Политические | | <ul style="list-style-type: none"> непрозрачные экономики-экспортеры энергоресурсов (неопределенность уровня запасов), политические конфликты (разрыв производственной цепочки), террористические акты (разрыв производственной цепочки) |
| Глобальные | | <ul style="list-style-type: none"> изменение климата (труднодоступность месторождений, повышение затрат) |

Далее группы рисков были конкретизированы:

- 1 риски потери тепловой и электрической энергии вследствие неэффективной передачи (риски производственно-технологические характера);
- 2 риск снижения запланированного спроса на электрическую и тепловую энергию;
- 3 риски тарифного регулирования;
- 4 риск невозможности покупки энергоресурсов в необходимых количествах в нужное время (зависимость от доминирующих поставщиков)(характерно для Республики Беларусь);
- 5 ценовые риски (зависимость от колебания закупочных цен на сырье и энергоресурсы);
- 6 риск роста неплатежей потребителей;

- 7 риски дефицита электрической и тепловой энергии вследствие природно-климатических факторов;
- 8 налоговые риски;
- 9 риск дефицита генерирующих мощностей;
- 10 риск перегрузки оборудования электрических сетей (недостаточная пропускная способность).

На основе выполненного анализа принято решение о разработке экспертной системы для оценки энергетических рисков и их влияния на энергетическую безопасность, как основного компонента интеллектуальной системы поддержки принятия решений.

В качестве прототипа экспертной системы предложено использовать разрабатываемую Гаськовой Д.А. под руководством Масселя А.Г. экспертную систему для оценки рисков нарушения кибербезопасности энергетических объектов. При разработке базы знаний экспертной системы, описывающей энергетические риски, будет использована описываемая система онтологий. После замены базы знаний можно будет использовать основные программные компоненты существующей экспертной системы для обработки новой базы знаний.

Методика оценки энергетических рисков. В ходе выполнения работы были выполнены развитие и адаптация авторского риск-ориентированного подхода (существующей методики оценки рисков нарушения кибербезопасности энергетической инфраструктуры) для оценки энергетических рисков и их влияния на ЭБ.

Методика оценки рисков нарушения кибербезопасности энергетической инфраструктуры включает три основных этапа:

1. Описание рисков, которые определяются тройкой $R = \{T, V, D\}$, где T – угрозы, V – уязвимости, D – ущерб при реализации угрозы.

При адаптации методики будут рассмотрены другие угрозы ЭБ, кроме киберугроз; уязвимости соответствуют слабым сторонам энергетической инфраструктуры, которые могут быть повреждены в результате ЧС (реализации угроз); на основании этих повреждений оценивается нанесенный ущерб.

2. Оценивание рисков. На этом этапе предлагается использовать вероятностное моделирование (на основе Байесовских сетей доверия), в этой области у авторов есть существенные результаты. Этот этап практически не требует изменений. Используются два типа оценивания: качественное и количественное. Выполнение качественного оценивания рисков осуществляется с использованием матрицы рисков, где осьми координат являются вероятность наступления риска и уровень ущерба. Количественная оценка выражается в вычислении вероятностного ущерба по формуле:

$R = P_i * D_i$, где P_i – байесовская вероятность i -го последствия, D_i – предполагаемый ущерб при наступлении i -го последствия.

3. Ранжирование активов и выработка рекомендаций. При адаптации методики вместо ранжирования активов будет выполнено ранжирование как ЧС, так и их последствий; предусматривается разработка рекомендаций для каждого класса ЧС (превентивные, оперативные и ликвидационные мероприятия).

На этом этапе планируются адаптация и применение ЭС, в базе знаний которой будет содержаться набор правил, и машина вывода ЭС будет осуществлять вывод рекомендаций на основе существующих правил.

Заключение. В статье рассмотрен онтологический инжиниринг энергетических рисков в топливно-энергетическом комплексе, который, в свою очередь, является первым этапом формализации информации и структурирования знаний для последующих расчётов рисков. За основу были взяты выполненные ранее работы в области исследований проблем энергетической безопасности. Для оценки рисков предложена модифицированная методика оценки рисков нарушения кибербезопасности энергетической инфраструктуры.

Работа выполнена при частичной финансовой поддержке грантов БРФФИ №Т19РМ-025 и РФФИ №19-57-04003; РФФИ № 19-07-00351 и №18-07-00714.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Аршинский, В.Л. Методический подход к событийному моделированию в исследованиях энергетической безопасности // Информационные и математические технологии в науке и управлении: труды XV Байкальской Всерос. конф. Иркутск: ИСЭМ СО РАН. 2010. Ч. II. С. 120-129.
2. Воропай Н.И., Клименко С.М., Ковалев Г.Ф., Криворуцкий Л.Д., Сендеров С.М., Славин Г.Б., Чельцов М.Б. Основные положения и методология мониторинга и индикативного анализа энергетической безопасности России и ее регионов. Иркутск: ИСЭМ СО РАН.1998. 67 с.
3. Гавrilova Т.А., Хорошевский В.Ф. Базы знаний интеллектуальных систем. СпБ: Питер, 2001. 384 с.
4. Ершов,А.Н. К вопросу об энергетической безопасности предприятий топливно-энергетического комплекса // Вестник АГТУ. Сер.: Экономика. 2013. №2. С. 133-137.
5. Концепция энергетической безопасности Республики Беларусь [Электронный ресурс]: утверждена постановлением Совета Министров Республики Беларусь 23 декабря 2015 г. № 1084. // Министерство энергетики Республики Беларусь. Режим доступа: http://minenergo.gov.by/zakonodatelstvo/koncepcii_i_proframmi/ Дата доступа: 20.05.2020
6. Массель Л.В. Онтологический инжиниринг и управление знаниями для поддержки принятия стратегических решений по развитию интеллектуальной энергетики // Труды XX Российской научной конференции “Инжиниринг предприятий и управление знаниями (ИП&УЗ – 2017)”. М.: РЭУ им. Г.В. Плеханова. 2017. С. 59-65.
7. Массель Л.В. Фрактальный подход к структурированию знаний и примеры его применения // Онтология проектирования. 2016. Т. 6. №2 (20). С. 149-161.
8. Риски на рынке энергоресурсов: Классификация, последствия, угрозы. ИФИ, Москва. 2010.
9. Черняховская Л.Р., Федорова Н.И. Ситуационный подход к управлению взаимодействием сложных процессов на основе онтологического инжиниринга. XX Байкальская Всероссийская конференция “Информационные и математические технологии в науке и управлении”: труды. Иркутск: ИСЭМ СО РАН. 2015. Т. 3. С. 166-174.
10. Энергетическая безопасность России / В.В. Бушуев, Н.И. Воропай, А.М. Мастепанов, Ю.К. Шафраник и др. Новосибирск: Наука. Сибирская издательская фирма РАН, 1998. 302 с.
11. De Leenheer P., de Moor A., Meersman R. Context dependency management in ontology engineering: A formal approach, J. Data Semantics (8), 2007. Pp. 26–56.

12. De Moor A., De Leenheer P., Meersman R. DOGMA-MESS: A meaning evolution support system for interorganizational ontology engineering, in: 14th International Conference on Conceptual Structures, ICCS of Lecture Notes in Computer Science, Springer (4068). 2006. Pp. 189–202.
 13. Gavrilova, T., Laird, D., 2005. Practical Design Of Business Enterprise Ontologies // In Industrial Applications of Semantic Web (Eds. Bramer M. and Terzyan V.), Springer. Pp.61-81.
 14. Gruber T.R. A Translational Approach to Portable Ontologies // Knowledge Acquisition. 1993. V. 5. № 2. Pp. 199-220.
 15. Guarino N. Formal Ontology and Information Systems // Proceedings of International Conference of Formal Ontology and Information Systems (FOIS'98). N. Guarino (ed), Trenton, Italy, June 6-8, 1998. Amsterdam: IOS Press, 1998. Pp. 3-15.
 16. Mizoguchi R., Kozaki K, Sano T., KitamuraY. Construction and Deployment of a Plant Ontology // Proceedings of the 12th European Workshop on Knowledge Acquisition, Modeling and Management. 2000. Pp. 113-128.
-

UDK 004.8:620.9

ONTOLOGICAL ENGINEERING OF ENERGY RISKS IN THE FUEL AND ENERGY COMPLEX

Aleksei G. Massel

Ph.D., Senior researcher, Department of Artificial Intelligence Systems
in the Energy Sector, Melentiev Energy Systems Institute
Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences
130, Lermontov Str., 664033, Irkutsk, Russia, e-mail: amassel@isem.irk.ru.

Sergei A. Alexandrovich

Master of Engineering sciences, researcher
Institute of Power Engineering of NAS of Belarus
Minsk, Republic of Belarus, e-mail: serje.alex@gmail.com.

Daria A. Gaskova

Junior researcher, Department of Artificial Intelligence Systems
in the Energy Sector, Melentiev Energy Systems Institute
Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences

130, Lermontov Str., 664033, Irkutsk, Russia, e-mail: gaskovada@gmail.com.

Abstract. The article describes the main stages of ontological engineering of energy risks of the fuel and energy complex. The use of ontologies allows you to formalize the available information, and the use of ontological engineering allows you to structure knowledge about the subject area. The use of ontologies makes it possible to subsequently move to the technology of expert systems, which in turn should subsequently facilitate the process of decision support. In addition to the use of expert systems, the article also describes the use of Bayesian trust networks. It is the combination of the approaches used that makes it possible to obtain new results. This work is being carried out within the framework of a joint international project of the RFBR and the BRFFR.

Keywords: Ontologies, expert systems, risk assessment, Bayesian trust networks.

References

1. Arshinskiy, V.L. Metodicheskiy podkhod k sobytiynomu modelirovaniyu v issledovaniyakh energeticheskoy bezopasnosti [Methodical approach to event-driven modeling in energy security research] // Informatzionnye i matematicheskie tekhnologii v nauke i upravlenii: trudy XV Baykal'skoy Vseros. konf. Irkutsk: ISEM SO RAN = Information and mathematical technologies in science and management: proceedings of the XV Baikal All-Russia. conf. Irkutsk: ISEM SB RAS. 2010. P. II. Pp. 120–129.
2. Voropay N.I., Klimenko S.M., Kovalev G.F., Krivorutskiy L.D., Senderov S.M., Slavin G.B., Chel'tsov M.B. Osnovnye polozheniya i metodologiya monitoringa i indikativnogo analiza energeticheskoy bezopasnosti Rossii i ee regionov [Basic provisions and methodology for monitoring and indicative analysis of energy security in Russia and its regions]. Irkutsk: ISEM SB RAS, 1998. 67 p.
3. Gavrilova T.A., Khoroshevskiy V.F. Bazy znaniy intellektual'nykh system [Knowledge base of intelligent systems]. SpB: Piter, 2001. 384 p.
4. Ershov,A.N. K voprosu ob energeticheskoy bezopasnosti predpriyatiy toplivno-energeticheskogo kompleksa [On the issue of energy security of enterprises of the fuel and energy complex] // Vestnik AGTU. Ser.: Ekonomika. 2013. №2. Pp. 133-137.
5. Kontsepsiya energeticheskoy bezopasnosti Respubliki Belarus' [Elektronnyy resurs]: utverzhdena postanovleniem Soveta Ministrov Respubliki Belarus' 23 dekabrya 2015 g. № 1084. [The concept of energy security of the Republic of Belarus [Electronic resource]: approved by the resolution of the Council of Ministers of the Republic of Belarus on December 23, 2015 № 1084] // Ministerstvo energetiki Respubliki Belarus'. – Rezhim dostupa: http://minenergo.gov.by/zakonodatelstvo/koncepcii_i_proframmi/ Data dostupa: 20.05.2020
6. Massel' L.V. Ontologicheskiy inzhiniring i upravlenie znaniyami dlya podderzhki prinyatiya strategicheskikh resheniy po razvitiyu intellektual'noy energetiki [Ontological engineering and knowledge management to support strategic decision-making on the development of intellectual energy] // Trudy XX Rossiyskoy nauchnoy konferentsii "Inzhiniring predpriyatiy i upravlenie znaniyami (IP&UZ – 2017)". M.: REU im. G.V. Plekhanova = Proceedings of the XX Russian Scientific Conference "Enterprise Engineering and Knowledge Management (IP & UZ - 2017)]. 2017. Pp. 59-65.
7. Massel' L.V. Fraktal'nyy podkhod k strukturirovaniyu znaniy i primery ego pri-meneniya // Ontologiya proektirovaniya [Fractal approach to structuring knowledge and examples of its application] // Ontology of design. 2016. T. 6. №2 (20). Pp. 149-161.
8. Riski na rynke energoresursov: Klassifikatsiya, posledstviya, ugrozy. IFI, Moskva [Risks in the energy market: Classification, consequences, threats. IFI, Moscow] 2010.
9. Chernyakhovskaya L.R., Fedorova N.I. Situatsionnyy podkhod k upravleniyu vzaimodeystviem slozhnykh protsessov na osnove ontologicheskogo inzhiniringa . [A situational approach to managing the interaction of complex processes based on ontological engineering] // XX Baykal'skaya Vserossiyskaya konferentsiya "Informatzionnye i matematicheskie tekhnologii v nauke i upravlenii": trudy. Irkutsk. ISEM SO RAN. = XX Baikal All-Russian Conference "Information and Mathematical Technologies in Science and Management": proceedings. Irkutsk: ISEM SB RAS]. 2015. T. 3. Pp. 66 - 174.

10. Energeticheskaya bezopasnost' Rossii [Energy security of Russia] / V.V. Bushuev, N.I. Voropay, A.M. Masteponov, Yu.K. Shafranik i dr. Novosibirsk: Nauka. Sibirskaya izdatel'skaya firma RAN = Novosibirsk: Science. Siberian Publishing Company RAS]. 1998. 302 p.
11. De Leenheer P., de Moor A., Meersman R. Context dependency management in ontology engineering: A formal approach, J. Data Semantics (8), 2007. Pp. 26-56.
12. De Moor A., De Leenheer P., Meersman R. DOGMA-MESS: A meaning evolution support system for interorganizational ontology engineering, in: 14th International Conference on Conceptual Structures, ICCS of Lecture Notes in Computer Science, Springer (4068). 2006. Pp. 189-202.
13. Gavrilova, T., Laird, D., 2005. Practical Design Of Business Enterprise Ontologies // In Industrial Applications of Semantic Web (Eds. Bramer M. and Terzyan V.)/ Springer. Pp. 61-81.
14. Gruber T.R. A Translational Approach to Portable Ontologies // Knowledge Acquisition. 1993. V. 5. № 2. Pp. 199-220.
15. Guarino N. Formal Ontology and Information Systems // Proceedings of International Conference of Formal Ontology and Information Systems (FOIS'98). N. Guarino (ed), Trenton, Italy, June 6 – 8, 1998. Amsterdam: IOS Press. 1998. Pp. 3-15.
16. Mizoguchi R., Kozaki K, Sano T., KitamuraY. Construction and Deployment of a Plant Ontology // Proceedings of the 12th European Workshop on Knowledge Acquisition, Modeling and Management. 2000. Pp. 113-128.

О ПОСТРОЕНИИ СИСТЕМ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА НА ОСНОВЕ ЭВОЛЮЦИОННОГО РАЗВИТИЯ НАУЧНОГО ЗНАНИЯ

Корольков Борис Петрович

д.т.н., профессор,

e-mail: profkor@gmal.com.

Аннотация. В статье эскизно рассматривается проблема построения системы искусственного интеллекта как ранговой системы обработки знаний. Термодинамический анализ неравновесных (с градиентами потенциалов) объектов разной природы позволяет изучать их эволюцию в рамках явления самоорганизации. Во многом сходное самоструктурирование имеет вид ветвящегося дерева и отражается вербально (в терминах отрасли), образуя её номенклатуру. Назначение чисел, соответствующих номерам рангов и местам выделенных названий внутри рангов, приводит к цифровой модели эволюционирующего образования. Аналогично можно создать цифровые модели других отраслей и их иерархий. На начальном этапе операции цифровизации можно ограничиться трёхмерными матрицами развития, состоящими из ячеек-таксонов. Принят принцип единообразного кодирования в многоэтажных ранговых структурах развития объекта для стандартизации связей баз данных и баз знаний в рамках онтологического подхода. Таким образом, сложная многоотраслевая система выходит на уровень системы ИИ, техническая реализация которой предполагает приложение теории систем и методов системного анализа.

Ключевые слова: синтез системы, неравновесная термодинамика, дерево развития, верbalная и цифровая модель, номенклатура, ранг, матрица, база знаний, онтология, системы искусственного интеллекта.

Цитирование: Корольков Б.П. О построении систем искусственного интеллекта на основе эволюционного развития научного знания // Информационные и математические технологии в науке и управлении. 2020. № 3 (19). С. 34-42. DOI: 10.38028/ESI.2020.19.3.004

Введение. Автор высказывает гипотезу о переходе к системам искусственного интеллекта на основе эволюционного развития научного знания, начиная с многоаспектных философских представлений о спонтанном взаимодействии (самодвижении) конкретных объектов природы со своим внешним окружением под действием естественных факторов наличия у них потенциалов состояний. Эти соображения, носящие общетеоретический характер, положены в основу теории самоорганизации (синергетики) [2]. Принципиальная структура, приводящая к построению систем искусственного интеллекта (ИИ) как поэтапной ранговой системы обработки знаний [9], развивается на основе присущей реальным объектам природы и их моделям свойства *неравновесности*. Показан эволюционный переход от термодинамического базиса теории самоорганизации к системам ИИ. В статье представлены также соображения о применении идеи *многомерной систематики* к ИИ. Аргументация

диктуется попыткой подойти к проблеме с самых общих позиций и опирается, в технических деталях, на работы автора и его учеников, приведенные в списке литературы. Используется одна из форм представления знаний – онтологии, определяющие структуру знаний предметной области. Предполагается, что в перспективе будет возможно ввести гуманитарные знания в арсенал формализованных средств ИИ, т.е. использовать эмоциональный компонент знаний в структуре систем ИИ.

Этап неравновесных термодинамических систем. Теоретическим основанием термодинамической неравновесности можно считать фактор взаимодействия сложных (с градиентами потенциалов, являющихся предпосылками возникновения критических состояний и структурных перестроек) отраслевых объектов разной природы. Проходимый ими путь исторического развития (эволюции) носит признаки синергетической универсальности (общих свойств явления самоорганизации, рис. 1) [2, 9, 12]. Это и в некоторой мере схожее по смыслу таксономическое обособление в отдельных группах локальных образований приводит сверхбольшую многоотраслевую систему к единому, глобально мыслимому объекту – системе ИИ. Его можно синтезировать по общему принципу в других задачах средствами общей теории систем.

Этап отраслевых систематик. В определённой группе таких образований отдельные элементы получили вполне объяснимые в терминах отрасли (*вербальные, словесные*) наименования. Их совокупность на определённом уровне развития сущности образует её *номенклатуру*. Все возможные уровни (ранги) получили свои номенклатуры в терминах *ранговых чисел* [9, рис. 2].

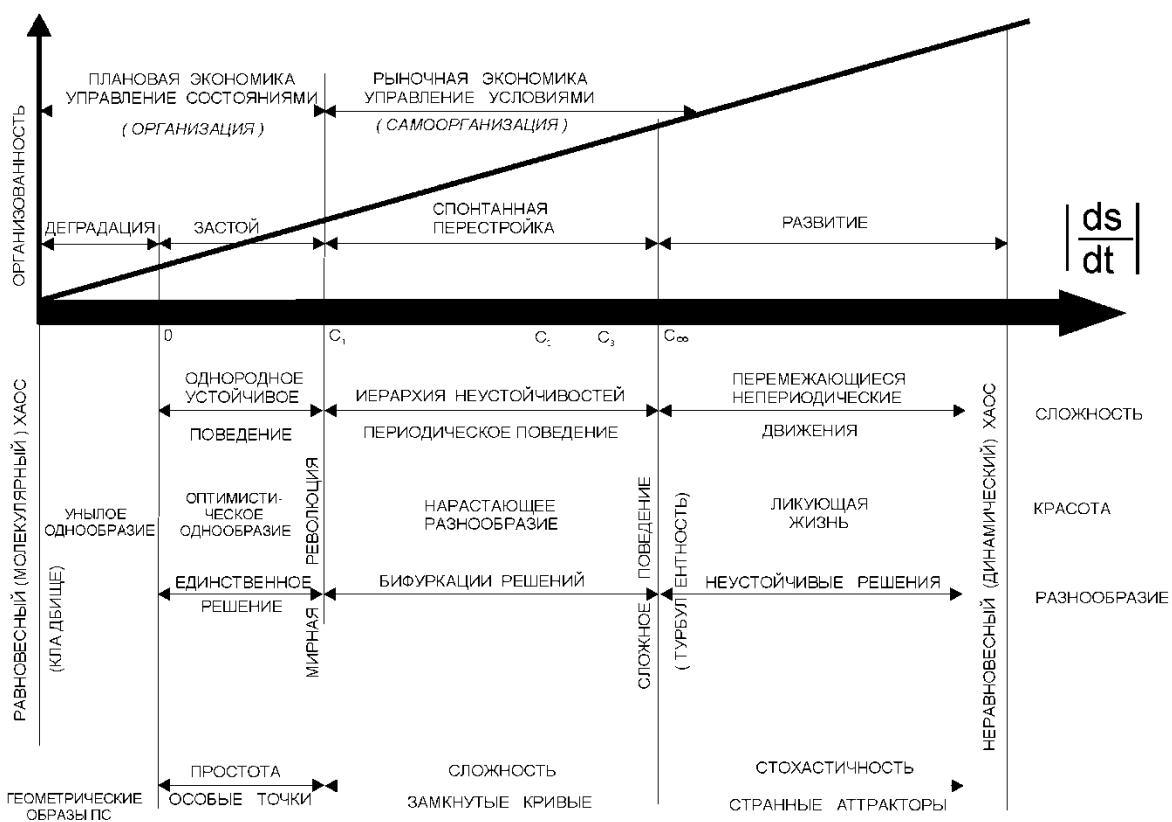


Рис. 1. Термодинамическая интерпретация картины развития структур и состояний

Комментарии к рис. 1:

C_1 – глобальное изменение структуры или поведения системы,

C_i, \dots, C_∞ – точки критических переходов,

C_∞ – точка появления непериодических структур и поведения.

ПС – предельные состояния решений.

Цепочки траекторий развития (эволюции) приобретают вид ветвящегося дерева. Внутри конкретно рассматриваемой *отрасли* набирается «лес» таких деревьев [6, 7]. Их кроны на соответствующих рангах могут быть представлены разрастающимися *матрицами*, адекватными природе своего ранга, – этап формирование разнообразия и натурной терминологии, приводящий к базам и банкам данных.

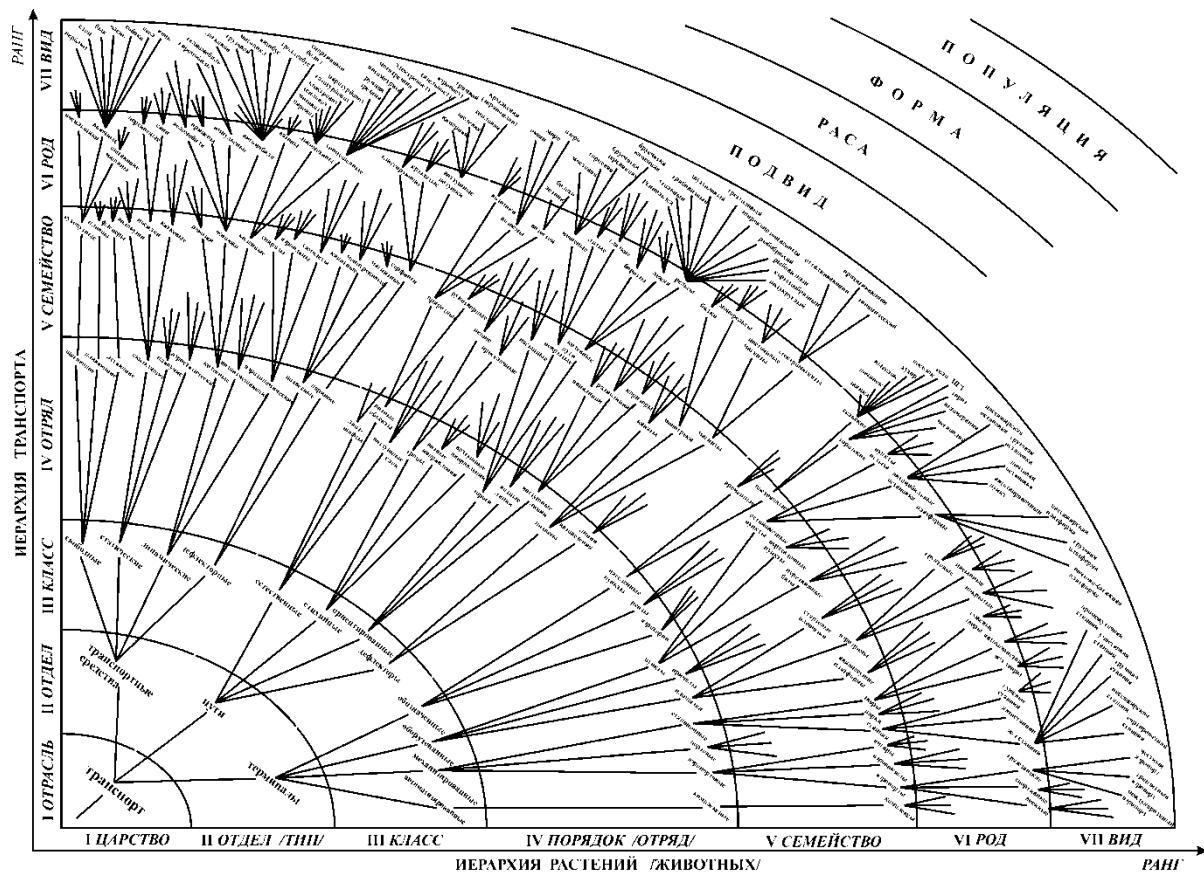


Рис. 2. Плоскостная систематика транспорта (ранги по оси ординат)
и растений (животных) (ранги по оси абсцисс)

Этап информационных систем. Способ уйти от изобилия терминов номенклатурного подхода известен: кодирование, т.е. назначение чисел, соответствующих номерам конкретных рангов и местам выделенных названий в ранге. Такой путь представления конкретики приводит к цифровой модели эволюционирующему образования. В таблице 1 приведено начало систематик ряда отраслей.

Разобщённость в системах кодирования преодолевается единой структурой иерархии отраслей и стандартизацией национальных информационных систем. Это потребовало общности по структуре и содержанию совокупности данных, т.е. универсального кодирования (соответствия между объектом и кодом). Основное требование к структуре кода – обеспечить перспективы построения удобной геоинформационной сети.

Таблица 1. Примеры номенклатур первых матриц ветвей дерева ряда отраслей.

| Отрасль | Наименование первых матриц ветвей дерева | | |
|------------------------|--|-----------------------------------|--|
| <i>Транспорт</i> | Подвижной состав | Пути | Терминалы |
| <i>Энергетика</i> | Энерго-генерирующее оборудование | Линии теплотрасс и электропередач | Электростанции (тепло-, гидро-, АЭС и др.) |
| <i>Растениеводство</i> | Механизмы | Поля | Агропромышленные комплексы |
| <i>Информатика</i> | Аппаратное и программное обеспечение | Сети передачи данных | Информационные центры |
| <i>Наука</i> | Научные коллективы | Конференции, книги, журналы | НИИ, университеты |
| <i>Космос</i> | Ракеты | Траектории, орбиты | Космодромы, орбитальные системы |

Описанную систему универсального кодирования удобно представить в виде трёхмерных матриц систематик типа «дерево» [8]. Такие же деревья можно (и нужно!) построить для других отраслей производства, науки и т.д. на сходных уровнях их развития. Объёмная структура задаёт перспективный путь построения универсальной систематики [6]. Свойства самоорганизации обеспечивают приемлемую их ранговую идентичность (универсальность); рис. 2 демонстрирует это обстоятельство с точностью до терминологии плоскостной (линнеевской) систематики [8, 9].

Кодирование внутри определённой отрасли позволяет на начальном этапе ограничиться наглядными трёхмерными матрицами развития [8]. Трёхмерный объём образуется из ячеек-таксонов, соответствующих выбранной последовательности рангов. Структура матриц на разных рангах повторяет материнскую структуру: крупный – средний – мелкий. Постепенный переход матриц по «стволу» рангов требует (для новых «этажей») принципа единобразия кодирования в каждой избранной трёхранговой структуре переобозначения в схему с ведущим направлением по осям развития объекта [8]. Формирование представления в БД информации на основе универсального кода открывает возможность его распространения на другие отрасли [1, 8, 9].

Активное использование цифровых кодов вместо верbalной (описательной) терминологии для сущностей и связей открывает простор для совершенствования отраслевых информационных систем. При этом речь может идти не только о стандартизации структур и связей традиционных баз данных, но и об активно развивающемся в последние годы направлении баз знаний [3], в рамках которого перспективен онтологический подход [4, 5, 7, 17]. Онтологии, как иерархические концептуальные структуры, близки к систематике предметных областей, причём ранговым уровням выше ОТРАСЛИ (т.е. надстройкам вплоть до уровней общенаучных, философских категорий) отвечают онтологии верхнего уровня.

Онтологии предметной области практически идентичны номенклатуре и связям систематики средних уровней иерархии. Потребности решения в терминах *онтологии практической задачи* обеспечиваются средствами нижних уровней систематики.

Построение систематик и глубина необходимого кодирования рассматриваемого объекта (сущности, отрасли) определяются конкретной целью. Для расширения глубины учёта взаимодействий ветвей одного дерева может потребоваться увеличение мерности его матриц. Это тем более актуально при совместном рассмотрении и моделировании многоотраслевой системы (сложной, большой).

Этап интеграции формального и гуманитарного знаний. Ещё более проблематична интеграция гетерогенного содержания (формализованного и гуманитарного [10]) материала, которая возникает в системе обработки информации с целью использовать эмоциональный компонент человеческого опыта при наработке новых знаний. В перспективе всё это приводит в завершающей стадии к сложной структуре систем ИИ [16] для конкретно рассматриваемой отрасли. Аналогично выполняются синтез и анализ моделей любых больших систем и, в конечном итоге, построение систем ИИ [15].

На рис. 3 показана эволюция научного знания: от синергетики (теории самоорганизации) к системам искусственного интеллекта. По сути, это принципиальная структура, приводящая к формированию системы обработки знаний.

Можно рассматривать ее как технологию формирования системы обработки знаний, (рис. 3), которая предполагает приложение аппарата теории систем к единому объекту, порождённому в результате его эволюционного развития. Такой взгляд на истоки происхождения ИИ и стиль его практического использования [14], по-видимому, существенно отличается от стихийных представлений на ИИ [18], как простой совокупности традиционных цифровых технологий из разных областей знания и практики.

Заключение. В статье на основе глубоких теоретических представлений неравновесной термодинамики о способности реальных систем с градиентами потенциалов показан эволюционный переход к многоярусным цепочкам развития («деревьям») с выработкой в интересах математического моделирования естественной номенклатуры промежуточных названий (таксонов). Углубление информационного подхода потребовало конструировать соответствующие систематики отраслей и кодировать уровни (ранги) эволюции каждого из деревьев. Реализация обобщающей концепции многомерного представления номенклатуры развития привела, с помощью аппарата онтологий, к формированию оригинальной системы ИИ – системы обработки знаний. Интересна, но в этой схеме лишь гипотетична, идея интеграции формализованного и гуманитарного (но структурированного) знания. Логично включить её в системный подход к построению систем ИИ при проработке техники их анализа и синтеза.

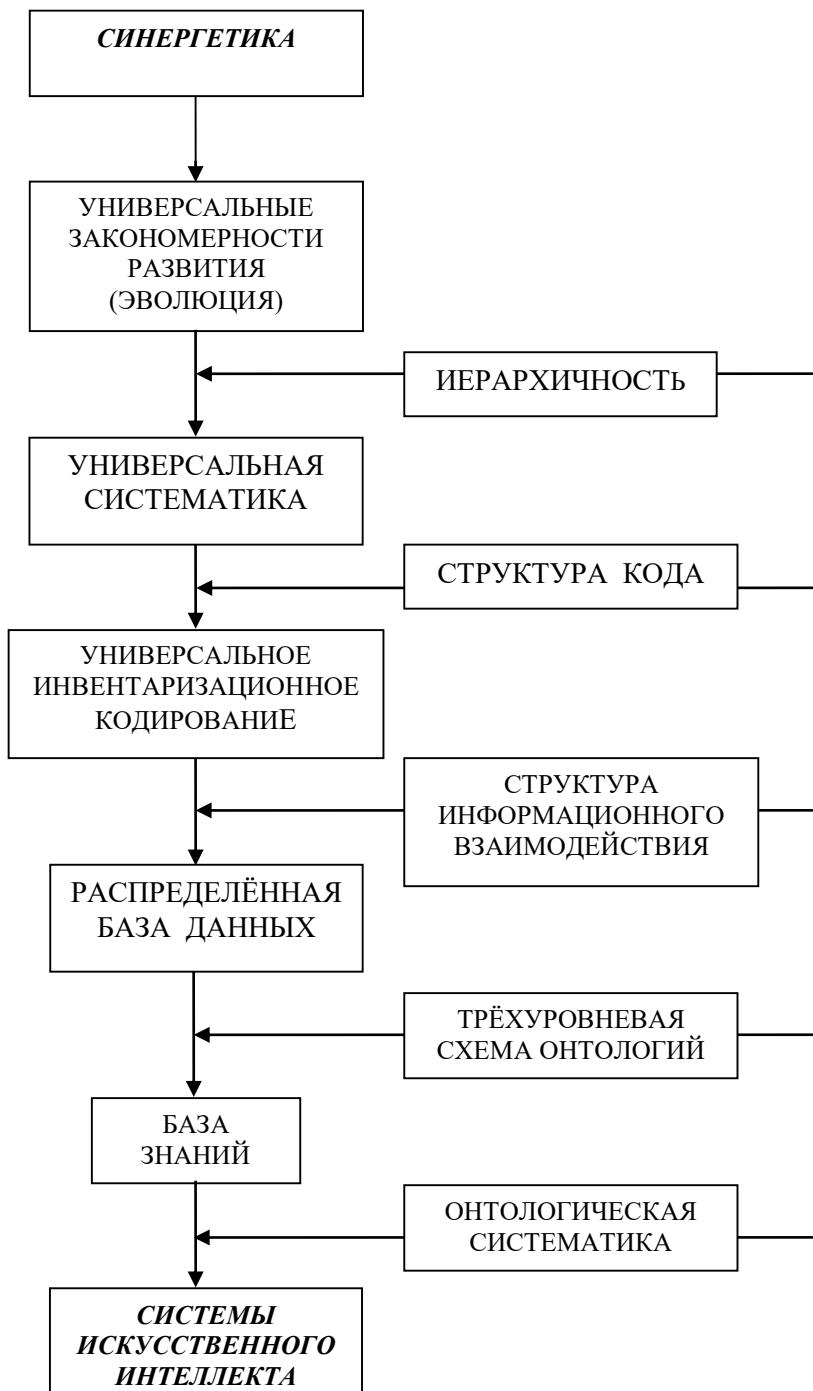


Рис. 3. Эволюция научного знания: от синергетики (теории самоорганизации) к системам искусственного интеллекта

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Вернер М. Основы кодирования: Учебник для вузов. – М.: Техносфера. 2006. 288 с.
2. Волынский А.Л. Самоорганизация материи – универсальное явление природы //Наука в России. 2002. № 3. С. 4-12.
3. Гаврилова Т.А., Хорошевский. В.Ф. Базы знаний интеллектуальных систем: Учебник. – СПб.: Питер. 2001. 384 с.

4. Гаврилова Т.А., Веселова Е.Е. Об одном подходе к созданию атрибутивных онтологий и таксономий // «Системный анализ в проектировании и управлении». Тр. X междунар. науч. практ. конф. Ч. 2. СПб: Изд-во Политех. ун-та. 2006. С. 283-285.
5. Дудакова А.В. Систематика и кодирование в структуре информационного обеспечения контейнерных перевозок. Дисс. уч. степени кандидата техн. наук. Спец. 05.13.01. Системный анализ, управление и обработка информации. Иркутск. 2011.
6. Корольков Б.П. О построении универсальной систематики // Транспорт. Наука, техника, управление. Сб. обзорной информации. ВИНИТИ. 2003. № 10 С. 37-44.
7. Корольков Б.П., Дудакова А.В. Систематика онтологий и структуризация категорий знаний //Мир транспорта. 2010. № 2. С. 20-25.
8. Корольков Б.П. Транспорту мира – единую систему идентификационного кодирования // Вестник ИрГТУ. 2011. № 9. С. 104-115.
9. Корольков Б.П. Универсальности в иерархически структурированных транспортных системах // Транспорт. Наука, техника, управление. Сб. обзорной информации. ВИНИТИ. 2019. № 8. С. 59-63.
10. Корольков Б.П. Мудрость, структурированная словом. Иркутск: ООО «Типография на Чехова». 2020. 748 с. ISBN 978-5-98839-135-7
11. Красиков В.И. Онтологии // Вопросы философии. – 2013. – № 9. – С. 43-51.
12. Ласло Э. Основания трансдисциплинарной единой теории // Вопросы философии. 1997. № 3. С. 80-84.
13. Мешалкин В.П., Панкина Е.А. Методология разработки специализированной онтологии по химической технологии реагентов и очистки веществ // Доклады РАН. 2018. Т. 479. №5. С. 527-531.
14. Осипов Г.С. Методы искусственного интеллекта. М.: Физматлит. 2011. 296 с.
15. Попов Д.В., Абайтуллин А.Г. Информационная технология моделирования сложных систем на основе инженерии знаний (на примере распределённой обработки ПО) //Тр. XII Байкальской Всерос. конф. «Информационные и математические технологии в науке и управлении». Ч. III. Иркутск: ИСЭМ СО РАН. 2007. С. 24-31.
16. Рассел С., Норвиг П. Искусственный Интеллект. Современный подход. Второе издание. Пер. с англ. М.: Издат. дом «Вильямс». 2006. 1408 с.
17. Рубашкин В.Ш. Онтологическая семантика знания. Онтологии. Онтологически ориентированные методы информационного анализа текстов. М.: ФИЗМАТЛИТ. 2013. 348 с.
18. Соколов И.А. Теория и практика применения методов искусственного интеллекта // Вестник РАН. 2019. № 4. С. 365-370.

ON THE CONSTRUCTION OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE SYSTEMS BASED ON THE EVOLUTIONARY DEVELOPMENT OF SCIENTIFIC KNOWLEDGE

Boris P. Korolkov

Doctor of Technical Sciences, professor,
e-mail: profkor@gmal.com.

Abstract. The article outlines the problem of constructing an artificial intelligence system as a ranked knowledge processing system. Thermodynamic analysis of nonequilibrium (with gradients) objects of different nature allows us to study their evolution within the framework of self-organization. Their self-structuring that is similar in many ways looks like a tree and it is described verbally (in terms of branch of knowledge) forming its nomenclature. Introduction of numbers corresponding to the numbers of ranks and the spots of specific names in the ranks leads to a digital model of the evolving entity. Similarly it is possible to build up digital models for other branches. At the initial stage of digitization of branches we can confine ourselves to three-dimensional matrixes of development consisting of cell-taxons. The principle of uniform coding in multilevel rank structures of object evolution for standardization of data base and knowledge base coordination within ontology approach has been accepted. Thus a complicated diversified system reaches the AI level which technical implementation assumes application of the system theory and system analysis techniques.

Key words. Nonequilibrium thermodynamics, evolution tree, verbal and digital model, nomenclature, rank, matrix, knowledge base, ontology, artificial intelligence.

References

1. Verner M. Osnovy kodirovaniya: Uchebnik dlya vuzov [Foundations of coding: Textbook for universities]. M.: Tekhnosfera= Technosphere. 2006. 288p. (in Russian)
2. Volynskiy A.L. Samoorganizatsiya materii – universal'noye yavleniye prirody [Self-organization of matter – a universal phenomenon of nature // Science in Russia]//Nauka v Rossii= Science in Russia. 2002. № 3. Pp. 4-12. (in Russian)
3. Gavrilova T.A., Khoroshevskiy. V.F. Bazy znaniy intellektual'nykh sistem: Uchebnik [Knowledge base of intelligent systems: Textbook]. SPb.:Piter= SPb.:Peter. 2001. 384p.
4. Gavrilova T.A., Veselova Ye.Ye. Ob odnom podkhode k sozdaniyu atributivnykh ontologiy i taksonomiy.// «Sistemnyy analiz v proyektirovaniii i upravlenii». Tr. X mezhdun. nauch. prakt. Konf= "System analysis in design and management". Tr. X int. scientific. practical. conf. Part2. SPb:Izd-vo Politekh. un-ta = SPb: Polytech publishing house. un-ta. 2006. Pp. 283-285. (in Russian)
5. Dudakova A.V. Sistematika i kodirovaniye v strukture informatsionnogo obespecheniya konteynernykh perevozok [Systematics and coding in the structure of information support for container transportation]. Diss. uch. stepeni kandidata tekhn. nauk. Spets. 05.13.01. Sistemnyy analiz, upravleniye i obrabotka informatsii. Irkutsk. 2011. (in Russian)

6. Korol'kov B.P. O postroyenii universal'noy sistematiki //Transport. Nauka, tekhnika, upravleniye. Sbornik obzornoj informatsii= Transport. Science, technology, management. Collection of survey information. VINITI.2003. № 10 Pp. 37-44. (in Russian)
7. Korol'kov B.P., Dudakova A.V. Sistematika ontologiy i strukturizatsiya kategoriy znaniy [Systematics of ontologies and structuring of knowledge categories] //Mir transporta= World of transport. 2010. №. 2. Pp. 20-25. (in Russian)
8. Korol'kov B.P. Transportu mira – yedinuyu sistemу identifikatsionnogo kodirovaniya [World transport - a unified system of identification coding] //Vestnik natsional'nogo issledovatel'skogo Irkutskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta= Bulletin of the National Research Irkutsk State Technical University.2011. № 9. Pp.104-115. (in Russian)
9. Korol'kov B.P. Universal'nosti v iyerarkhicheski strukturirovannykh transportnykh sistemakh [Universality in hierarchically structured transport systems] // Transport. Nauka, tekhnika, upravleniye. Sbornik obzornoj informatsii. VINITI. = Transport. Science, technology, management. Collection of survey information. VINITI. 2019. № 8. Pp. 59-63. (in Russian)
10. Korol'kov B.P. Mudrost', strukturirovannaya slovom [Wisdom structured by the word]. Irkutsk: OOO «Tipografiya na Chekhova» = "Typography on Chekhov". 2020. 748 p. ISBN 978-5-98839-135-7. (in Russian)
11. Krasikov V.I. Ontologii [Ontologies] //Voprosy filosofii= Problems of Philosophy. 2013. № 9. Pp.43-51. (in Russian)
12. Laslo E. Osnovaniya transdistsiplinarnoy yedinoy teorii [Foundations of the transdisciplinary unified theory] //Voprosy filosofii= Problems of Philosophy. 1997. № 3. P.80-84. (in Russian)
13. Meshalkin V.P., Pankina Ye.A. Metodologiya razrabotki spetsializirovannoy ontologii po khimicheskoy tekhnologii reaktivov i ochistki veshchestv [Meshalkin V.P., Pankina E.A. Methodology for the development of a specialized ontology for the chemical technology of reagents and purification of substances] // Doklady RAN. 2018. Vol.479. №5. Pp.527-531.
14. Osipov G.S. Metody iskusstvennogo intellekta [Artificial intelligence methods]. M.: Fizmatlit = Fizmatlit. 2011. 296p. (in Russian)
15. Popov D.V., Abaytullin A.G. Informatsionnaya tekhnologiya modelirovaniya slozhnykh sistem na osnove inzhenerii znaniy (na primere raspredelonnoy obrabotki PO)[Information technology for modeling complex systems based on knowledge engineering (on the example of distributed software processing)] //Tr. XII Baykal'skoy Vseros. konf. «Informatsionnyye i matematicheskiye tekhnologii v nauke i upravlenii» = Tr. XII Baikal All-Russia. conf. "Information and Mathematical Technologies in Science and Management". Part III. Irkutsk: ISEM SO RAN. 2007. Pp.24-31. (in Russian)
16. Rassel S., Norvig P. Iskusstvennyy Intellekt. Sovremennyy podkhod [Intelligence. Modern approach]. Vtoroye izdaniye. Per. s angl. M.: Izdat. dom «Vil'yams»=Publishing house. house "Williams". 2006. 1408p. (in Russian)
17. Rubashkin V.SH. Ontologicheskaya semantika znaniya. Ontologii. Ontologicheski oriyentirovannyye metody informatsionnogo analiza tekstov [Ontological semantics of knowledge. Ontologies. Ontologically oriented methods of information analysis of texts]. M.:FIZMATLIT=FIZMATLIT. 2013. 348p. (in Russian)
18. Sokolov I.A. Teoriya i praktika primeneniya metodov iskusstvennogo intellekta [Theory and practice of using artificial intelligence methods] // Vestnik RAN= Vestnik RAN. 2019. № 4. Pp.365-370. (in Russian)

СВЯЗНОСТЬ ДВИЖЕНИЙ В СИСТЕМАХ С ДИССИПАЦИЕЙ ЭНЕРГИИ: СИСТЕМНЫЕ ПОДХОДЫ

Елисеев Андрей Владимирович

к.т.н., доцент кафедры «Математика»,

Иркутский государственный университет путей сообщения,
664074, г. Иркутск, ул. Чернышевского 15, e-mail: eavsh@ya.ru.

Аннотация. В предлагаемой статье развиваются новые подходы в формировании методологического базиса в технологиях оценки свойств механических диссипативных структур на примерах механических систем с сосредоточенными параметрами, которые используются в качестве расчетных схем технических объектов технологического и транспортного назначения. Рассматриваются особенности формирования состояний во взаимодействиях элементов механических систем. Предлагаются методы оценки свойств механических систем на основе характеристик, зависящих от коэффициентов форм движения парциальных блоков в режиме свободных движений.

Введено понятие функции демпфирования, отражающей особенности соотношения кинетической энергии и функции её рассеяния. В приложении к механическим системам с двумя степенями свободы предложен и разработан алгебраический метод построения соответствующей функции демпфирования, зависящей от коэффициента связности, отражающей динамические особенности механической системы. На модельных примерах показано, что построенная функция демпфирования обладает рядом экстремальных свойств, аналогичных свойствам, рассматриваемым для частотных энергетических функций, используемых в методах структурного математического моделирования. Разработан оригинальный метод построения функции демпфирования для оценки особенностей динамических свойств механических систем с диссипацией энергии, отображающий свойства связности форм свободных движений, вызванных начальными условиями. Установлена зависимость между характеристикой демпфирующих элементов и распределением коэффициентов форм, определяющих экстремальные значения функции демпфирования. Рассмотрен ряд форм функций демпфирования для различных вариантов механических систем, включая предельные параметры, определяющие степень связности движения массоинерционных элементов системы. Приводятся результаты решения на модельных примерах.

Ключевые слова. Механическая система с диссипацией, динамические связи, энергетическая частотная функция, функция демпфирования, системный подход, связность движения элементов, экстремальные свойства.

Цитирование: Елисеев А.В. Связность движений в системах с диссипацией энергии: системные подходы// Информационные и математические технологии в науке и управлении. 2020. № 3 (19). С. 43-56. DOI: 10.38028/ESI.2020.19.3.005.

Введение. Оценке динамических свойств технических объектов, работающих в условиях интенсивных вибрационных нагрузок, уделяется существенное внимание [2, 9-11]. К числу известных подходов можно отнести идеи оценки особенностей динамических свойств систем через отношения потенциальной и кинетической энергии [7, 8]. Использование частотной функции для исследования динамики механических колебательных систем инициировало интерес к расширению области её применения в задачах динамики, ориентированных на учет коэффициентов форм связности движений элементов системы [1, 3-6]. Вместе с тем, методы построения аналога частотной функции для диссипативных систем, в которых отсутствует колебательная форма движения, обладают определенной спецификой, что требует учета ряда особенностей экстремальных свойств функции аналога, зависящей от коэффициентов связности форм движения.

В предлагаемой статье вводится и рассматривается понятие функции демпфирования для диссипативных механических систем по аналогии с частотной функции для колебательных механических систем, зависящей от коэффициента форм связности движения (обозначается α) как отношения координат вектора решения алгебраической системы, построенной на основе уравнений Лагранжа II рода для механической колебательной системы с двумя степенями свободы.

В общем случае, интерес представляет «расширение» области использования частотной функции на механические колебательные системы с диссиляцией энергии в рамках методов структурного математического моделирования механических колебательных систем [2, 6, 10]. Вместе с тем, на предварительном этапе исследования и оценки возможностей частотной функции предпринимается попытка рассмотрения формальной процедуры определения аналога частотной функции, построенной на основе алгебраической модели после введения коэффициента связи между формами движения парциальных систем (или блоков). Для механической системы, совершающей затухающие апериодические движения под действием начальных условий, вводится функция, отображающая свойства форм свободных движений в том, что её экстремальные значения совпадают со значениями коэффициентов затухания форм свободного движения механической системы. Для обозначения построенной функции автором используется термин «функция демпфирования».

Предлагаемая статья посвящена развитию метода оценки свойств механических систем на основе использования энергетических функций, зависящих от коэффициентов форм движения парциальных систем в режиме свободных движений.

1. Общие положения. Постановка задачи. Рассматриваются свободные движения механической системы с двумя степенями свободы с учетом сил вязкого трения. Принципиальная схема системы представлена на рисунке 1.

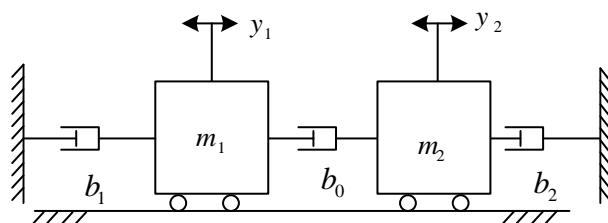


Рис. 1. Механическая система с двумя степенями свободы с учетом сил вязкого трения

Обобщенные координаты y_1, y_2 обозначают положение массо-инерционных элементов m_1, m_2 в системе координат, связанных с неподвижным базисом. Кинетическая энергия, потенциальная энергия и функция рассеяния (или диссипации) энергии имеют вид соответственно:

$$T = \frac{1}{2}m_1\dot{y}_1^2 + \frac{1}{2}m_2\dot{y}_2^2, \quad (1)$$

$$\Pi = 0, \quad (1')$$

$$F = \frac{1}{2}b_1\dot{y}_1^2 + \frac{1}{2}b_0(\dot{y}_2 - \dot{y}_1)^2 + \frac{1}{2}b_2\dot{y}_2^2. \quad (1'')$$

Система уравнений Лагранжа второго рода может быть представлена в виде:

$$\begin{cases} \frac{d}{dt} \frac{\partial T}{\partial \dot{y}_1} + \frac{\partial \Pi}{\partial y_1} + \frac{\partial F}{\partial \dot{y}_1} = 0; \\ \frac{d}{dt} \frac{\partial T}{\partial \dot{y}_2} + \frac{\partial \Pi}{\partial y_2} + \frac{\partial F}{\partial \dot{y}_2} = 0. \end{cases} \quad (2)$$

После подстановки выражений кинетической, потенциальной энергий и функции рассеяния (1'') система дифференциальных уравнений (2) принимает форму:

$$\begin{cases} m_1\ddot{y}_1 + (b_0 + b_1)\dot{y}_1 - b_0\dot{y}_2 = 0; \\ m_2\ddot{y}_2 + (b_0 + b_2)\dot{y}_2 - b_0\dot{y}_1 = 0. \end{cases} \quad (3)$$

Пусть решение $y_1 = y_1(t), y_2 = y_2(t)$ системы (3) представимо в виде:

$$\vec{y} = \vec{Y}e^{pt}, \quad (4)$$

где $\vec{y} = \begin{bmatrix} y_1 \\ y_2 \end{bmatrix}$ - вектор-решение, $\vec{Y} = \begin{bmatrix} Y_1 \\ Y_2 \end{bmatrix}$ - числовой вектор, $p = \sigma + j\omega$ - комплексный

параметр, t - переменная времени. Полагается, что начальные условия согласованы с видом искомого решения (4). Комплексный, в общем случае, параметр p отображает для механической системы собственную форму движения, вызванную начальными условиями. При отсутствии упругих элементов следует ожидать только затухающего апериодического движения. Вместе с тем, в рамках рассмотрения возможности сравнения форм движений для различных условий, включая колебательные движения, мнимая часть формально присутствует в выражении параметра p .

Задача заключается в построении функции, отображающей динамические особенности системы, совершающей свободные движения с учетом сил вязкого трения.

2. Построение энергетической функции затухания. Система (3) в обозначениях (4) может быть представлена в матричном виде:

$$\begin{bmatrix} m_1p^2 + (b_0 + b_1)p & -b_0p \\ -b_0p & m_2p^2 + (b_0 + b_2)p \end{bmatrix} \begin{bmatrix} Y_1 \\ Y_2 \end{bmatrix} = 0. \quad (5)$$

Введём A для обозначения матрицы совокупности массо-инерционных коэффициентов и B - для обозначения матрицы коэффициентов вязкого трения:

$$A = \begin{bmatrix} m_1 & 0 \\ 0 & m_2 \end{bmatrix}, B = \begin{bmatrix} b_0 + b_1 & -b_0 \\ -b_0 & b_0 + b_2 \end{bmatrix}. \quad (6)$$

С учетом обозначений A и B соотношение (5) принимает вид матричного выражения, зависящего от параметра p :

$$(p^2 A + pB)\vec{Y} = 0. \quad (7)$$

Скалярное умножение левой и правой частей равенства (7) на вектор \vec{Y} приводит к выражению:

$$p^2 \langle A\vec{Y}, \vec{Y} \rangle + p \langle B\vec{Y}, \vec{Y} \rangle = 0. \quad (8)$$

Выражение (8) может быть преобразовано к виду, левая часть которого представляет аналог отношения Рэлея в виде отношения квадратичной формы функции рассеяния энергии к квадратичной форме кинетической энергии, а правая часть представляет собой параметр комплексный p :

$$\frac{\langle B\vec{Y}, \vec{Y} \rangle}{\langle A\vec{Y}, \vec{Y} \rangle} = -p. \quad (9)$$

При условии, что $p = \sigma, \omega = 0$ выражение (9) принимает вид:

$$-\frac{\langle B\vec{Y}, \vec{Y} \rangle}{\langle A\vec{Y}, \vec{Y} \rangle} = \sigma. \quad (10)$$

Положим, что для координат вектора \vec{Y} выполнено соотношение связи координат движения:

$$Y_2 = \alpha Y_1, \quad (11)$$

где α - коэффициент формы.

Вектор \vec{Y} может быть представлен в виде:

$$\vec{Y} = Y_1 \vec{\alpha}, \quad (12)$$

где $\vec{\alpha} = \begin{bmatrix} 1 \\ \alpha \end{bmatrix}$ - вектор, определяемый коэффициентом формы α .

После подстановки $\vec{Y} = Y_1 \vec{\alpha}$ в (10) получаем дробно-рациональное выражение:

$$\sigma(\alpha) = -\frac{\langle B\vec{\alpha}, \vec{\alpha} \rangle}{\langle A\vec{\alpha}, \vec{\alpha} \rangle}, \quad (13)$$

которое может быть рассмотрено в качестве определения функции демпфирования $\sigma(\alpha)$, зависящей от коэффициента формы α . Размерность $\sigma(\alpha)$ составляет кг/с .

Для рассматриваемой инерционно-диссипативной механической системы с двумя степенями свободы (рис.1) функция демпфирования определяется после подстановки в (13) массоинерционных коэффициентов и коэффициентов, отражающих силы вязкого трения. Числитель $A_\alpha = \langle A\vec{\alpha}, \vec{\alpha} \rangle$ функции демпфирования $\sigma(\alpha)$ имеет вид:

$$A_\alpha = m_1 + m_2 \alpha^2, \quad (14)$$

где величина A_α имеет размерность массы.

Знаменатель $B_\alpha = \langle B\vec{\alpha}, \vec{\alpha} \rangle$ функции демпфирования принимает вид:

$$B_\alpha = \left\langle \begin{bmatrix} b_0 + b_1 & -b_0 \\ -b_0 & b_0 + b_2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 \\ \alpha \end{bmatrix}, \begin{bmatrix} 1 \\ \alpha \end{bmatrix} \right\rangle = (b_0 + b_2)\alpha^2 - 2\alpha b_0 + b_0 + b_1, \quad (15)$$

где B_α - имеет размерность коэффициента вязкости.

Для системы на рис.1 функция демпфирования может быть представлена в виде дробно-рационального выражения, зависящего от коэффициента формы α :

$$\sigma(\alpha) = \frac{(b_0 + b_2)\alpha^2 - 2ab_0 + b_0 + b_1}{m_1 + m_2\alpha^2}. \quad (16)$$

Конкретная форма функции демпфирования определяется характеристиками элементов рассматриваемой механической системы, совершающей свободные движения под действием начальных условий. К особенностям функции демпфирования можно отнести экстремальные значения и значения, принимаемые при стремлении коэффициента формы α к нулю и бесконечности.

3. Формы функций демпфирования для механических систем. Графики функций диссипации для различных вариантов механических систем с вязким трением определяются значениями масс и коэффициентов вязкого трения соответствующих элементов.

1. Рассматривается частный случай механической системы с двумя степенями свободы (рис. 1). Предполагается, что система принимает свойства $b_1 = 0, b_2 = 0$. Принципиальная схема представлена на рис. 2.

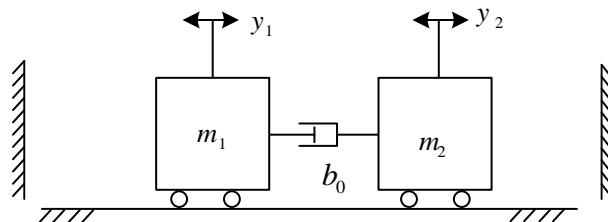


Рис. 2. Принципиальная схема механической системы с диссипативной связью $b_1 = 0, b_2 = 0$. Функция демпфирования принимает вид:

$$\sigma(\alpha) = -\frac{b_0(\alpha - 1)^2}{m_1 + m_2\alpha^2}. \quad (17)$$

Производная соответствующей функции представляется выражением:

$$\sigma(\alpha)' = -\frac{2b_0(\alpha - 1)(m_1 + am_2)}{(m_1 + m_2\alpha^2)^2}. \quad (18)$$

Функция $\sigma(\alpha)'$ (18) обращается в ноль в двух случаях, если форма $\alpha_1^* = -\frac{m_1}{m_2}$ или $\alpha_2^* = 1$. При

условии, что коэффициенты форм принимают значения $\alpha_1^* = -\frac{m_1}{m_2}$ или $\alpha_2^* = 1$,

соответствующие экстремумы функции демпфирования составляют:

$$\sigma(\alpha_1^*) = -\frac{b_0}{M_{\text{пр}}}, \sigma(\alpha_2^*) = 0, \quad (19)$$

где $M_{\text{пр}} = \frac{m_1 m_2}{m_1 + m_2}$ - приведенная масса механической системы.

На рис. 3 приведен график функции демпфирования (17). В точке α_1^* функция $\sigma(\alpha)$ равна коэффициенту затухания $-\frac{b_0}{M_{\text{пр}}}$ собственной (или свободной) формы движения

$\varphi_1(t) = \exp\left(-\frac{b_0}{M_{\text{ПР}}}t\right)$. В точке α_2^* функция затухания равна нулю – коэффициенту затухания свободной формы движения $\varphi_2(t) = 1$ механической системы.

В точках $\alpha_3 = 0$ и $\alpha_4 \rightarrow \infty$ значения функции демпфирования равны парциальным коэффициентам затухания:

$$\sigma(\alpha_3) = -\frac{b_0}{m_1}, \quad \sigma(\alpha_4) = -\frac{b_0}{m_2}. \quad (20)$$

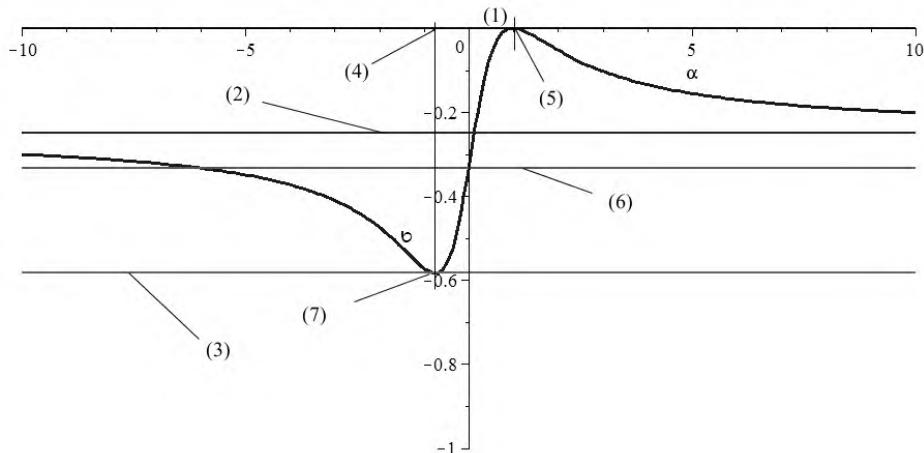


Рис. 3. Функция демпфирования механической системы $b_1 = 0, b_2 = 0, b_0 = 1 \text{ кг/с}, m_1 = 3 \text{ кг.}, m_2 = 4 \text{ кг.}$: (1), (3) – экстремальные уровни, (1), (7) локальные экстремумы, (2),(6) – парциальные коэффициенты затухания

Таким образом, экстремальные значения функции демпфирования $\sigma(\alpha)$, достигаемые в точках $\alpha_1 = -\frac{m_1}{m_2}$ и $\alpha_2 = 1$, совпадают с коэффициентами затухания собственных форм движения системы $\sigma_1 = -\frac{b_0}{M_{\text{ПР}}}$ и $\sigma_2 = 0$. В критических формах движения (ноль и бесконечность) функция демпфирования равна коэффициентам затухания парциальных систем.

2. Рассматривается частный случай системы (рис. 1), обладающей дополнительными свойствами симметрии в виде условий $b_1 = b_2 = b_0 = b, m_1 = m_2 = m$. Расчетная схема представлена на рисунке 4.

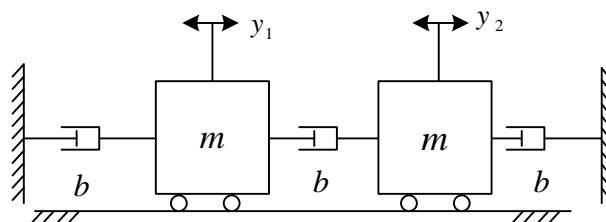


Рис. 4. «Симметричная» механическая система с вязкими связями
Система дифференциальных уравнений (3) имеет вид:

$$\begin{cases} m\ddot{y}_1 + 2b\dot{y}_1 - b\dot{y}_2 = 0; \\ m\ddot{y}_2 + 2b\dot{y}_2 - b\dot{y}_1 = 0. \end{cases} \quad (21)$$

Функция демпфирования для рассматриваемой системы может быть представлена выражением:

$$\sigma(\alpha) = -\frac{2b}{m} \frac{(\alpha^2 - \alpha + 1)}{(1 + \alpha^2)}. \quad (22)$$

Соответствующая производная определяется:

$$\sigma(\alpha)' = -\frac{2b}{m} \frac{(\alpha^2 - 1)}{(1 + \alpha^2)^2}; \quad (23)$$

нули производной функции демпфирования имеют значения $\alpha_1^* = -1$, $\alpha_2^* = 1$. В этих точках функция демпфирования совпадает со значениями коэффициентов затухания σ_1 , σ_2 собственных форм движения $\varphi_1(t) = \exp(-\frac{3b}{m}t)$, $\varphi_2(t) = \exp(-\frac{b}{m}t)$ механической системы:

$$\sigma_1 = \sigma(\alpha_1^*) = -\frac{3b}{m}, \sigma_2 = \sigma(\alpha_2^*) = -\frac{b}{m}. \quad (24)$$

В точках $\alpha_3 = 0$, $\alpha_4 = \infty$ функция затухания принимает значения:

$$\sigma_3 = \sigma(\alpha_3) = -\frac{2b}{m}, \sigma_4 = \lim_{\alpha \rightarrow \infty} \sigma(\alpha) = -\frac{2b}{m}. \quad (25)$$

Величины σ_3 , σ_4 совпадают с парциальными коэффициентами затухания механической системы (3).

На рис. 5 изображена характерная функция затухания, определяющая диссипативные коэффициенты собственных и парциальных движений механической системы.

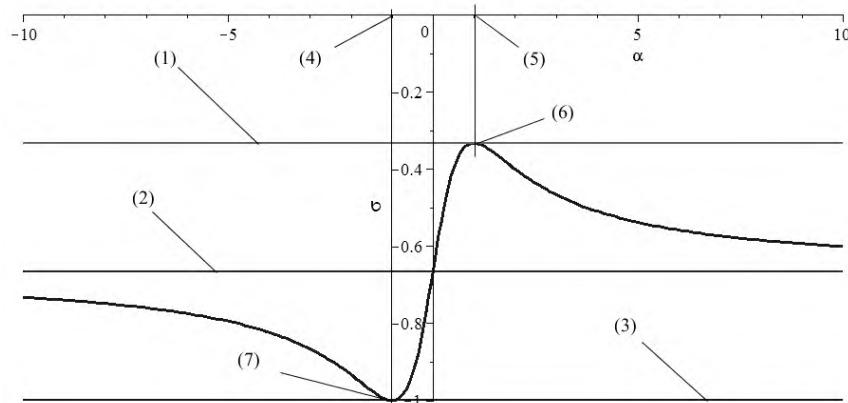


Рис. 5. Функция демпфирования механической системы с условиями

$$b_1 = b_2 = b_3 = b = 1 \text{ кг/с.}, m_1 = m_2 = m_3 = m = 3 \text{ кг}$$

Таким образом, для диссипативной механической системы, достигаемые экстремальные значения функции затухания связаны с коэффициентами затухания собственных движений. В свою очередь, значения функции демпфирования, достигаемые в критических точках (ноль, бесконечность), совпадают с парциальными коэффициентами затухания механической системы.

3. Рассматривается частный случай системы (рис. 1) с учетом «обнуления» вязкой связи с одной из опорных поверхностей, т.е. $b_1 = b_0 = b$, $b_2 = 0$, $m_1 = m_2 = m$. Принципиальная схема представлена на рис. 6.

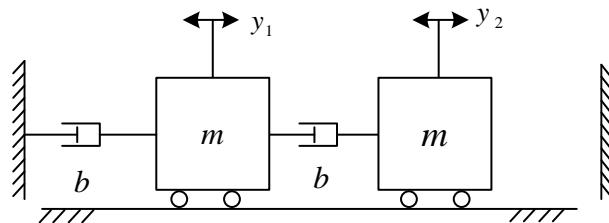


Рис. 6. Инерционно-диссипативная механическая система с «обнужленной» вязкой связью с одной опорной поверхностью

Система дифференциальных уравнений (3) движения механической системы (рис. 6) принимает вид:

$$\begin{cases} m\ddot{y}_1 + 2b\dot{y}_1 - b\dot{y}_2 = 0; \\ m\ddot{y}_2 + b\dot{y}_2 - b\dot{y}_1 = 0. \end{cases} \quad (26)$$

Функция демпфирования имеет вид:

$$\sigma(\alpha) = -\frac{b}{m} \frac{\alpha^2 - 2\alpha + 2}{1 + \alpha^2}. \quad (27)$$

Определим производную $\sigma(\alpha)'$:

$$\sigma(\alpha)' = -\frac{2b}{m} \cdot \frac{\alpha^2 - \alpha - 1}{(1 + \alpha^2)^2}. \quad (28)$$

Экстремальные значения функция демпфирования $\sigma(\alpha)$ принимает в точках α_1^*, α_2^* :

$$\alpha_1^* = \frac{1 - \sqrt{5}}{2}, \quad \alpha_2^* = \frac{1 + \sqrt{5}}{2}. \quad (29)$$

Соответствующие данным коэффициентам форм экстремальные значения функции демпфирования имеют вид:

$$\sigma_1 = \sigma(\alpha_1^*) = -\frac{b}{m} \cdot \frac{5 + \sqrt{5}}{5 - \sqrt{5}}, \quad \sigma_2 = \sigma(\alpha_2^*) = -\frac{b}{m} \cdot \frac{5 - \sqrt{5}}{5 + \sqrt{5}}. \quad (30)$$

Парциальные коэффициенты затухания σ_3, σ_4 , соответствующие предельным значениям $\sigma(\alpha)$ при $\alpha_3 \rightarrow 0, \alpha_4 \rightarrow \infty$, определяются выражениями:

$$\sigma_3 = \sigma(0) = -\frac{2b}{m}, \quad \sigma_4 = \lim_{\alpha \rightarrow \infty} \sigma(\alpha) = -\frac{b}{m}. \quad (31)$$

На рис. 7 изображена функция демпфирования для инерционно-диссипативной системы с параметрами $b = 1 \text{ кг/с.}$, $m = 3 \text{ кг}$.

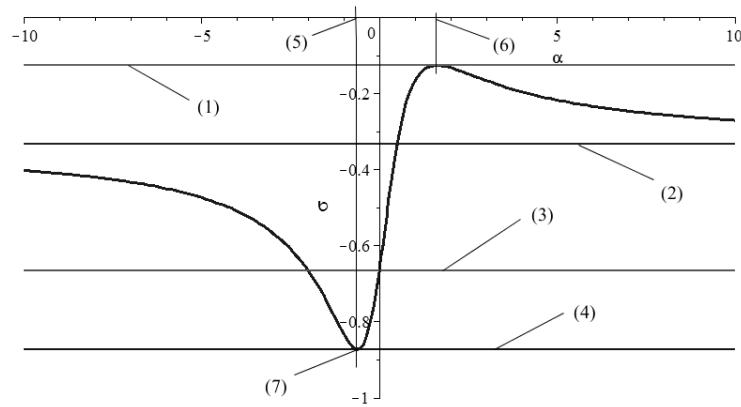


Рис. 7. Функция демпфирования механической системы $b = 1 \text{ кг/с.}$, $m = 3 \text{ кг.}$

4. Особенности отображения функцией демпфирования динамических свойств механических систем для предельных значений параметров.

С точки зрения требований практики интерес представляют возможности расширения области применения функции демпфирования на системы, параметры которых достигают некоторых предельных значений.

Принципиальная схема механической системы (рис. 1) с учетом $b_0 = 0$ представлена на рис. 8.

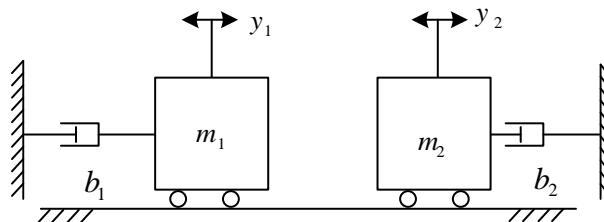


Рис. 8. Принципиальная схема механической системы
с двумя степенями свободы при условии $b_0 = 0$

Функция демпфирования в данном случае принимает вид:

$$\sigma(\alpha) = -\frac{b_2 \alpha^2 + b_1}{m_1 + m_2 \alpha^2}, \quad (32)$$

а её производная по α соответственно:

$$\sigma(\alpha)' = -\frac{2\alpha(b_2 m_1 - b_1 m_2)}{(m_1 + m_2 \alpha^2)^2}. \quad (33)$$

Если $m_2 b_1 = m_1 b_2 = \gamma$, то коэффициенты затухания свободных движений парциальных систем совпадают, а функция демпфирования принимает постоянное значение:

$$\sigma(\alpha) = -\frac{b_1}{m_1} = -\frac{b_2}{m_2}. \quad (34)$$

Если $m_2 b_1 \neq m_1 b_2$, то функция демпфирования монотонна на интервалах $\alpha > 0$ и $\alpha < 0$. При этом:

$$\sigma(0) = -\frac{b_1}{m_1}, \quad \sigma(\alpha) \rightarrow -\frac{b_2}{m_2} \text{ при } \alpha \rightarrow \infty. \quad (35)$$

Если $-\frac{b_1}{m_1} < -\frac{b_2}{m_2}$, то функция демпфирования обладает экстремальными свойствами:

$$\inf_{\alpha} \sigma(\alpha) = -\frac{b_1}{m_1}, \sup_{\alpha} \sigma(\alpha) = -\frac{b_2}{m_2}. \quad (36)$$

На рис. 9 изображена характерная функция демпфирования, соответствующая механической системе с параметрами $b_1 = 1$ кг/с, $b_2 = 2$ кг/с., $m_1 = 3$ кг., $m_2 = 4$ кг.

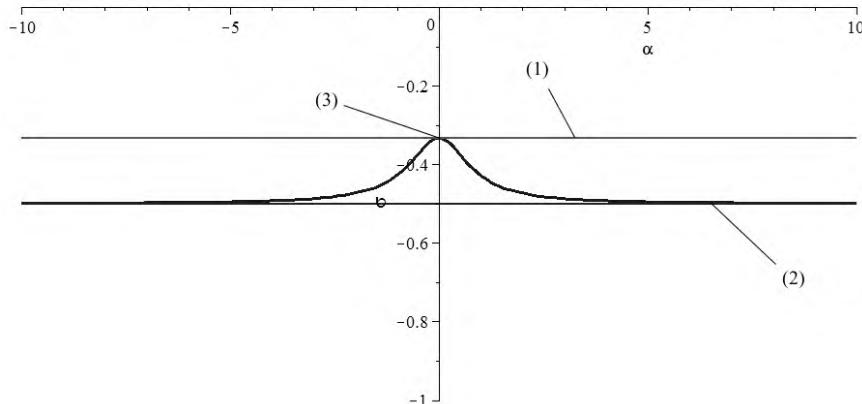


Рис. 9. Функция демпфирования механической системы с параметрами $b_1 = 1$ кг/с, $b_2 = 2$ кг/с., $m_1 = 3$ кг., $m_2 = 4$ кг. : (1), (2) – верхняя и нижняя граница значений функции затухания, (3) – локальный экстремум

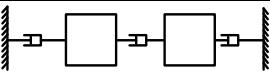
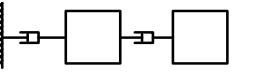
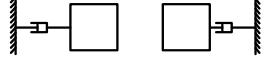
Таким образом, в точках экстремума, включая бесконечность, функция демпфирования достигает значений коэффициентов затухания собственных форм движения механической системы.

5. Функции демпфирования в отображении динамических связей между элементами механической системы.

В таблице 1 представлены характерные варианты функций демпфирования механических систем с двумя степенями свободы для различных значений массоинерционных и диссипативных параметров, определяющих разнообразие динамических связей. В частности, представленные варианты (таблица 1, варианты 1-4) отображают наличие существенной динамической связи между элементами.

Таблица 1. Функции демпфирования механических систем

| Вариант | Параметры | Схема | Функция демпфирования | Коэффициенты затухания парциальных систем |
|---------|--------------------------------|-------|---|--|
| 1 | $b_0, b_1, b_2,$ m_1, m_2 | | $\begin{aligned} \sigma(\alpha) &= \\ &= (b_0 + b_2)\alpha^2 - \\ &= -\frac{-2ab_0 + b_0 + b_1}{m_1 + m_2\alpha^2} \end{aligned}$ | $\begin{aligned} \sigma_3 &= -\frac{b_1 + b_0}{m_1}, \\ \sigma_4 &= -\frac{b_2 + b_0}{m_2}. \end{aligned}$ |
| 2 | $b_1 = 0, b_2 = 0$ | | $\begin{aligned} \sigma(\alpha) &= \\ &= -\frac{b_0(\alpha-1)^2}{m_1 + m_2\alpha^2} \end{aligned}$ | $\sigma_3 = -\frac{b_0}{m_1}, \sigma_4 = -\frac{b_0}{m_2}$ |

| | | | | |
|---|---|---|---|--|
| 3 | $b_1 = b_2 = b_0 = b$, $m_1 = m_2 = m$ |  | $\sigma(\alpha) = -\frac{2b}{m} \frac{(\alpha^2 - \alpha + 1)}{(1 + \alpha^2)}$ | $\sigma_3 = -\frac{2b}{m}, \sigma_4 = -\frac{2b}{m}$ |
| 4 | $b_2 = 0$, $m_1 = m_2 = m$ |  | $\sigma(\alpha) = -\frac{b}{m} \frac{\alpha^2 - 2\alpha + 2}{1 + \alpha^2}$ | $\sigma_3 = -\frac{2b}{m}, \sigma_4 = -\frac{b}{m}$. |
| 5 | $b_0 = 0$ |  | $\sigma(\alpha) = -\frac{b_2\alpha^2 + b_1}{m_1 + m_2\alpha^2}$ | $\sigma_3 = -\frac{b_1}{m_1}, \sigma_4 = -\frac{b_2}{m_2}$ |

Следует отметить, что к свойствам функций демпфирования можно отнести особенности проявления свойств симметрии, выражаемых в терминах четности. К примеру, представленный вариант 5 отражает вид функции демпфирования для вырождающейся диссипативной связи между массоинерционными элементами, что, можно полагать, проявляется в свойстве осевой симметрии функции демпфирования.

В таблице 1 приведены сводные данные для рассмотренных вариантов механических систем, совершающих затухающие движения.

Заключение. По результатам представленных исследований возможны следующие выводы.

1. Предложен и разработан метод построения функции демпфирования, отражающей особенности распределения коэффициентов затухания собственных движений в зависимости от коэффициента связности форм. Функция демпфирования построена на основе алгебраических методов, применяемых к системе дифференциальных уравнений движения механической системы, вызванного начальными условиями.

2. Показано, что построенная функция демпфирования аналогична по своим свойствам частотной энергетической функции, определенной в рамках методов структурного математического моделирования. В качестве свойств, отображающих аналогию между функцией демпфирования и частотной функцией, рассматривается достижение обеими функциями экстремальных значений, совпадающих с характеристиками свободных движений механической системы. Если в случае с частотными функциями такими характеристиками являются частоты собственных гармонических форм колебаний, то в случае с функциями демпфирования экстремумы совпадают с коэффициентами затухания свободных движений в виде экспоненциальных форм.

3. Разработан метод построения энергетической функции затухания для оценки особенностей динамических свойств механических систем с диссипацией, отображающих свойства связности форм апериодических движений элементов.

4. Установлена зависимость распределения коэффициентов форм, определяющих экстремальные значения функции демпфирования, от характеристик демптирующих элементов, соединяющих массоинерционные элементы системы: проведено численное моделирование.

5. Предложенный матричный метод построения функции демпфирования для диссипативной апериодической системы с двумя степенями свободы может быть распространен на механические колебательные системы с элементами диссипации энергии движения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Елисеев А. В. Динамика машин. Системные представления, структурные схемы и связи элементов: монография /А. В. Елисеев, Н. К. Кузнецов, А. О. Московских. // Москва: Инновационное машиностроение. 2019. 381 с.
2. Елисеев С. В. Прикладная теория колебаний в задачах динамики линейных механических систем / Елисеев С. В., Артюнин А. И.- Наука, Новосибирск. 2016. с. 459
3. Елисеев С.В. О возможностях использования дополнительных связей инерционного типа в задачах динамики технических систем / Елисеев С.В., Кузнецов Н.К., Большаков Р.С., Нгуен Д.Х. // Вестник Иркутского государственного технического университета. 2016. № 5 (112). С. 19-36.
4. Елисеев С.В. Определение частот собственных колебаний механических колебательных систем: особенности использования частотной энергетической функции. Часть I. / Елисеев С.В., Большаков Р.С., Нгуен Д.Х., Выонг К.Ч. // Вестник Иркутского государственного технического университета. 2016. № 6 (113). С. 26-33.
5. Елисеев С.В. Определение частот собственных колебаний механических колебательных систем: особенности использования частотной энергетической функции. Часть II. / Елисеев С.В., Большаков Р.С., Нгуен Д.Х., Выонг К.Ч. // Вестник Иркутского государственного технического университета. 2016. № 7 (114). С. 10-23.
6. Елисеев С.В. Прикладной системный анализ и структурное математическое моделирование (динамика транспортных и технологических машин: связность движений, вибрационные взаимодействия, рычажные связи): монография / С.В. Елисеев; отв. ред. А.И. Артюнин. Иркутск: ИрГУПС. 2018. 692 с.
7. Стретт Дж. В. Теория звука. М.: ГИТТЛ. 1955. Т. 1. 503 с.
8. Хоменко А.П. Развитие энергетического метода определения частот свободных колебаний механических систем / Хоменко А.П., Елисеев С.В. // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. 2016. № 1 (49). С. 8-19.
9. Clarence W. de Silva. Vibration. Fundamentals and Practice. Boca Raton, London, New York, Washington, D.C.: CRC Press. 2000. 957 p.
10. Eliseev S.V., Eliseev A.V. Theory of Oscillations. Structural Mathematical Modeling in Problems of Dynamics of Technical Objects. Series: Studies in Systems, Decision and Control, Vol.252, Springer International Publishing. Cham. 2020. 521 p.
11. Karnovsky I.A., Lebed E. Theory of Vibration Protection, Springer International Publishing, Switzerland. 2016. 708 p.

CONNECTIVITY OF MOVEMENTS IN SYSTEMS WITH ENERGY DISSIPATION: SYSTEM APPROACHES

Andrey V. Eliseev

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Mathematics,
Irkutsk State Transport University,
664074, Irkutsk, 15 Chernyshevsky st., e-mail: eavsh@ya.ru.

Abstract. This article develops new approaches to the formation of a methodological basis in technologies for evaluating the properties of mechanical dissipative structures using examples of mechanical systems with concentrated parameters that are used as calculation schemes for technical objects of technological and transport purposes. Features of the formation of States in the interactions of elements of mechanical systems are considered. Methods are proposed for evaluating the properties of mechanical systems based on characteristics that depend on the coefficients of partial block motion forms in the free motion mode.

The concept of the damping function is introduced, which reflects the features of the ratio of kinetic energy and its scattering function. In the application to mechanical systems with two degrees of freedom, an algebraic method is proposed and developed for constructing the corresponding damping function that depends on the connectivity coefficient and reflects the dynamic features of the mechanical system. Model examples show that the constructed damping function has a number of extreme properties similar to those considered for frequency energy functions used in structural mathematical modeling methods. An original method for constructing the damping function for evaluating the features of the dynamic properties of mechanical systems with energy dissipation is developed, which displays the properties of connectivity of free motion forms caused by initial conditions. The dependence between the characteristic of damping elements and the distribution of form coefficients that determine the extreme values of the damping function is established. A number of forms of damping functions for various variants of mechanical systems are considered, including limit parameters that determine the degree of connectivity of the movement of mass-inertia elements of the system. The results of the solution are presented using model examples.

Keyword. Mechanical system with dissipation, dynamic connections, energy frequency function, damping function, system approach, connectivity of element movement, extreme properties

References

1. Eliseev A.V., Kuznecov N. K., Moskovskih A. O. Dinamika mashin. Sistemnye predstavlenija, strukturnye shemy i svjazi jelementov [Dynamics of machines. System representations, structural schemes and connections of elements]. Moskva: Innovacionnoe mashinostroenie = Innovative engineering. 2019. 381 p.
2. Eliseev S. V., Artjunin A. I. Prikladnaja teorija kolebanij v zadachah dinamiki linejnyh mehanicheskikh sistem [Applied theory of vibrations in problems of dynamics of linear mechanical systems]. Novosibirsk: Nauka = Science. 2016. 459 p.

3. Eliseev S.V., Kuznecov N.K., Bol'shakov R.S., Nguen D.H. O vozmozhnostjah ispol'zovanija dopolnitel'nyh svjazej inercionnogo tipa v zadachah dinamiki tehnicheskikh system [On the possibilities of using additional inertial type connections in problems of dynamics of technical systems] Vestnik Irkutskogo gosudarstvennogo tehnicheskogo universiteta = Bulletin of the Irkutsk State Technical University. 2016. № 5 (112). Pp. 19-36.
4. Eliseev S.V., Bol'shakov R.S., Nguen D.H., Vyong K.Ch. Opredelenie chastot sobstvennyh kolebanij mehanicheskikh kolebatel'nyh sistem: osobennosti ispol'zovanija chastotnoj jenergeticheskoy funkci. Chast' I. [Determination of natural oscillation frequencies of mechanical oscillatory systems: features of using the frequency energy function. Part I.] Vestnik Irkutskogo gosudarstvennogo tehnicheskogo universiteta = Bulletin of the Irkutsk State Technical University. 2016. № 6 (113). Pp. 26-33.
5. Eliseev S.V., Bol'shakov R.S., Nguen D.H., Vyong K.Ch. Opredelenie chastot sobstvennyh kolebanij mehanicheskikh kolebatel'nyh sistem: osobennosti ispol'zovanija chastotnoj jenergeticheskoy funkci. Chast' II [Determination of natural oscillation frequencies of mechanical oscillatory systems: features of using the frequency energy function. Part II]. Vestnik Irkutskogo gosudarstvennogo tehnicheskogo universiteta = Bulletin of the Irkutsk State Technical University. 2016. № 7 (114). Pp. 10-23.
6. Eliseev S.V. Prikladnoj sistemnyj analiz i strukturnoe matematicheskoe modelirovanie (dinamika transportnyh i tehnologicheskikh mashin: svjaznost' dvizhenij, vibracionnye vzaimodejstviya, rychazhnye svjazi) [Applied system analysis and structural mathematical modeling (dynamics of transport and technological machines: connectivity of movements, vibration interactions, lever connections)] Irkutsk: IrGUPS = Irkutsk State Transport University. 2018. 692 p.
7. Strett Dzh. V. Teorija zvuka [Theory of sound]. M.: GITTL = State publishing house of technical and theoretical literature. 1955. T. 1. 503 p.
8. Homenko A.P., Eliseev S.V. Razvitie jenergeticheskogo metoda opredelenija chastot svobodnyh kolebanij mehanicheskikh sistem [Development of the energy method for determining the frequencies of free vibrations of mechanical systems] Sovremennye tehnologii. Sistemnyj analiz. Modelirovanie = Modern technologies. System analysis. Modeling. 2016. № 1 (49). Pp. 8-19.
9. Clarence W. de Silva. Vibration. Fundamentals and Practice. Boca Raton, London, New York, Washington, D.C.: CRC Press. 2000. 957 p.
10. Eliseev S.V., Eliseev A.V. Theory of Oscillations. Structural Mathematical Modeling in Problems of Dynamics of Technical Objects. Series: Studies in Systems, Decision and Control, Vol.252, Springer International Publishing. Cham. 2020. 521 p.
11. Karnovsky I.A., Lebed E. Theory of Vibration Protection, Springer International Publishing, Switzerland. 2016. 708 p.

**АНАЛИЗАТОРЫ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ
АВТОМАТИЧЕСКИХ СИСТЕМ С ПИ-РЕГУЛЯТОРОМ
С ПЕРЕМЕННЫМИ ПАРАМЕТРАМИ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ
ЛИНИИ ПЕРЕКЛЮЧЕНИЯ**

Куликов Владимир Валерьевич
аспирант, e-mail: godef@yandex.ru,

Куцый Николай Николаевич

д.т.н., профессор, Институт информационных технологий и анализа данных,
e-mail: kucyinn@mail.ru,

Иркутский национальный исследовательский технический университет,
664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова 83.

Аннотация. Для повышения качества переходных процессов в автоматических системах с запаздыванием, превышающим по значению наибольшее из постоянных времени объекта, используют переключение параметров в ПИ-регуляторе (РПС). Одной из задач, возникающих при промышленной реализации РПС, является определение оптимальных настраиваемых параметров, доставляющих экстремальное значение принятому критерию оптимальности. Так как используется РПС и рассматривается объект с запаздыванием, то использование аналитических подходов для его настройки затруднительно. Это приводит к необходимости применения алгоритмических методов. В основе предлагаемого алгоритма используется градиентная процедура, в которой составляющие градиента вычисляются с помощью функций чувствительности с их известными преимуществами. В данной работе формируются анализаторы чувствительности, которые могут быть основой алгоритмов автоматической параметрической оптимизации (АПО), вычисляющих, исходя из минимума критерия интегрального вида, оптимальный вектор настройки рассматриваемого ПИ-регулятора.

Ключевые слова: ПИ-регулятор, анализатор чувствительности, система с переменной структурой, линия переключения, запаздывание, дискретная система, параметрический синтез

Цитирование: Куликов В. В., Куцый Н. Н. Анализаторы чувствительности автоматических систем с пи-регулятором с переменными параметрами при использовании линии переключения //

Информационные и математические технологии в науке и управлении. 2020. № 3 (19). С. 57-64.

DOI: 10.38028/ESI.2020.19.3.006.

Введение. При синтезе автоматических систем управления объектом с запаздыванием часто используются различные варианты реализации регулятора Смита [9-15], но, как известно, на качество работы таких регуляторов значительно влияет параметрическое несоответствие модели реальному объекту. В статье рассматривается ПИ-регулятор,

относящийся к классу регуляторов с переменной структурой, который позволяет повысить качество переходных процессов в рассматриваемых системах [1-3].

Наличие переключения в исследуемом ПИ-регуляторе позволяет отнести такие автоматические системы к дискретным, что усложняет применение аналитических подходов для получения значений его настроечных параметров. Этот факт обуславливает выбор исследователями приближённых методов, что, в конечном итоге, не позволяет полностью использовать преимущество ПИ-регулятора с переменными параметрами и приводит к необходимости применения алгоритмических методов, в основе которых лежит градиентная процедура. Тем самым необходимы вычисления функций чувствительности, и наиболее распространены методы, имеющие в своей основе сложные модели чувствительности, которые принято называть анализаторами чувствительности [4].

В статье представлена методика построения анализаторов чувствительности на примере одноконтурной автоматической системы управления объектом с большим запаздыванием при использовании РПС.

1. Постановка задачи. Структурная схема рассматриваемой автоматической системы представлена на рис.1.

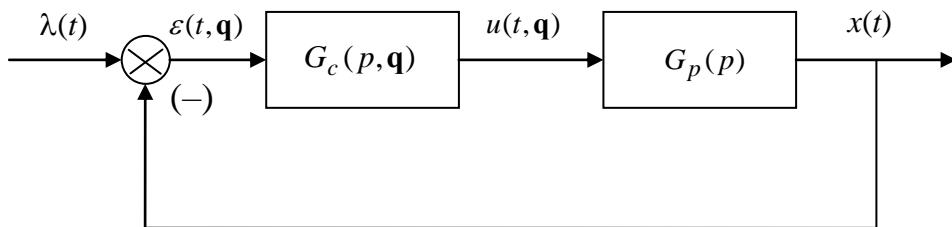


Рис. 1. Структурная схема автоматической системы

Процессы, протекающие в автоматической системе с выбранным РПС при использовании линии переключения, можно описать следующим образом [1-3,7]:

$$\begin{aligned} \varepsilon(t, \mathbf{q}) &= \lambda(t) - x(t), \\ u(t, \mathbf{q}) &= \begin{cases} u_1(t, \mathbf{q}) = \varepsilon(t, \mathbf{q})G_c(p, \mathbf{q}^1) \text{ при } \Psi(t, \mathbf{q}^2) > 0; \\ u_2(t, \mathbf{q}) = \varepsilon(t, \mathbf{q})G_c(p, \mathbf{q}^3) \text{ при } \Psi(t, \mathbf{q}^2) < 0; \end{cases} \\ x(t) &= G_p(p)u(t, \mathbf{q}), \end{aligned} \quad (1)$$

где $\varepsilon(t, \mathbf{q})$ – ошибка системы управления; $\Psi(t, \mathbf{q}^2) = \varepsilon(t, \mathbf{q})(q_5\varepsilon(t, \mathbf{q}) + \dot{\varepsilon}(t, \mathbf{q}))$ – функция переключения (при $q_5\varepsilon(t, \mathbf{q}) + \dot{\varepsilon}(t, \mathbf{q}) = 0$ происходит смена параметров регулятора) [2, 5, 6]; $\mathbf{q} = (\mathbf{q}^1(q_1, q_2), \mathbf{q}^2(q_5), (\mathbf{q}^3(q_3, q_4))$ – вектор настраиваемых параметров; $\lambda(t)$ – задающее воздействие; $u(t, \mathbf{q})$ – воздействие регулятора; $x(t)$ – выходная координата автоматической системы (САУ); $G_c(p, \mathbf{q}^1), G_c(p, \mathbf{q}^3)$ – оператор типового ПИ-регулятора с переменными параметрами; $G_p(p)$ – оператор объекта; $p = d/dt$ – оператор дифференцирования.

Оператором объекта $G_p(p)$ выбрано апериодическое звено второго порядка с запаздыванием, с помощью которого можно описать процессы значительного количества промышленных объектов:

$$G_p(p) = \frac{k_{ob}}{(T_{ob1}p + 1)(T_{ob2}p + 1)} e^{-\tau_{ob}p}, \quad (2)$$

где k_{ob} – статический коэффициент усиления; T_{ob1} , T_{ob2} – постоянные времени; τ_{ob} – время запаздывания. При этом рассматриваются объекты с большим запаздыванием, для которых выполняется условие

$$\frac{\tau_{ob}}{T_{ob\max}} > 1. \quad (3)$$

Перепишем выражение $u(t, \mathbf{q})$ с указанием структур типового ПИ-регулятора :

$$u(t, \mathbf{q}) = \begin{cases} u_1(t, \mathbf{q}) = \varepsilon(t, \mathbf{q})(q_1 + \frac{q_2}{p}) \text{ при } \Psi(t, \mathbf{q}^2) > 0; \\ u_2(t, \mathbf{q}) = \varepsilon(t, \mathbf{q})(q_3 + \frac{q_4}{p}) \text{ при } \Psi(t, \mathbf{q}^2) < 0. \end{cases} \quad (4)$$

В качестве оценки переходного процесса системы (1) используется критерий интегрального вида:

$$I = \int_0^L F(\varepsilon(t, \mathbf{q})) dt, \quad (5)$$

где L – верхняя граница интервала интегрирования, определяемая исходя из длительности переходного процесса в исследуемой САУ; F – выпуклая положительно определяемая функция.

2. Построение анализаторов чувствительности. Как было сказано выше, основу алгоритма АПО составляет градиентная процедура и значит, необходимо вычислять составляющие градиента критерия оптимизации. Эти вычисления осуществляются с привлечением анализаторов чувствительности, сформированных на основе уравнений чувствительности, которые в общем случае для дискретных САУ, и, в частности, для рассматриваемой системы с переменной структурой имеют вид [4,8]:

$$\xi_j(t) = G_p(p) \frac{Du(t, \mathbf{q})}{\partial q_j} = G_p(p) \frac{\partial u(t, \mathbf{q})}{\partial q_j} - \sum_k \Delta u_{t_k} \frac{\partial t_k}{\partial q_j} \delta(t - t_k) G_p(p), \quad (6)$$

$$(k = 0, 1, 2, \dots; j = 1, 2, \dots, 5),$$

где $\frac{D}{\partial q_j}$ – символ обобщённого дифференцирования; Δu_{t_k} – величина скачка управляющего

воздействия в момент его разрыва t_k ; $\delta(t - t_k)$ – дельта-функция, смещенная на время t_k .

Составляющая функций чувствительности, определяемая выражением

$$G_p(p) \frac{\partial u(t, \mathbf{q})}{\partial q_j} \quad (7)$$

представляет собой выходную координату оператора объекта, на входе которого подаются значения производных $\frac{\partial u_1(t, \mathbf{q})}{\partial q_j}, \frac{\partial u_2(t, \mathbf{q})}{\partial q_j}$, переключаемые в соответствии с заданной функцией переключения $\Psi(t, \mathbf{q}^2)$ структур ПИ-регулятора в САУ.

В соответствии с выражением (4) $\frac{\partial u(t, \mathbf{q})}{\partial q_j}$ определяется как

$$\begin{aligned} \frac{\partial u(t, \mathbf{q})}{\partial q_1} &= \begin{cases} \frac{\partial u_1(t, \mathbf{q})}{\partial q_1} = \varepsilon(t, \mathbf{q}) - \xi_1(t)G_c(p, \mathbf{q}^1) \text{ при } \Psi(t, \mathbf{q}^2) > 0; \\ \frac{\partial u_2(t, \mathbf{q})}{\partial q_1} = -\xi_1(t)G_c(p, \mathbf{q}^3) \text{ при } \Psi(t, \mathbf{q}^2) < 0. \end{cases} \\ \frac{\partial u(t, \mathbf{q})}{\partial q_2} &= \begin{cases} \frac{\partial u_1(t, \mathbf{q})}{\partial q_2} = \frac{1}{p}\varepsilon(t, \mathbf{q}) - \xi_2(t)G_c(p, \mathbf{q}^1) \text{ при } \Psi(t, \mathbf{q}^2) > 0; \\ \frac{\partial u_2(t, \mathbf{q})}{\partial q_2} = \frac{1}{p}0(t) - \xi_2(t)G_c(p, \mathbf{q}^3) \text{ при } \Psi(t, \mathbf{q}^2) < 0. \end{cases} \\ \frac{\partial u(t, \mathbf{q})}{\partial q_3} &= \begin{cases} \frac{\partial u_1(t, \mathbf{q})}{\partial q_3} = -\xi_3(t)G_c(p, \mathbf{q}^1) \text{ при } \Psi(t, \mathbf{q}^2) > 0; \\ \frac{\partial u_2(t, \mathbf{q})}{\partial q_3} = \varepsilon(t, \bar{q}) - \xi_3(t)G_c(p, \mathbf{q}^3) \text{ при } \Psi(t, \mathbf{q}^2) < 0. \end{cases} \\ \frac{\partial u(t, \mathbf{q})}{\partial q_4} &= \begin{cases} \frac{\partial u_1(t, \mathbf{q})}{\partial q_4} = \frac{1}{p}0(t) - \xi_4(t)G_c(p, \mathbf{q}^1) \text{ при } \Psi(t, \mathbf{q}^2) > 0; \\ \frac{\partial u_2(t, \mathbf{q})}{\partial q_4} = \frac{1}{p}\varepsilon(t, \mathbf{q}) - \xi_4(t)G_c(p, \mathbf{q}^3) \text{ при } \Psi(t, \mathbf{q}^2) < 0. \end{cases} \\ \frac{\partial u(t, \mathbf{q})}{\partial q_5} &= \begin{cases} \frac{\partial u_1(t, \mathbf{q})}{\partial q_5} = -\xi_5(t)G_c(p, \mathbf{q}^1) \text{ при } \Psi(t, \mathbf{q}^2) > 0; \\ \frac{\partial u_2(t, \mathbf{q})}{\partial q_5} = -\xi_5(t)G_c(p, \mathbf{q}^3) \text{ при } \Psi(t, \mathbf{q}^2) < 0. \end{cases} \end{aligned} \quad (8)$$

Производная $\frac{\partial t_k}{\partial q_j}$ определяется из условия переключения структур ПИ-регулятора в

виде:

$$\Psi(\varepsilon(t_k, \mathbf{q}), t_k(\mathbf{q}), \mathbf{q}) = 0. \quad (9)$$

Дифференцируя условие (9) по неявной переменной q_j , получим:

$$\Psi'_\varepsilon \left[\dot{\varepsilon}(t_k) \frac{dt_k}{dq_j} + \frac{\partial \varepsilon(t_k)}{\partial q_j} \right] + \Psi'_{t_k} \frac{dt_k}{dq_j} + \Psi'_{q_j} = 0, \quad (j=1,2,\dots,5). \quad (10)$$

Выразим $\frac{\partial t_k}{\partial q_j}$ из уравнения (10) с заменой $\frac{\partial \varepsilon(t_k)}{\partial q_j}$ на $\xi_j(t_k)$:

$$\frac{dt_k}{dq_j} = -\frac{\Psi_\varepsilon' \xi_j(t_k) + \Psi_{q_j}'}{\Psi_\varepsilon' \dot{\varepsilon}(t_k) + \Psi_{t_k}'}. \quad (11)$$

Представим выражения для вычисления $\Psi_\varepsilon', \Psi_{t_k}', \Psi_{q_i}'$:

$$\Psi_\varepsilon' = 1(\varepsilon(t, \mathbf{q})q_5 + \dot{\varepsilon}(t, \mathbf{q})) + \varepsilon(t, \mathbf{q})(q_5 + \frac{\partial \dot{\varepsilon}(t, \mathbf{q})}{\partial \varepsilon(t, \mathbf{q})}). \quad (12)$$

$$\Psi_{t_k}' = \dot{\varepsilon}(t_k, \mathbf{q})(\varepsilon(t, \mathbf{q})q_5 + \dot{\varepsilon}(t, \mathbf{q})) + \varepsilon(t, \mathbf{q})(q_5 \dot{\varepsilon}(t_k, \mathbf{q}) + \frac{\partial \dot{\varepsilon}(t_k, \mathbf{q})}{\partial t_k}). \quad (13)$$

$$\Psi_{q_1}' = -(\xi_1(t)(\varepsilon(t, \mathbf{q})q_5 + \dot{\varepsilon}(t, \mathbf{q})) + \varepsilon(t, \mathbf{q})(\xi_1(t)q_5 + \dot{\xi}_1(t))). \quad (14)$$

$$\Psi_{q_2}' = -(\xi_2(t)(\varepsilon(t, \mathbf{q})q_5 + \dot{\varepsilon}(t, \mathbf{q})) + \varepsilon(t, \mathbf{q})(\xi_2(t)q_5 + \dot{\xi}_2(t))). \quad (15)$$

$$\Psi_{q_3}' = -(\xi_3(t)(\varepsilon(t, \mathbf{q})q_5 + \dot{\varepsilon}(t, \mathbf{q})) + \varepsilon(t, \mathbf{q})(\xi_3(t)q_5 + \dot{\xi}_3(t))). \quad (16)$$

$$\Psi_{q_4}' = -(\xi_4(t)(\varepsilon(t, \mathbf{q})q_5 + \dot{\varepsilon}(t, \mathbf{q})) + \varepsilon(t, \mathbf{q})(\xi_4(t)q_5 + \dot{\xi}_4(t))). \quad (17)$$

$$\Psi_{q_5}' = -(\xi_5(t)(\varepsilon(t, \mathbf{q})q_5 + \dot{\varepsilon}(t, \mathbf{q})) + \varepsilon(t, \mathbf{q})(\xi_5(t)q_5 - \varepsilon(t, \mathbf{q}) + \dot{\xi}_5(t))). \quad (18)$$

Полученные выше выражения позволяют сформировать структурную схему анализаторов чувствительности:

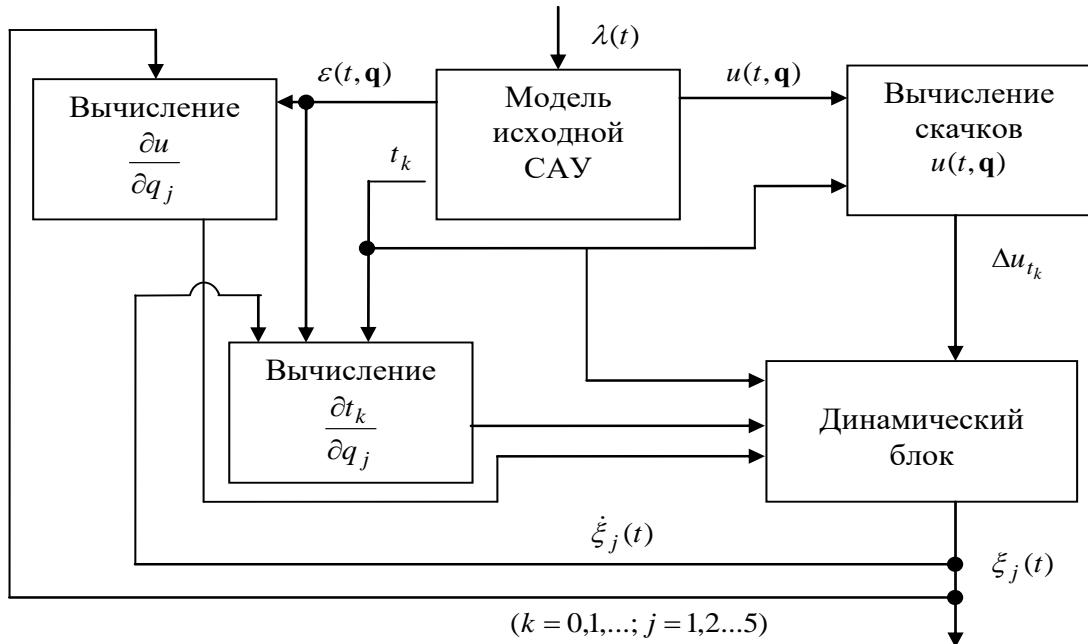


Рис. 2. Структурная схема анализаторов чувствительности

Заключение. В настоящей работе получена структурная схема анализаторов чувствительности, что позволяет перейти к этапу реализации градиентного алгоритма параметрической оптимизации регулятора (4) в исследуемой системе (1).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Говоров А.А. Зонные регуляторы с переменной структурой. Принципы построения, методы анализа и способы реализации. Саарбрюккен: LAP Lambert Academic Publishing, 2014. 124 с.
2. Говоров А.А. Методы и средства построения регуляторов с расширенными функциональными возможностями для непрерывных технологических процессов: дис. д-ра техн. наук: 05.13.06. Москва. 2002. 499 с.
3. Говоров А.А., Баженов В.И. Зонные регуляторы с переменной структурой // Вести высших учебных заведений Черноземья. 2015. № 1. С. 41-47.
4. Городецкий В.И., Захарин Ф.М., Розенвассер Е.Н., Юсупов Р.М. Методы теории чувствительности в автоматическом управлении. Л.: Энергия. Ленинградское отделение. 1971. 344 с.
5. Девятов М.А., Тележин В.Ф. Синтез нелинейных систем управления по структуре фазовых пространств. Методы и алгоритмы анализа и синтеза систем управления с переменной структурой. Саарбрюккен: LAP Lambert Academic Publishing. 2015. 144 с.
6. Дыда А.А., Маркин В.Е. Системы управления с переменной структурой с парными и нелинейно деформируемыми поверхностями переключения // Проблемы управления. 2005. № 1. С. 22-25.
7. Емельянов С.В. Системы автоматического управления с переменной структурой. М.: Наука. 1967. 336 с.
8. Куцый Н.Н. Автоматическая параметрическая оптимизация дискретных систем регулирования: дис. ... д-ра техн. наук: 05.13.06. Иркутск. 1997. 382 с.
9. D. Shinde, S. Hamde and L. Waghmare, "Nonlinear predictive proportional integral controller for multiple time constants", International Journal of Innovative Research in Advanced Engineering, 2014. vol.1. issue 7. Pp.53-58.
10. G. Prakash and V. Alamelumangai, "Design of predictive fractional order PI controller for the quadruple tank process", WSEAS Transactions on Systems and Control. 2015. vol. 10. Pp.85-94.
11. P. Airikka, "Another novel modification of predictive PI controller for processes with long dead time", IFAC Conference on Advances in PID Control, Brescia, Italy, 5 pages, 2012.
12. P. Airikka, "Stability analysis of a predictive PI controller", 21st Mediterranean Conference on Control and Automation. 2013. Pp.1380-1385.
13. P. Airikka, "Robust predictive PI controller tuning", 19th World Congress, IFAC, Cape Town, South Africa. 2014. Pp. 9301-9306.
14. P. Larsson and T. Hagglund, "Comparison between robust PID and predictive PI controllers with constrained control signal noise sensitivity", 2nd IFAC Control Conference on Advances on PID Control, Brescia, Italy. 2012. Pp.175-180.
15. R. Villafuerte, S. Mondié, R. Garrido, Tuning of Proportional Retarded Controllers: Theory and experiments, IEEE Transactions on Control Systems Technology. 2013. Pp. 983-990.

UDK 519.711.2

**SENSITIVITY ANALYZERS
AUTOMATIC SYSTEMS WITH PI CONTROL
WITH VARIABLE PARAMETERS WHEN USE
SWITCHING LINES**

Vladimir V. Kulikov

Postgraduate student, e-mail: godefire@mail.ru,

Nikolay N. Kutsy

Doctor of Technical Sciences, Professor,

Institute of Information Technology and Data Analysis,

e-mail: v20@istu.edu,

Irkutsk National Research Technical University,

str. Lermontov, 83, 664074, Irkutsk.

Abstract. To improve the quality of transient processes in automatic systems with a lag exceeding the largest of the object's time constants, parameter switching in the PI controller (RPC) is used. One of the problems arising in the industrial implementation of the RPS is to determine the optimal tunable parameters that deliver the extreme value to the adopted optimality criterion. Since the RPS is used and an object with a delay is considered, it is difficult to use analytical approaches to adjust it. This leads to the use of algorithmic methods. The proposed algorithm is based on a gradient procedure, in which the components of the gradient are calculated using the sensitivity functions with their known advantages. In this work, sensitivity analyzers are formed, which can be the basis of algorithms for automatic parametric optimization (APO), calculating, based on the minimum of an integral type criterion, the optimal tuning vector of the considered PI controller.

Keywords: PI control, sensitivity analyzer, system with variable structure, switching line, delay, discrete system, parametric synthesis

References

1. Govorov A.A. Zonnye regulatory s peremennoy strukturoy. Printsypr postroeniya, metody analiza i sposoby realizatsii [Zone regulators with variable structure. Construction principles, analysis methods, and implementation methods]. Saarbruecken: LAP Lambert Academic Publishing. 2014. 124 p. (in Russian).
2. Govorov A.A. Metody i sredstva postroeniya reguljatorov s rasshirennymi funkcional'nymi voz-mozhnostyami dlya nepreryvnih tekhnologicheskikh processov [Methods and tools for constructing regulators with extended functional capabilities for continuous technological processes]: dis. ... Dr. Tech. Sciences: 05.13.06. Moscow. 2002. 499 p. (in Russian)
3. Govorov A.A., Bazhenov V.I. Zonnye regulatory s peremennoy strukturoy [Zone regulators with variable structure] // News of higher educational institutions of the Chernozem region. Publishing house Lipetsk state technical University. 2015. № 1. C. 41-47. (in Russian).

4. Gorodeckij V.I., Zaharin F.M., Rozenvasser E.N., Yusupov R.M. Metody teorii chuvstvitel'nosti v avtomaticheskem upravlenii [Methods of the theory of sensitivity in automatic control]. L.: Energy = Leningrad: Energy. Leningrad branch. 1971. 343 p. (in Russian).
5. Devyatov M.A., Telezhin V.F. Sintez nelineynykh sistem upravleniya po strukture fazovykh prostranstv. Metody i algoritmy analiza i sinteza sistem upravleniya s peremennoy strukturoy [Synthesis of nonlinear control systems based on the structure of phase spaces. Methods and algorithms for analysis and synthesis of control systems with variable structure]. Saarbruecken: LAP Lambert Academic Publishing. 2015. 144 c.
6. Dyda A.A., Markin V.E. Sistemy upravleniya s peremennoy strukturoy s parnymi i nelineyno deformiruemymi poverkhnostyami pereklyucheniya [Variable structure control systems with paired and nonlinearly deformable switching surfaces] // Control sciences. Publishing house V.A. Trapeznikov institute of control sciences of RAS. 2005. № 1. Pp. 22-25. (in Russian).
7. Emelyanov S.V. Sistemy avtomaticheskogo upravleniya s peremennoj strukturoj [Automatic control systems with variable structure]. M.: Nauka = Moscow: Nauka. 1967. 336 p. (in Russian).
8. Kutsy N.N. Avtomaticheskaya parametricheskaya optimizaciya diskretnyh sistem regulirovaniya [Automatic parametric optimization of discrete control systems]: dis. ... Dr. Tech. Sciences: 05.13.06: Irkutsk. 1997. 382 p. (in Russian)
9. D. Shinde, S. Hamde and L. Waghmare, "Nonlinear predictive proportional integral controller for multiple time constants", International Journal of Innovative Research in Advanced Engineering. 2014. vol.1. issue 7. Pp.53-58.
10. G. Prakash and V. Alamelumangai, "Design of predictive fractional order PI controller for the quadruple tank process", WSEAS Transactions on Systems and Control. 2015. vol. 10. Pp.85-94.
11. P. Airikka, "Another novel modification of predictive PI controller for processes with long dead time", IFAC Conference on Advances in PID Control, Brescia, Italy, 5 pages, 2012.
12. P. Airikka, "Stability analysis of a predictive PI controller", 21st Mediterranean Conference on Control and Automation. 2013. Pp. 1380-1385.
13. P. Airikka, "Robust predictive PI controller tuning", 19th World Congress, IFAC, Cape Town, South Africa. 2014. Pp. 9301-9306.
14. P. Larsson and T. Hagglund, "Comparison between robust PID and predictive PI controllers with constrained control signal noise sensitivity", 2nd IFAC Control Conference on Advances on PID Control, Brescia, Italy. 2012. Pp. 175-180.
15. R. Villafuerte, S. Mondié, R. Garrido, Tuning of Proportional Retarded Controllers: Theory and experiments, IEEE Transactions on Control Systems Technology. 2013. Pp. 983-990.

О НЕОБХОДИМОСТИ РАСШИРЕНИЯ ПРОСТРАНСТВА ПЛАНИРОВАНИЯ И ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКИ НА СФЕРУ ТРУДА¹

Любимова Екатерина Владимировна

к.э.н., в.н.с.,

Институт экономики и организации промышленного производства (ИЭОПП) СО РАН,
630090, Новосибирск проспект академика Лаврентьева 17,
e-mail: kat@ieie.nsc.ru.

Аннотация. В программных и обосновывающих документах энергетики сфера труда, как правило, не представлена, хотя труд является экономическим фактором функционирования и эффективности отрасли. Методами системного подхода и экономического анализа проведено исследование тенденций сферы трудовых ресурсов большой энергетики, выявлены несколько её болевых точек, в частности, неблагоприятная динамика отраслевой производительности труда, информационные сложности. Делается вывод о необходимости большего внимания кадрам энергетики – их официальному мониторингу, производительности, обеспечению общедоступности таких данных. Обосновываются предложения: методологию планирования и прогнозирования развития электроэнергетики распространять и на сферу труда, осуществлять управление динамикой его производительности, разделы по труду включать в отчетные и прогнозные документы, в обосновывающие материалы.

Ключевые слова: электроэнергетика, труд, численность занятых, производительность труда, эффективность, учет, планирование.

Цитирование: Любимова Е. В. О необходимости расширения пространства планирования и прогнозирования электроэнергетики на сферу труда //Информационные и математические технологии в науке и управлении. 2020. № 3 (19). С. 65-72. DOI: 10.38028/ESI.2020.19.3.007.

Введение. В электроэнергетике, где осуществляется пятилетнее скользящее планирование, ежегодно для каждого субъекта Федерации и страны в целом утверждаются схема и программа развития электроэнергетики субъекта / Единой энергетической системы. Документы составляются по единой структуре, в которой отсутствует раздел, посвященный трудовым ресурсам, в результате в программных документах тема труда вообще не поднимается. Энергопрограмма страны во всех её версиях эту тему также не затрагивает, равно как и огромное количество аналитического материала, посвященного текущему состоянию и перспективам развития энергетики. Иллюстрацией могут служить ежегодники «ТЭК России», другие бюллетени и сборники Аналитического центра при Правительстве РФ [10], аналитика ИПЦиРЕМ НИУ ВШЭ [12]. Министерство промышленности и энергетики РФ до своего разделения в 2008 г. выпускало статистические сборники «Топливо и энергетика России», которые содержали данные до 2003 г. о численности работников всех отраслей ТЭК. С 2004 г. из сборников исчезли данные о трудовых ресурсах, затем перестали выходить и сами сборники. Нет информации о кадрах и на сайте Минэнерго.

¹ Работа выполнена по плану НИР ИЭОПП СО РАН в рамках приоритетного направления XI.172, проект XI.172.1.1 (0325-2019-0010).

Энергетика предстаёт как, грубо говоря, совокупность машин, механизмов, зданий, сооружений и проводов, призванных обеспечивать потребителей энергией. Однако и трудовые ресурсы являются неотъемлемой частью отрасли, от их количества и качества зависит эффективность её деятельности. Данная работа, не претендующая на всеобъемлемость, посвящена исследованию тенденций сферы трудовых ресурсов большой энергетики в попытке выяснить, всё ли там благополучно до такой степени, что сферу труда можно не затрагивать при обосновании и планировании развития отрасли.

1. Численность и эффективность труда в электроэнергетике. Отслеживание динамики численности занятых в энергетике в постсоветский период наталкивается на ряд объективных статистических трудностей. С 2003 г. сменилась система статистического учета (ОКОНХ² на ОКВЭД³), при этом сама система ОКВЭД изменялась впоследствии два раза – в 2008 и 2017 годах. Если до 2004 года показатели функционирования и развития привычно учитывались по отраслям, то теперь это делается по видам деятельности, и полное соответствие структурных составляющих двух систем учета отсутствует. Электроэнергетике особо не повезло, вместе с теплоэнергетикой она попадала в конгломерат нескольких практически не связанных друг с другом видов деятельности, это, в прежних терминах и с некоторыми оговорками, часть газовой промышленности, водоснабжение и ряд совсем уж экзотических для энергетики видов деятельности типа кондиционирования воздуха и производства льда. При этом состав и нумерация конгломерата менялись вместе со сменой версии ОКВЭД. Проблема заключается в том, что расшифровка статистических данных по подклассам видов деятельности, то есть по структурным составляющим конгломерата, практически перестала приводиться в статистических справочниках.

Помимо пересортировки видов деятельности, несколько раз менялась методика подсчета статистических показателей, что также отразилось на показателях сферы труда. Например, общая по стране среднегодовая численность работников организаций по основному виду экономической деятельности в 2010 году по данным справочников «Труд и занятость в России» (далее ТЗР), выпущенных в разные годы, изменялась в диапазоне 67493–71493 тыс. чел. «Методическое» расхождение в 9,5% для максимально агрегированного показателя по закону больших чисел результируется, для менее агрегированных показателей, в еще большие величины.

Такие сложности не дают выстроить сопоставимый ряд одноименного показателя трудовых ресурсов отрасли, тем более, что с присоединением Крыма изменился и сам объект исследования. Не вдаваясь в тонкости методического содержания, которые могут быть предметом отдельного обширного исследования, мы используем представительные, по нашему мнению, показатели, в точности сохраняя их наименования в официальных статистических справочниках (таблица 1). С введением ОКВЭД данные по промышленно-производственному персоналу (ППП) перестали появляться в справочниках Госкомстата, и мы были вынуждены пользоваться показателем среднегодовой численности работников.

² Общероссийский (или Общесоюзный) классификатор «Отрасли народного хозяйства».

³ Общероссийский классификатор видов экономической деятельности

Таблица 1. Численность трудящихся в электроэнергетике*

| Годы | 1990 | 1993 | 1995 | 1998 | 2000 | 2004 |
|--|--------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| <i>Статистический классификатор</i> | <i>ОКОНХ</i> | | | | | |
| Среднегодовая численность ППП электроэнергетики, тыс. чел. | 545 | 666 | 750 | 842 | 913 | 868 |
| в т.ч. доля рабочих, % | 74,1 | 74,2 | 74,7 | 73,8 | 73,6 | 70,2 |
| <i>Доля среднегодового ППП электроэнергетики в среднегодовой численности занятых страны, %</i> | 0,7 | 0,9 | 1,1 | 1,3 | 1,4 | 1,3 |
| Годы | 2005 | 2008 | 2010 | 2015 | 2018 | |
| <i>Статистический классификатор</i> | <i>ОКВЭД</i> | | | | | |
| Среднегодовая численность работников организаций – производство, передача и распределение электроэнергии, тыс. чел. | 658 | 669 | 702 | 711 | 662 | |

* Источники данных: справочники Российской статистический ежегодник, Промышленность России, Труд и занятость в России. Удельные показатели рассчитаны автором.

Приведенные в таблице 1 статистические данные демонстрируют следующие тенденции численности и структуры трудовых ресурсов электроэнергетики:

- В период 1990-2004 гг. численность трудящихся в электроэнергетике стабильно повышалась до 2001 г. включительно (942 тыс. чел.), затем начала незначительно снижаться. Данные последующего периода несопоставимы с предыдущими по причине введения другого классификатора и изменения методик счета. Однако они демонстрируют устойчиво продолжающийся рост численности занятых в электроэнергетике в период 2005-2015 г. Принятая актуализированная методика расчета баланса трудовых ресурсов существенно изменила все показатели; с 2016 г. преемственность показателей в очередной раз была прервана.
- На фоне падения общей занятости в стране более чем на 10% за 15 постсоветских лет одновременное увеличение численности занятых в электроэнергетике привело к росту доли занятых в отрасли почти в два раза – с 0,7% до 1,3%. В соответствии с обновленной методикой с 2005 г. она незначительно колеблется в районе 1%.
- Соотношение рабочих и служащих в отрасли несущественно менялось до 2000 г., а за следующее пятилетие численность рабочих сократилась на 12%, их места и места в счёт роста общей численности трудящихся заняли служащие. С 2005 г. численность рабочих и служащих по видам деятельности не приводится ни в одном справочнике. Эффективность развития или реформирования отрасли оценивается по многим показателям, одно из главных мест в которых занимает производительность труда.

Данные таблицы 2 показывают значительное падение эффективности труда в электроэнергетике в первые 15 лет постперестроечного периода. Прирост трудоемкости, рассчитанный на единицу установленной мощности, достигал 65%, а производительность труда упала в два раза. Объяснить такую тенденцию только падением электропотребления не удается, так как, например, в 2000 г. по сравнению с 1990 г. генерация при почти неизменном объеме мощностей снизилась на 19%, а трудоемкость выросла втрое больше – на

упомянутые 65%. После 2005 г. ситуация начала выравниваться, но довольно медленно – отраслевая производительность труда поднялась со дна лишь на 20% за три пятилетки.

Таблица 2. Эффективность труда в электроэнергетике*

| Годы | 1990 | 1993 | 1995 | 1998 | 2000 | 2004 |
|---|--------|--------|--------|--------|--------|-------|
| Статистический классификатор | ОКОНХ | | | | | |
| Среднегодовая численность ППП электроэнергетики, тыс. чел. | 545 | 666 | 750 | 842 | 913 | 868 |
| Выработка электроэнергии, млрд кВт.ч | 1082,2 | 956,6 | 860,0 | 826,1 | 876,0 | 932,0 |
| Установленная мощность электростанций, млн КВт | 213,3 | 213,4 | 215,0 | 214,1 | 212,8 | 216,6 |
| Трудоемкость, чел./МВт | 2,6 | 3,1 | 3,5 | 3,9 | 4,3 | 4,0 |
| Производительность труда, ГВт.ч/чел. | 2,0 | 1,4 | 1,1 | 1,0 | 1,0 | 1,1 |
| Годы | 2005 | 2008 | 2010 | 2015 | 2018 | |
| Статистический классификатор | ОКВЭД | | | | | |
| Среднегодовая численность работников организаций – производство, передача и распределение электроэнергии, тыс. чел. | 658 | 669 | 702 | 711 | 662 | |
| Выработка электроэнергии, млрд кВт.ч | 953,1 | 1040,4 | 1038,0 | 1067,5 | 1115,1 | |
| Установленная мощность электростанций, млн КВт | 219,2 | 225,5 | 230,0 | 257,1 | 271,6 | |
| Трудоемкость, чел./МВт | 3,0 | 3,0 | 3,1 | 2,8 | 2,4 | |
| Производительность труда, ГВт.ч/чел. | 1,4 | 1,6 | 1,5 | 1,5 | 1,7 | |

*Источники данных: справочники Российской статистический ежегодник, Промышленность России, Труд и занятость в России. Удельные показатели рассчитаны автором.

2. Некоторые проблемные аспекты роли труда в электроэнергетике. По оценке С.В.Мищерякова [7] к середине десятих годов текущего века производительность труда в российской электроэнергетике была в разы ниже, чем в большинстве развитых стран. Считаем, что причины отставания носят как объективный, так и субъективный характер, это национальные особенности структуры генерирующих мощностей и электропотребляющего хозяйства, климатические факторы, физическое и моральное устаревание энергетического оборудования, институциональные «прорехи» отраслевой среды. Нам представляется, что к последним относится недостаточное внимание к современной роли труда как экономического фактора функционирования и развития.

Выявленное в результате нашего анализа численное уменьшение доли рабочих в ППП – это не только последствия наращиванияправленческого аппарата в результате реформ отрасли, но и следствие перемены требований к профессиональной подготовке кадров. С повышением должности в иерархии управления требования модифицировались в сторону замещения компетенций сферы непосредственно энергетики на компетенции общего менеджмента. В результате в управлеченческом штате энергетических компаний и

организаций стали превалировать руководители, не имеющие технического образования [2], что повлекло несколько негативных последствий. Бесперебойное функционирование энергетического оборудования можно обеспечить только качественным техническим обслуживанием. По настоящию реформаторов ремонтные службы были выведены за штат компаний, в основной массе приватизированы. Пытаясь увеличить прибыльность путём диверсификации деятельности, они во многом растеряли узко-квалифицированных специалистов – ремонтников энергетического оборудования. Недопонимание важности обслуживания оборудования со стороны управляемых структур энергокомпаний, представители которых, как уже отмечалось, часто не имеют специального технического образования, отрицательно сказывается на надежности эксплуатации оборудования и, соответственно, эффективности работы отрасли [2]. Еще хуже сказывается общее непонимание технических аспектов подведомственного хозяйства, что недавно было подтверждено аварией на ТЭЦ в Норильске.

«Кадровая яма» технических специалистов наметилась и на более низких уровнях [8]. Работники оперативного обслуживания энергетического оборудования должны уметь грамотно и мобильно решать сложные производственные задачи при постоянно изменяющихся условиях. Качество их трудовых усилий влияет не только на уровень производительности отрасли, но и на надежность и безопасность работы её предприятий.

70% аварий отрасли обусловливается «человеческим фактором» [6]. Многие эксперты считают, что страшные аварии Мосэнерго, Ленэнерго, Саяно-Шушенской ГЭС можно было бы избежать или свести к минимуму, если бы квалификация и умения руководящих кадров и технических исполнителей были на необходимом для их должностей профессиональном уровне [1, 5, 9].

В производственной деятельности большой энергетики в результате проведенных реформ утрачен приоритет безопасности и надежности, принжен статус инженерных служб. Однако фактор надежности электроэнергетики приобретает приоритетное значение в условиях разделения на части единого технологического и единого временного процесса генерации, передачи и потребления электроэнергии и появления в результате реформирования электроэнергетики многих независимых субъектов.

Надежность и безопасность – требования, альтернативные критерию прибыльности, которому в настоящее время отдаётся предпочтение. В условиях отсутствия действенного механизма балансирования двух противоположностей [4] ноша по принятию решений такого балансирования ложится на менеджмент. Каким бы грамотным менеджер ни был, его сугубо экономических знаний для этого недостаточно. Но и кроме технического кругозора и опыта, необходимы определенные ментальные характеристики – добросовестность, способность и желание принимать решения в нерегламентированных условиях и т.п. Требования такого рода становятся все более актуальны, особенно в энергетике. Совокупность всех этих свойств личности вмещает понятие человеческого капитала.

Человеческий капитал, так же, как капитал физический, является производительным фактором экономического развития и содержательно намного шире понятия «трудовые ресурсы». Он включает приобретенные знания и опыт, врожденные способности и таланты, физическую силу и здоровье. Четкого общепринятого определения человеческого капитала в экономике нет до сих пор [11], поскольку каждый исследователь разрабатывает это сравнительно молодое и многосоставное понятие, исходя из собственных взглядов,

доступных ресурсов и целей исследования. На наш взгляд, наиболее точна трактовка человеческого капитала как мера воплощенной в человеке способности приносить доход. Возрастающее значение в современных условиях приобретает такая составляющая человеческого капитала, как мотивация к труду, творчеству, добросовестности, во многом зависящая от воспитания и институциональной среды, а также пассионарность (внутренняя энергия человека), то, что названо «внутренним обликом» человека [3]. И если пассионарность – врожденная характеристика, то степень мотивации доступна внешнему регулированию. Она формируется экономическими механизмами, воспитанием, окружающей средой. Идеологическая составляющая социума и его ячеек (семьи, трудового коллектива) влияет на качество работы его членов, а через это – на эффективность работы отрасли. Свою роль играют критерии и нормативы, диктуемые законодательством, целевые установки программных и обосновывающих документов.

Заключение. В результате исследования тенденций сферы трудовых ресурсов большой энергетики выявлены несколько её болевых точек: неблагоприятная динамика отраслевой производительности труда, структуры занятых, информационные сложности. Делается вывод о необходимости большего внимания кадрам энергетики – их официальному мониторингу, производительности, обеспечению общедоступности таких данных, расширению соответствующей законодательной базы.

Труд – это фактор экономической эффективности, управление динамикой его производительности – актуальная задача, в энергетике явно неосуществляемая.

Предлагается методологию планирования и прогнозирования развития электроэнергетики распространять и на сферу труда, разделы по труду нормативно включать в отчетные и прогнозные документы, в обосновывающие материалы.

Следует обратить внимание на то, что отмеченная в статье тенденция превалирования в управленческом штате энергетических компаний и организаций менеджеров – руководителей, не имеющих технического (энергетического) образования, может весьма пагубно сказаться на реализации концепции цифровизации энергетики и развитии энергетического сектора в целом.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Белащ И.Г. Причины аварии на Саяно-Шушенской ГЭС // Надежность и безопасность энергетики. 2009. № 4. С. 4-8.
2. Ковалёв Г.Ф., Крупенёв Д.С., Лебедева Л.М. Обеспечение электроэнергетической отрасли квалифицированными кадрами как важнейшая проблема энергетической безопасности России // Энергия: экономика, техника, экология. 2017. №2. С. 90-98.
3. Крюков В.А. Цель или средство // ЭКО. 2018. № 2. С. 2-4.
4. Любимова Е.В. Электроэнергетика: экономические оттенки российских трендов. // ЭКО. 2019. № 9. С. 8-22.
5. Магид С.И., Архипова Е.Н. "Человеческий фактор" и обеспечение надежности и безопасности в электроэнергетике // Надежность и безопасность энергетики. 2010. № 3(10). С. 6-12.
6. Магид С.И., Архипова Е.Н., Музыка П.П. Надежность персонала - одна из основных гарантий энергобезопасности // Энергосбережение и водоподготовка. 2008. № 4(54). С.14-24.

7. Мищеряков С.В. Основные направления развития человеческого капитала в энергетике // Вестник университета. 2014. № 14. С. 337-341.
 8. Сажнева С.В., Якубова А.А. Проблема кадрового обеспечения электроэнергетической отрасли. Режим доступа: <http://be5.biz/ekonomika1/r2013/2867.htm:0> (дата обращения 03.10.2019).
 9. Салихов А.А. О механизме возникновения и развитии аварии на Саяно-Шушенской ГЭС // Надежность и безопасность энергетики. 2010. № 3. С. 13-16.
 10. ТЭК России / Публикации Аналитического центра при Правительстве РФ. Режим доступа: <https://ac.gov.ru/publications> (дата обращения 29.09.2019).
 11. Формирование и использование человеческого капитала в современной экономике / под ред. Г.П. Литвинцевой. Новосибирск: Изд-во НГТУ. 2018. 315 с.
 12. Электроэнергетика России: ключевые цифры и анализ показателей функционирования. Режим доступа: <https://ipcrem.hse.ru/news/168032704.html> (дата обращения 26.08.2019).
-

UDK 338.2:331.1:621.311.22

ON THE NEED TO EXPAND PLANNING AND FORECASTING SPACE OF ELECTRIC POWER INDUSTRY TO LABOR SPHERE

Ekaterina V. Lyubimova

Candidate of Economic Sciences,

Leading Researcher, Institute of Economics and Industrial Engineering Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences,

17 Ac.Lavrentiev Av., 630090, Novosibirsk Russia,

e-mail: kat@ieie.nsc.ru.

Abstract. Labor sphere, as a rule, is not represented in the program and supporting documents of the energy sector, although labor is an economic factor in the functioning and efficiency of the industry. Using the methods of a systematic approach and economic analysis, a study of labor sphere of large power engineering was carried out, several of its pain points were identified, in particular, the unfavorable dynamics of industry productivity, information difficulties. The conclusion is made about the need for more attention to the energy personnel - their official monitoring, productivity, ensuring the general availability of such data. Proposals are substantiated: to extend the methodology of planning and forecasting the development of electric power industry to labor sphere, to manage the dynamics of labor productivity, to include sections on labor in reporting and forecast documents, in substantiating materials.

Keywords: electric power industry, labor, number of employees, labor productivity, efficiency, accounting, planning.

References

1. Belash I.G. Prichiny avarii na Sayano-Shushenskoy GES [Causes of the accident at the Sayano-Shushenskaya hydroelectric power station] // Nadezhnost' i bezopasnost' energetiki = Safety & Reliability of Power Industry. 2009. № 4. Pp. 4-8. (in Russian)
2. Kovalov G.F., Krupenov D.S., Lebedeva L.M. Obespecheniye elektroenergeticheskoy otrsli kvalifitsirovannymi kadrami kak vazhneyshaya problema energeticheskoy bezopasnosti Rossii [Provision of the electric power industry with qualified personnel as the most important problem of energy security in Russia] // Energiya: ekonomika, tekhnika, ekologiya = Energy: economics, technology, ecology. 2017. №2. Pp. 90-98. (in Russian).
3. Kryukov V.A. Tsel' ili sredstvo [Purpose or means] // EKO = ECO. 2018. № 2. Pp. 2-4. (in Russian)
4. Lyubimova Ye.V. Elektroenergetika: ekonomicheskiye ottenki rossiyskikh trendov [Electric Power Industry: Economic Nuances of Russian Trends] // EKO = ECO. 2019. № 9. Pp. 8-22. (in Russian)
5. Magid S.I., Arkhipova Ye.N. "Chelovecheskiy faktor" i obespecheniye nadezhnosti i bezopasnosti v elektroenergetike ["Human Factor" and Ensuring Reliability and Safety in the Electric Power Industry] // Nadezhnost' i bezopasnost' energetiki = Safety & Reliability of Power Industry. 2010. № 3(10). Pp. 6-12. (in Russian)
6. Magid S.I., Arkhipova Ye.N., Muzyka P.P. Nadezhnost' personala - odna iz osnovnykh garantiy energobezopasnosti [Personnel reliability is one of the main guarantees of energy security] // Energosberezheniye i vodopodgotovka = Energysaving and watertreatment. 2008. № 4(54). Pp. 14-24. (in Russian)
7. Mishcheryakov S.V. Osnovnyye napravleniya razvitiya chelovecheskogo kapitala v energetike [The main directions of human capital development in the energy sector] // Vestnik universiteta = Herald of the University. 2014. № 14. Pp. 337-341. (in Russian)
8. Sazhneva S.V., Yakubova A.A. Problema kadrovogo obespecheniya elektroenergeticheskoy otrsli [The problem of staffing the electric power industry]. Available at: <http://be5.biz/ekonomika1/r2013/2867.htm:0>, accessed 03.10.2019. (in Russian)
9. Salikhov A.A. O mekhanizme vozniknoveniya i razvitiyu avari na Sayano-Shushenskoy GES [About the mechanism of occurrence and development of the accident at the Sayano-Shushenskaya hydroelectric power station] // Nadezhnost' i bezopasnost' energetiki = Safety & Reliability of Power Industry. 2010. № 3. Pp. 13-16. (in Russian)
10. TEK Rossii / Publikatsii Analiticheskogo tsentra pri Pravitel'stve RF [Fuel and Energy Complex of Russia / Publications of the Analytical Center under the Government of the Russian Federation]. Available at: <https://ac.gov.ru/publications>, accessed 29.09.2019. (in Russian)
11. Formirovaniye i ispol'zovaniye chelovecheskogo kapitala v sovremennoy ekonomike [Formation and use of human capital in the modern economy] / pod red. G.P. Litvintsevoy = ed. G.P. Litvintseva. Novosibirsk: Izd-vo NGTU = NSTU Publ.. 2018. 315 p. (in Russian)
12. Elektroenergetika Rossii: klyuchevyye tsifry i analiz pokazateley funktsionirovaniya [Electric power industry of Russia: key figures and analysis of performance indicators]. Available at: <https://ipcrem.hse.ru/news/168032704.html>, accessed 26.08.2019. (in Russian)

ОБ ОДНОЙ МОДЕЛИ ОПТИМИЗАЦИИ ПРОИЗВОДСТВА АГРАРНОЙ ПРОДУКЦИИ В БЛАГОПРИЯТНЫХ И НЕБЛАГОПРИЯТНЫХ ВНЕШНИХ УСЛОВИЯХ

Барсукова Маргарита Николаевна

к.т.н., доцент кафедры информатики и математического моделирования,

e-mail: margarita1982@bk.ru,

Иваньо Ярослав Михайлович

д.т.н., профессор, проректор по научной работе,

e-mail: rector@igsha.ru,

Петрова Софья Андреевна

к.т.н., доцент кафедры информатики и математического моделирования,

e-mail: sofia.registration@mail.ru,

Иркутский государственный аграрный университет имени А.А. Ежевского,

664038, Иркутский р-он, п. Молодежный.

Аннотация. В статье приведены результаты моделирования многолетних временных рядов с использованием метода многоуровневого деления последовательностей. Верхний уровень выделенного ряда отражает благоприятные условия получения продукции, нижний – характеризует неблагоприятную ситуацию, а промежуточный – свидетельствует о некотором усредненном варианте деятельности аграрного предприятия. При этом использованы линейные и нелинейные тренды с уровнем насыщения, позволяющие прогнозировать показатели биопродуктивности сельскохозяйственных культур в благоприятных, неблагоприятных и усредненных условиях на среднесрочную и долгосрочную перспективы. Предложенные многоуровневые тренды применены в модели параметрической оптимизации производства аграрной продукции. Модели реализованы на реальных объектах и могут быть использованы для управления аграрным производством.

Ключевые слова: оптимизация, многоуровневая модель, тренд, прогнозирование, аграрное производство, управление.

Цитирование: Барсукова М.Н., Иваньо Я.М., Петрова С.А. Об одной модели оптимизации производства аграрной продукции в благоприятных и неблагоприятных внешних условиях // Информационные и математические технологии в науке и управлении. 2020. № 3 (19). С. 73-85. DOI: 10.38028/ESI.2020.19.3.008.

Введение. Статистический анализ производственно-экономических показателей деятельности сельскохозяйственных товаропроизводителей показывает, что значения многих из них могут быть описаны с помощью трендов, факторных, авторегрессионных и смешанных моделей [2-7, 11, 18-20]. При этом в рядах, характеризующих урожайность сельскохозяйственных культур, трудозатраты на производство сельскохозяйственной продукции и цены на продовольственную продукцию, можно обнаружить аномальные значения [18, 19 и др.].

При описании рядов с аномальными значениями применимы два варианта их математического описания. В первом случае подбирается модель, описывающая всю последовательность. Чаще всего подобные модели представлены стохастическими или случайными рядами с малыми значимыми первыми коэффициентами автокорреляции [11]. Во втором случае предлагается аномальные значения выделять из ряда и рассматривать причинно-следственные связи их формирования [12]. Другая же часть последовательности, как правило, может быть описана значимыми регрессионными выражениями.

В работе предлагается несколько другой подход. При большом ряде значений производственно-экономического показателя его можно разделить на три группы уровней – низкие, высокие и средние. Подобная градация временного ряда была предложена в работах [8, 9] при исследовании изменчивости средних годовых температур воздуха и расходов воды рек. Низкие значения ряда характеризуют работу сельскохозяйственного товаропроизводителя в неблагоприятных (благоприятных) условиях. При высоких значениях показателя деятельность хозяйства осуществляется в благоприятных (неблагоприятных) условиях. Эти два случая можно использовать для моделирования выделенных последовательностей, характеризующих хорошие и плохие условия производства.

Таким образом, определяется диапазон изменчивости показателей деятельности сельскохозяйственных товаропроизводителей с учетом непредсказуемой вариации внешних условий в эпоху изменения климата [11, 13, 21]. Предложенный метод градаций временных рядов можно использовать для планирования производства сельскохозяйственной продукции на различную перспективу: краткосрочную, среднесрочную и долгосрочную. В частности, в Иркутской области разрабатываются программы социально-экономического и сельскохозяйственного развития на многолетнюю перспективу [15, 16], требующие прогностических оценок с учетом рисков, вызванных непредсказуемыми внешними факторами. Управление рисками является отдельной задачей любой отрасли экономики и требует разностороннего изучения [11, 12, 14 и др.].

Цель данной работы состоит в разработке и реализации модели параметрического программирования для оптимизации производства сельскохозяйственной продукции в благоприятных и неблагоприятных внешних условиях.

Для достижения поставленной цели необходимо решить две задачи: 1) спрогнозировать производственно-экономические параметры аграрного производства на основе многоуровневой модели; 2) построить модели параметрического программирования для оптимизации производства сельскохозяйственной продукции с использованием среднесрочного и долгосрочного прогноза.

Материалы и методы. В работе использованы многолетние данные об урожайности сельскохозяйственных культур в Иркутском районе и сведения о метеорологических параметрах. Для определения экстремальных точек применен метод многоуровневой иерархии. Прогнозирование параметров осуществлено при помощи корреляционно-регрессионного анализа. Прогностические значения производственно-экономических показателей использованы для оптимизации производства сельскохозяйственной продукции. Для решения экстремальной задачи применены методы параметрического программирования с детерминированными и неопределенными показателями [1, 2, 5, 6, 10, 17].

Основные результаты. В работе использован подход, когда большой ряд значений показателя разделяется на низкие, высокие и средние уровни [8, 9]. Последовательность значений нижнего и верхнего уровня характеризует некоторые пиковые ситуации негативного и позитивного характера, связанные с производством. Точки, находящиеся между пиковыми значениями, описывают некоторые усредненные условия производства. На основании этого метода построены линейные и нелинейные аналитические функции урожайности зерновых культур для Иркутской области и Иркутского района (рис. 1, 2 и 4). При этом исходные данные урожайности зерновых культур содержат сведения за период 1950 - 2018 гг., а аналитические прямые - дополнительно 6 прогнозных точек до 2024 г.

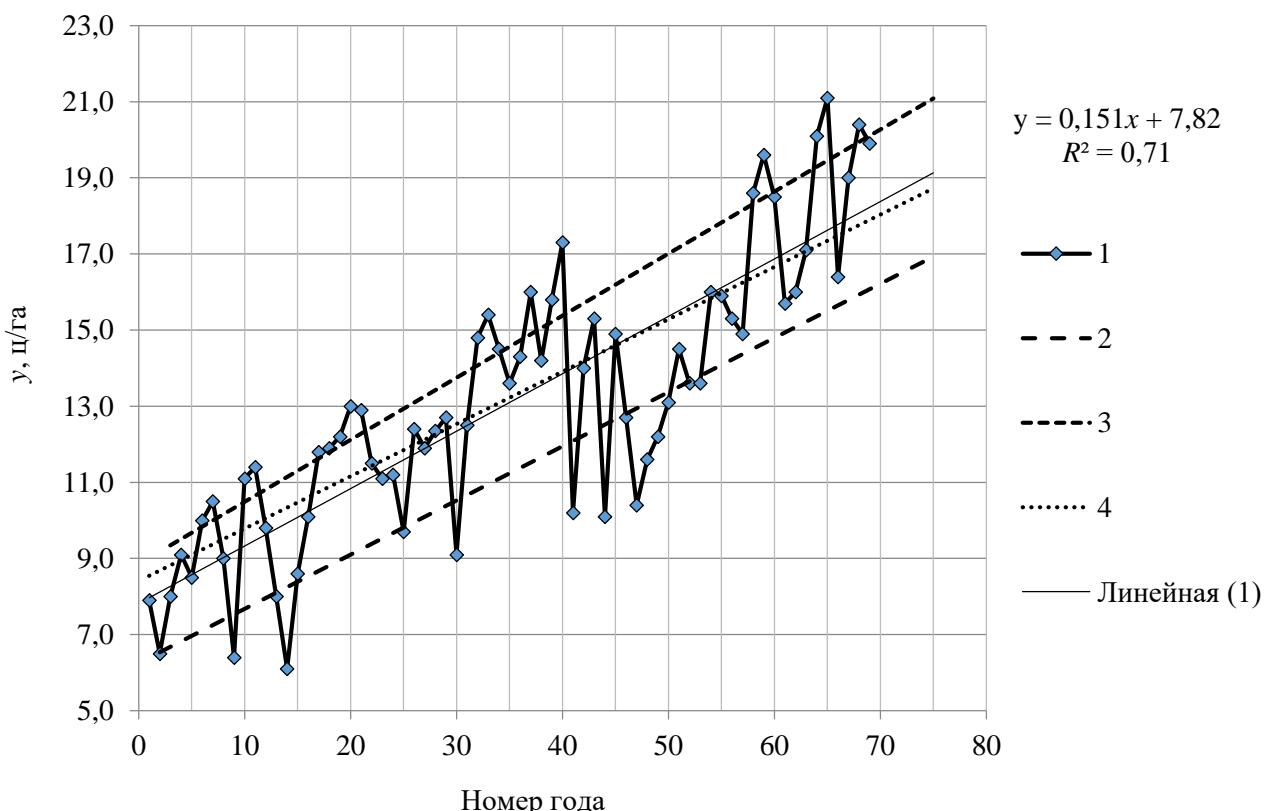


Рис. 1. Линейные тренды урожайности зерновых культур в Иркутской области с прогнозными значениями по данным за 1950 - 2024 гг.

1 – исходный ряд урожайности зерновых культур за 1950 - 2018 гг.

2 – тренд нижнего уровня урожайности зерновых за период 1950 - 2024 гг.

3 – тренд верхнего уровня урожайности зерновых.

4 – тренд среднего уровня урожайности зерновых.

Линейная (1) – тренд, построенный по данным исходного ряда урожайности зерновых.

В отличие от линейной зависимости, значения которой не ограничены по оси ординат, при построении нелинейной функции использована формула, учитывающая ограничение роста:

$$y = y_{\max} - (y_{\max} - y_{\min})e^{-kt}, \quad (1)$$

где y_{\min} , y_{\max} – минимальное и максимальное значение ряда, k - скорость роста, t – время.

Для использования формулы (1) необходимо знать минимальное и максимальное значения функции. В приведенном примере (рис. 2) экстремальные значения определены

как наименьшие и наибольшие значения выделенных трех эмпирических последовательностей, характеризующих благоприятные, неблагоприятные и усредненные условия аграрного производства. Очевидно, что величины y_{min} и y_{max} помимо гидрометеорологических условий связаны с уровнем технологии производства, который планирует сельскохозяйственное предприятие на некоторую перспективу. Поэтому экстремальные показатели могут быть заданы экспертной оценкой. При этом максимальное значение связано с периодом планирования. Нет сомнения, что для долгосрочного периода y_{max} будет выше, чем для краткосрочного отрезка времени.

На рис. 2 показаны худший, лучший и промежуточный варианты получения урожайности зерновых культур до 2024 г. по данным Иркутской области.

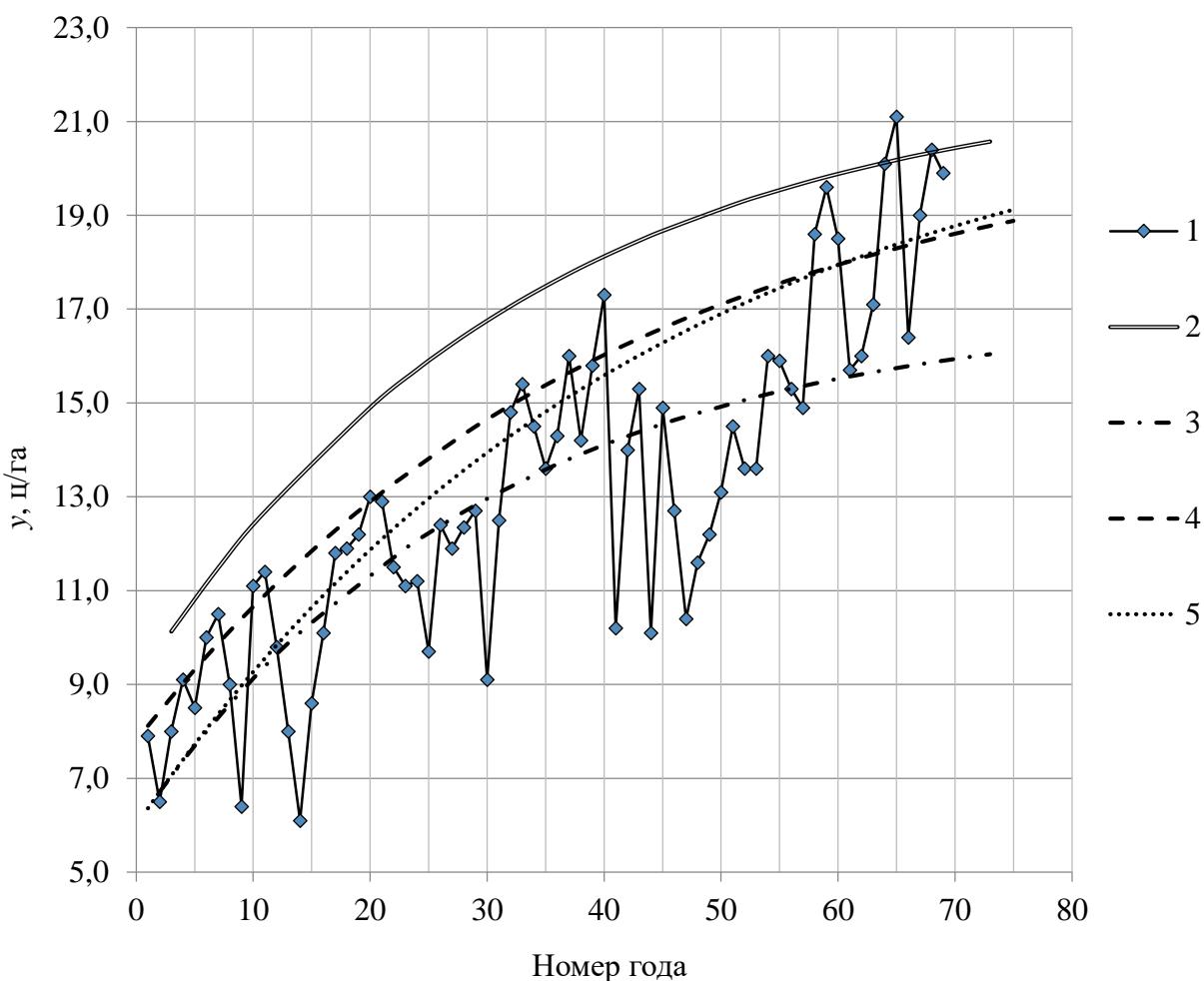


Рис. 2. Нелинейные аналитические кривые урожайности зерновых культур в Иркутской области за период 1950 - 2024 гг.

1 – исходный ряд урожайности зерновых культур за 1950 - 2018 гг.

2 – аналитическая кривая верхнего уровня урожайности зерновых.

3 – аналитическая кривая нижнего уровня урожайности зерновых.

4 – аналитическая кривая среднего уровня урожайности зерновых.

5 – аналитическая кривая, построенная по параметрам общего ряда урожайности зерновых.

В дополнение к рис. 2 построена разностная интегральная кривая урожайности зерновых культур для региона (рис. 3). Здесь ψ – модульный коэффициент, равный отношению каждого значения урожайности к среднему за рассматриваемый период.

Нетрудно заметить, что рассматриваемую кривую можно охарактеризовать четырьмя периодами с разными трендами: 1) 1950 - 1980 гг.; 2) 1981 - 1989 гг.; 3) 1990 - 1999 гг.; 4) 2000 - 2018 гг.

Для четвертого периода характерно заметное увеличение урожайности. Вместе с тем наблюдается тенденция замедления роста и увеличение колебаний рассматриваемого показателя.

В дополнение к результатам моделирования урожайности зерновых для региона на рис. 4 приведены аналитические функции урожайности пшеницы, ячменя и овса в Иркутском районе с прогнозными значениями до 2024 г.

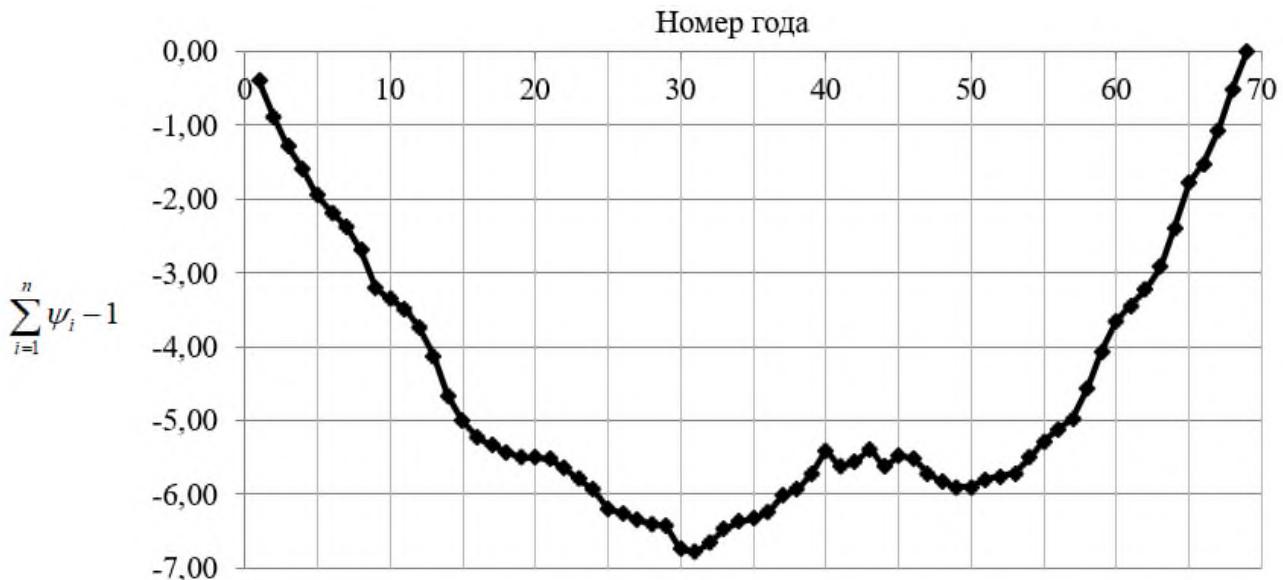


Рис. 3. Разностная интегральная функция модульных коэффициентов урожайности зерновых культур в Иркутской области за период 1950 - 2024 гг.

По аналогии с результатами моделирования по данным региона имеют место сильные колебания показателя. Максимальные значения урожайности получены по эмпирическим данным. В табл. 1 приведены нелинейные модели динамики урожайности пшеницы, ячменя и овса для трех уровней ряда по сведениям Иркутского района.

Таблица 1. Модели с насыщением для трех уровней ряда урожайности зерновых в Иркутском районе, построенные по данным 1996 - 2018 гг.

| Зерновая культура | Уравнение регрессии | Коэффициент детерминации (R^2) | Модуль t -статистики |
|-----------------------------|-----------------------------|------------------------------------|------------------------|
| Нижний уровень урожайности | | | |
| Пшеница | $y = 18 - 7,5e^{-0,108t}$ | 0,71 | 4,16 |
| Ячмень | $y = 17 - 10,5e^{-0,137t}$ | 0,67 | 3,49 |
| Овес | $y = 17 - 9,5e^{-0,128t}$ | 0,73 | 4,00 |
| Средний уровень урожайности | | | |
| Пшеница | $y = 20,5 - 9e^{-0,107t}$ | 0,86 | 7,54 |
| Ячмень | $y = 20 - 8,5e^{-0,100t}$ | 0,78 | 6,24 |
| Овес | $y = 19 - 7e^{-0,0912t}$ | 0,54 | 3,58 |
| Верхний уровень урожайности | | | |
| Пшеница | $y = 25 - 12e^{-0,109t}$ | 0,75 | 4,59 |
| Ячмень | $y = 25 - 10,5e^{-0,0959t}$ | 0,47 | 2,29 |
| Овес | $y = 21 - 4,5e^{-0,0799t}$ | 0,66 | 3,42 |

Согласно табл. 1, уравнения регрессии значимы. Исключение составляет верхний уровень урожайности ячменя. Тем не менее, результаты моделирования с использованием трехуровневой оценки динамики производственно-экономических показателей можно применить для построения моделей параметрического программирования при определении оптимальных планов объемов производства аграрной продукции. Подобная экстремальная задача позволяет оценивать деятельность товаропроизводителя в разных условиях: худших, усредненных и лучших на перспективу.

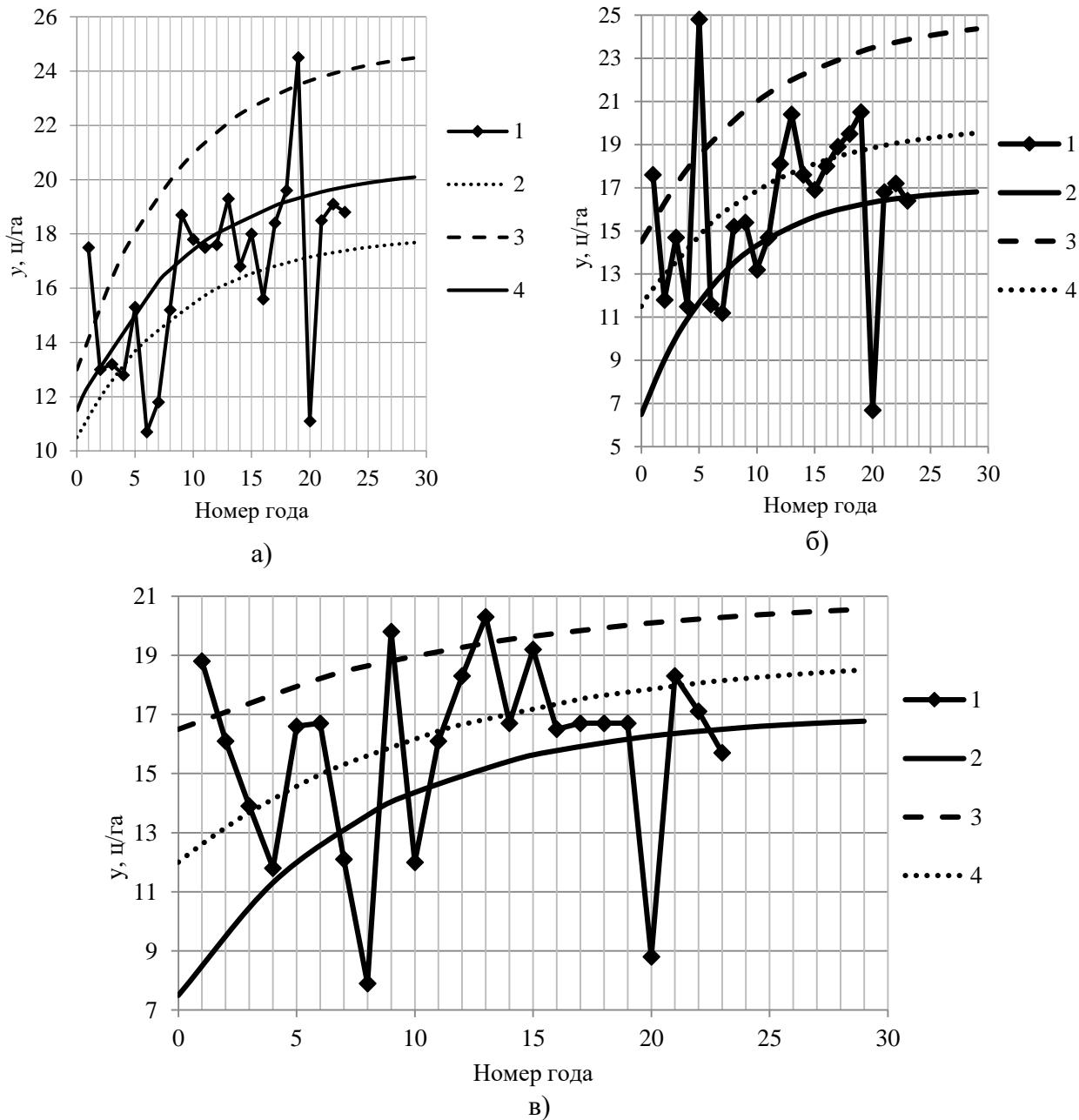


Рис. 4. Тренды урожайности зерновых культур в Иркутском районе с прогнозными значениями до 2024 г. по данным за 1996-2018 гг.:
а – пшеница; б – ячмень; в – овес;

1 – исходный ряд урожайности определенного вида зерновых (за период 1996 - 2018 гг.).

2 – тренд нижнего уровня урожайности (за период 1996 - 2024 гг.).

3 – тренд верхнего уровня урожайности (за период 1996 - 2024 гг.).

4 – тренд среднего уровня урожайности (за период 1996 - 2024 гг.).

Математическая модель оптимизации производства растениеводческой продукции с учетом параметра в левой части ограничений записывается в следующем виде.

Целевая функция характеризует максимум дохода сельскохозяйственного предприятия:

$$\sum_{s \in S} c_s x_s \rightarrow \max , \quad (2)$$

при условиях:

1) ограниченности производственных ресурсов

$$\sum_{s \in S} f_{ls} x_s \leq F_l, \quad l \in L \quad (3)$$

2) ограниченности размера растениеводческой отрасли

$$\underline{n}_r \leq \sum_{s \in S_r} (1 + \alpha_s) x_s \leq \bar{n}_r, \quad r \in R \quad (4)$$

3) производства конечной продукции заданного объема

$$\sum_{s \in S} v_{qs}(t) x_s \geq V_q, \quad q \in Q_1 \quad (5)$$

4) определенного количества вносимых удобрений и средств защиты растений

$$\sum_{s \in S} b_{ms} \leq B_m, \quad m \in M \quad (6)$$

5) неотрицательности переменных

$$x_s \geq 0 \quad (7)$$

где x_s - искомая переменная, площадь культуры s или вида кормовых угодий; c_s - затраты на 1 га s -культуры или вида кормовых угодий; f_{ls} - расход ресурса l на единицу площади культуры s или вида кормовых угодий; F_l - наличие ресурса l -вида; V_q - гарантированный (обязательный) объем производства продукции вида q ; \bar{n}_r , \underline{n}_r - максимально и минимально возможная площадь культур группы r ; $v_{qs}(t)$ - соответственно выход товарной продукции q -вида с единицы площади культуры s ; α_s - коэффициент, учитывающий площадь семенных посевов для культуры s ; b_{ms} - расход m -удобрений и средств защиты на единицу площади культуры s или вида кормовых угодий; B_m - необходимый объем удобрений вида m .

В модели (2) – (7) левая часть ограничения (5) зависит от параметра t , который представляет собой время. При этом функция $v_{qs}(t)$ может быть описана в виде линейного и нелинейного выражения. В частности, для рассмотренных выше ситуаций (рис. 1 и 2) показатель выхода товарной продукции примет вид:

$$v_{qs} = \alpha_{0qs} + \alpha_{1qs} t, \quad (8)$$

$$\text{или } v_{qs} = v_{qs}^{\max} - (v_{qs}^{\max} - v_{qs}^{\min}) e^{-\alpha_{qs} t}, \quad (9)$$

где v_{qs}^{\max} , v_{qs}^{\min} - верхняя и нижняя оценки выхода продукции вида q с единицы площади культуры s ; α_{0qs} , α_{1qs} , α_{qs} - коэффициенты выражений (8) и (9).

Следует отметить, что часть показателей предложенной модели могут представлять собой интервальные или вероятностные оценки, что усложняет решение задачи [22-24].

Между тем, в предложенном варианте задача математического программирования (2) – (9) позволяет получать решения в некоторых диапазонах, характеризующих плохие и хорошие результаты.

Для примера, модель (2) – (9) реализована применительно к сельскохозяйственному предприятию Иркутского района для трех случаев: благоприятный, неблагоприятный и усредненный или промежуточный (табл. 2).

Таблица 2. Результаты решения задачи параметрического программирования для ЗАО «Иркутские семена».

| Год | Урожайность сельскохозяйственной культуры, ц/га | | Оптимальный план, т | | | | | | Значение целевой функции, тыс. руб. | |
|--|---|------|---------------------|--------|--------|-------|----------|--------|-------------------------------------|-----------|
| | | | Пшеница | Ячмень | Овес | x_1 | x_2 | x_3 | Картофель | |
| При низкой урожайности (наихудшие условия, прогноз урожайности) | | | | | | | | | | |
| 2020 | 17,5 | 16,7 | 16,6 | 3675,6 | 809,5 | 332,2 | 9008,16 | 170,14 | 183,6 | 149 890,8 |
| 2022 | 17,6 | 16,7 | 16,7 | 3696,0 | 813,5 | 334,0 | 9931,50 | 177,01 | 191,0 | 160 566,5 |
| 2024 | 17,7 | 16,8 | 16,8 | 3712,4 | 816,5 | 335,4 | 10949,47 | 184,16 | 198,7 | 172 249,7 |
| При высокой урожайности (наилучшие условия, прогноз урожайности) | | | | | | | | | | |
| 2020 | 24,2 | 24,0 | 20,4 | 5085,3 | 1168,6 | 407,7 | 9008,16 | 170,14 | 183,6 | 167 293,3 |
| 2022 | 24,4 | 24,2 | 20,5 | 5117,6 | 1176,7 | 409,5 | 9931,50 | 177,01 | 191,0 | 178 120,4 |
| 2024 | 24,5 | 24,4 | 20,6 | 5143,5 | 1183,4 | 411,1 | 10949,47 | 184,16 | 198,7 | 189 929,7 |
| При усредненной урожайности (прогноз урожайности) | | | | | | | | | | |
| 2020 | 19,9 | 19,3 | 18,3 | 4174,9 | 938,2 | 365,6 | 9008,16 | 170,14 | 183,6 | 156 130,7 |
| 2022 | 20,0 | 19,4 | 18,4 | 4199,9 | 944,3 | 368,0 | 9931,50 | 177,01 | 191,0 | 166 876,4 |
| 2024 | 20,1 | 19,5 | 18,5 | 4220,2 | 949,3 | 370,0 | 10949,47 | 184,16 | 198,7 | 178 620,1 |

В табл. 2 приведены варианты развития предприятия. Расхождения между низкими и высокими значениями целевой функции составляют 10 – 11%, а динамика увеличения дохода соответствует 13,5 – 14,9%.

Заключение. Предложена методика среднесрочного и долгосрочного прогнозирования производственно-экономических показателей сельскохозяйственного производства на основе деления временного ряда на нижний, верхний и промежуточный уровни.

В качестве моделей прогнозирования использованы линейные и нелинейные зависимости. Нелинейный тренд представляет собой аналитическое выражение с управляемой верхней оценкой, которая характеризует ограничение уровня роста. При этом модели прогнозирования использованы для описания различных ситуаций – благоприятных, неблагоприятных и усредненных.

Предложена модель параметрического программирования для планирования производства аграрной продукции на среднесрочную и долгосрочную перспективу в благоприятных, неблагоприятных и усредненных условиях деятельности аграрного предприятия. Оптимизационная модель применена для сельскохозяйственной организации Иркутского района ЗАО «Иркутские семена».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Аветисян А.Г., Гюльзадян Л.С. Метод решения задач параметрического линейного программирования, основанный на дифференциальных преобразованиях // Известия Томского политехнического университета. 2014. Т. 324. № 2. С. 25-30.
2. Акулич И.Л. Математическое программирование в примерах и задачах: Учеб. Пособие. 2-е изд., испр. и доп. М.: Высш. шк. 1993. 336 с.
3. Астафьева М.Н., Иваньо Я.М., Петрова С.А. Пространственно-временные закономерности изменчивости климатических параметров и продуктивности сельскохозяйственных культур на юге Восточной Сибири // Экологический вестник. 2013. № 3 (25). С. 13-18.
4. Барсукова М.Н., Иваньо Я.М. Приложения параметрического программирования для решения задач оптимизации получения продовольственной продукции // Вестник ИрГТУ. 2017. Т.21. № 4. С. 57-66.
5. Барсукова М.Н., Петрова С.А. О возможностях приложения задач параметрического программирования с авторегрессионными моделями // Научные исследования и разработки к внедрению в АПК: Материалы международной научно-практической конференции молодых ученых (5 апреля 2017 года). Иркутск: Издательство Иркутского ГАУ. 2017. С. 14-23.
6. Белякова А.Ю., Иваньо Я.М., Петрова С.А. Об одной модели параметрического программирования производства аграрной продукции с учетом проявления гидрологического события // Актуальные вопросы аграрной науки. Иркутск: Издательство Иркутского ГАУ. 2016. Вып. 19. С. 41-49.
7. Болгов М.В. Современное состояние теории корреляции для гидрологических расчетов и стохастического моделирования // Водное хозяйство России: проблемы, технологии, управление. 2012. № 4. С. 7-20.
8. Дружинин И.П. Долгосрочный прогноз и информация. М.: Изд-во Наука. 1987. 255 с.
9. Дружинин И.П., Смага В.Р., Шевнин А.Н. Динамика многолетних колебаний речного стока. М: Наука. 1991. 176 с.
10. Елохин В.Р. Об оптимизационных моделях планирования сельскохозяйственного производства // Известия Иркутской государственной экономической академии. 2009. № 3. С. 137-141.
11. Иваньо Я.М. Изменчивость климатических характеристик и аграрное производство // Климат, экология, сельское хозяйство Евразии: Сб. статей международной научно-практической конференции, посвященной 75-летию образования ИрГСХА (25-29 мая 2009 г.). Иркутск: НЦ РВХ ВСНЦ СО РАМН. 2009. С.31-38.
12. Иваньо Я.М., Петрова С.А. О двух алгоритмах оптимизации производства растениеводческой продукции с учетом оценок редких природных событий // Научно-практический и информационно-аналитический журнал «Экологический вестник». Минск: МГЭУ им. А.Д. Сахарова. 2013. №2 (24). С. 91-97.
13. Катцов В.М., Мелешко В.П., Хлебникова Е.И., Школьник И.М. Оценка климатических воздействий на сельское хозяйство России в первой половине XXI века: современные возможности физико-математического моделирования // Агрофизика. 2011. № 3. С. 22-30.

14. Массель Л.В., Гергет О.М., Массель А.Г., Мамедов Т.Г. Использование машинного обучения в ситуационном управлении применительно к задачам электроэнергетики // Информационные и математические технологии в науке и управлении. Иркутск: ИСЭМ СО РАН. 2019. № 3 (15). С. 5-17.
15. Постановление правительства Иркутской области от 26 октября 2018 г. N 772-пп Об утверждении государственной программы Иркутской области «Развитие сельского хозяйства и регулирование рынков сельскохозяйственной продукции, сырья и продовольствия» на 2019 - 2024 годы.
16. Проект стратегии социально-экономического развития Иркутской области на период до 2036 года. Режим доступа: <https://irkobl.ru/sites/economy/socio-economic/project2036> (дата обращения: 04.06.2020)
17. Салимоненко Д.А. Способ решения задачи линейного программирования с переменными коэффициентами в виде параметрических функций // Вестник Башкирского университета. 2015. Т. 20. № 1. С. 25-29.
18. Система ведения сельского хозяйства Иркутской области: В 2 ч. Монография /под редакцией Я.М. Иваньо, Н.Н. Дмитриева. Иркутск: Изд-во ООО «Мегапринт», 2019. Ч. 1. 319 с.
19. Система ведения сельского хозяйства Иркутской области: В 2 ч. Монография / под редакцией Я.М. Иваньо, Н.Н. Дмитриева. Иркутск: Изд-во ООО «Мегапринт». 2019. Ч. 2. 321 с.
20. Суховольский В.Г. Экономика живого: Оптимизационный подход к описанию процессов в экологических сообществах и системах / Отв. ред. Р.Г. Хлебопрос. Новосибирск: Наука. 2004. 140 с.
21. Хлебникова Е.И., Рудакова Ю.Л., Салль И.А., Ефимов С.В., Школьник И.М. Изменение показателей экстремальности термического режима в XXI в.: ансамблевые оценки для территории России // Метеорология и гидрология. 2019. № 3. С. 11-23.
22. Chiadamrong N., Piyathanavong V. Optimal design of supply chain network under uncertainty environment using hybrid analytical and simulation modeling approach // Journal of Industrial Engineering International. 2017. vol. 13. pp. 465-478.
23. Domptail Stephanie, Nuppenau Ernst-August The role of uncertainty and expectations in modeling (range) land use strategies: An application of dynamic optimization modeling with recursion // Ecological Economics. Elsevier. 2010. vol. 69 (12). Pp. 2475-2485.
24. Sahinidis Nikolaos V. Optimization under uncertainty: state-of-the-art and opportunities // Computers and Chemical Engineering. 28 (2004). Pp. 971-983.

UDK 004.94:633/635

**ABOUT ONE MODEL OF OPTIMIZATION OF AGRICULTURAL PRODUCTION IN
FAVORABLE AND UNFAVORABLE EXTERNAL CONDITIONS**

Margarita N. Barsukova

candidate of technical sciences, Associate Professor of the Department of informatics and mathematical modeling,
e-mail: margarita1982@bk.ru,

Sofia A. Petrova

candidate of technical sciences, Associate Professor of the Department of informatics and mathematical modeling,
e-mail: sofia.registration@mail.ru,

Yaroslav M. Ivanyo

doctor of technical sciences, Professor, Vice-Rector for Research
e-mail: rector@igsha.ru,

Irkutsk State Agricultural University named after A.A. Ezhevsky,
664038, Irkutsk district, n Molodezhnyy.

Abstract. In the article, the results of modeling of long standing time series with using the method of multilevel division of sequences were presented. The upper level of the selected series reflects favorable conditions of obtaining products, the lower one characterizes an unfavorable situation, and the intermediate one indicates a certain averaged version of the activity of an agricultural enterprise. At same time, linear and nonlinear trends with saturation level were used, which make it possible to predict indicators of biological productivity of agricultural crops in favorable, unfavorable and average conditions for medium and long term perspectives. The proposed multilevel trends in the parametric model of optimizing of production of agricultural products were applied. The models on real objects were implemented. These models can be used to management agricultural production.

Keywords: optimization, multilevel model, trend, forecasting, agricultural production, management.

References

1. Avetisyan A.G., Gyul'zadyan L.S. Metod resheniya zadach parametricheskogo lineynogo programmirovaniya, osnovannyy na differential'nykh preobrazovaniyakh [The method of solving parametric linear programming problems, based on differential transformations] // Izvestiya Tomskogo politekhnicheskogo universiteta = Bulletin of Tomsk Polytechnic University. 2014. T. 324. № 2. Pp. 25-30. (in Russian).
2. Akulich I.L. Matematicheskoye programmirovaniye v primerakh i zadachakh [Mathematical programming in examples and problems]: Ucheb. Posobiye. 2-ye izd., ispr. i dop. M.: Vyssh. shk. 1993. 336 p. (in Russian).
3. Astaf'yeva M.N., Ivanyo Ya.M., Petrova S.A. Prostranstvenno-vremennyye zakonomernosti izmenchivosti klimaticheskikh parametrov i produktivnosti sel'skokhozyaystvennykh kul'tur na yuge Vostochnoy Sibiri [Spatio-temporal regularities of variability of the climatic and production parameters in the south of Eastern of Siberia] // Ekologicheskiy vestnik = Ecological bulletin. 2013. № 3 (25). Pp. 13-18. (in Russian).
4. Barsukova M.N., Ivanyo Ya.M. Prilozheniya parametricheskogo programmirovaniya dlya resheniya zadach optimizatsii polucheniya prodovol'stvennoy produktsii [Applications of

parametric programming for solving problems of optimizing of obtaining of food products] // Vestnik IrGTU = Proceedings of Irkutsk State Technical University. 2017. Volume 21. № 4. Pp. 57-66. (in Russian).

5. Barsukova M.N., Petrova S.A. O vozmozhnostyakh prilozheniya zadach parametricheskogo programmirovaniya s avtoregressionnymi modelyami [About the possibilities of application of problems of parametric programming with autoregression models] // Nauchnyye issledovaniya i razrabotki k vnedreniyu v APK: Materialy mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii molodykh uchenykh (Irkutsk, April 5, 2017). Irkutsk: Izdatel'stvo Irkutskogo GAU=Publishing house of Irkutsk GAU. 2017. Pp. 14-23. (in Russian).
6. Barsukova M.N., Ivanyo Ya.M., Petrova S.A. Ob odnoy modeli optimizatsii proizvodstva agrarnoy produktsii v blagopriyatnykh i neblagopriyatnykh vneshnikh usloviyakh // Informatsionnyye i matematicheskiye tekhnologii v nauke i upravlenii / Tezisy XXV Baykal'skoy Vserossiyskoy konferentsii s mezhdunarodnym uchastiyem «Informatsionnyye i matematicheskiye tekhnologii v nauke i upravlenii» i molodezhnoy shkoly-seminara (Irkutsk, july 01-09, 2020). Irkutsk: ISEM SO RAN = ESI SB RAS. 2020. 61p. (in Russian).
7. Bolgov M.V. Sovremennoye sostoyaniye teorii korrelyatsii dlya gidrologicheskikh raschetov i stokhasticheskogo modelirovaniya [Contemporary state of the correlation theory for hydrological computations and stochastic simulation] // Vodnoye khozyaystvo Rossii: problemy, tekhnologii, upravleniye = Water industry of Russia: problems, technologies, management. 2012. № 4. Pp. 7-20. (in Russian).
8. Druzhinin I.P. Dolgosrochnyy prognoz i informatsiya [Long-term forecast and information]. M.: Izd-vo Nauka= Publishing house Science. 1987. 255 p. (in Russian).
9. Druzhinin I.P., Smaga V.R., Shevnnin A.N. Dinamika mnogoletnikh kolebaniy rechnogo stoka [Dynamics of long-term fluctuations of river flow]. M: Nauka= Publishing house Science. 1991. 176 p. (in Russian).
10. Yelokhin V.R. Ob optimizatsionnykh modelyakh planirovaniya sel'skokhozyaystvennogo proizvodstva [About optimization models of planning of agricultural production] // Izvestiya Irkutskoy gosudarstvennoy ekonomicheskoy akademii = Izvestiya of Irkutsk State Economics Academy. 2009. № 3. Pp. 137-141. (in Russian).
11. Ivanyo Ya.M. Izmenchivost' klimaticheskikh kharakteristik i agrarnoye proizvodstvo [Variability of climatic characteristics and agricultural production] // Klimat, ekologiya, sel'skoye khozyaystvo Yevrazii: Sb. statey mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii, posvyashchennoy 75-letiyu obrazovaniya IrGSKHA ((Irkutsk, May 25-29, 2009). Irkutsk: NTS RVKH VSNTS SO RAMN. 2009. Pp.31-38. (in Russian).
12. Ivanyo Ya.M., Petrova S.A. O dvukh algoritmakh optimizatsii proizvodstva rasteniyevodcheskoy produktsii s uchetom otsenok redkikh prirodnykh sobityi [About two algorithms of optimization of crop production considering rare natural events] // Nauchno-prakticheskiy i informatsionno-analiticheskiy zhurnal «Ekologicheskiy vestnik» = Scientific-practical and information-analytical journal "Ecological Bulletin". Minsk: MGEU im. A.D. Sakharova. 2013. № 2 (24). Pp. 91-97. (in Russian).
13. Kattsov V.M., Meleshko V.P., Khlebnikova Ye.I., Shkol'nik I.M. Otsenka klimaticheskikh vozdeystviy na sel'skoye khozyaystvo Rossii v pervoy polovine XXI veka: sovremennyye vozmozhnosti fiziko-matematicheskogo modelirovaniya [Assessment of climatic impacts on agriculture in Russia in the first half of the XXI century: modern possibilities of physical-mathematical modeling] // Agrofizika = Agrofizika. 2011. № 3. Pp. 22-30. (in Russian).

14. Massel L.V., Gerget O.M., Massel A.G., Mamedov T.G. Ispol'zovaniye mashinnogo obucheniya v situatsionnom upravlenii primenitel'no k zadacham elektroenergetiki [The use of machine learning in situational management in relation to the tasks of the power industry] // Informatsionnye i matematicheskiye tekhnologii v naуke i upravlenii = Information and mathematical technologies in science and management. Irkutsk: ISEM SO RAN. 2019. № 3 (15). Pp. 5-17. (in Russian).
15. Postanovleniye pravitel'stva Irkutskoy oblasti ot 26 oktyabrya 2018 g. N 772-pp Ob utverzhdenii gosudarstvennoy programmy Irkutskoy oblasti «Razvitiye sel'skogo khozyaystva i regulirovaniye rynkov sel'skokhozyaystvennoy produktov, syr'ya i prodovol'stviya» na 2019 - 2024 gody [On approval of state program of Irkutsk region "Development of agriculture and regulation of markets for agricultural products, raw materials and food" for 2019 - 2024]. (in Russian).
16. Projekt strategii sotsial'no-ekonomiceskogo razvitiya Irkutskoy oblasti na period do 2036 goda [Draft strategy of socio-economic development of Irkutsk region for the period up to 2036]. Available at: <https://irkobl.ru/sites/economy/socio-economic/project2036> (accessed 04.06.2020) (in Russian).
17. Salimonenko D.A. Sposob resheniya zadachi lineynogo programmirovaniya s peremennymi koefitsiyentami v vide parametricheskikh funktsiy [Way of the solution of the problem of linear programming with variable coefficients in the form of parametrical functions] // Vestnik Bashkirskogo universiteta = Bulletin of Bashkir University. 2015. Volume. 20. № 1. Pp. 25-29. (in Russian).
18. Sistema vedeniya sel'skogo khozyaystva Irkutskoy oblasti [The system of do for of agricultural of the Irkutsk region]: V2 ch. Monografiya /pod redaktsiyey Ya.M. Ivanyo, N.N. Dmitriyeva. Irkutsk: Izd-vo OOO «Megaprint»= Publishing house of LLC "Megaprint". 2019. Part. 1. 319 p. (in Russian).
19. Sistema vedeniya sel'skogo khozyaystva Irkutskoy oblasti [The system of do for of agricultural of the Irkutsk region]: V2 ch. Monografiya /pod redaktsiyey Ya.M. Ivanyo, N.N. Dmitriyeva. Irkutsk: Izd-vo OOO «Megaprint»= Publishing house of LLC "Megaprint".. 2019. Part. 2. 321 p. (in Russian).
20. Sukhovol'skiy V.G. Ekonomika zhivogo: Optimizatsionnyy podkhod k opisaniyu protsessov v ekologicheskikh soobshchestvakh i sistemakh [Economics of living: optimization approach to description of processes in ecological communities and systems] / Otv. red. R.G. Khlebopros. Novosibirsk: Nauka. 2004. 140 p. (in Russian).
21. Khlebnikova Ye.I., Rudakova Yu.L., Sall' I.A., Yefimov S.V., Shkol'nik I.M. Izmeneniye pokazateley ekstremal'nosti termicheskogo rezhima v XXI v.: ansambleyye otsenki dlya territorii Rossii [Changes in Parameters of Temperature Extremes in the 21st Century: Ensemble Projections for the Territory of Russia] // Meteorologiya i gidrologiya = Meteorology and hydrology. 2019. № 3. Pp. 11-23. (in Russian).
22. Chiadamrong N., Piyathanavong V. Optimal design of supply chain network under uncertainty environment using hybrid analytical and simulation modeling approach // Journal of Industrial Engineering International. 2017. vol. 13. Pp. 465-478.
23. Domptail Stephanie, Nuppenau Ernst-August The role of uncertainty and expectations in modeling (range) land use strategies: An application of dynamic optimization modeling with recursion // Ecological Economics. Elsevier. 2010. vol. 69 (12). Pp. 2475-2485.
24. Sahinidis Nikolaos V. Optimization under uncertainty: state-of-the-art and opportunities // Computers and Chemical Engineering. 28 (2004). Pp. 971-983.

ИНФОРМАЦИОННО-АНАЛИТИЧЕСКАЯ ПОДДЕРЖКА РЕШЕНИЯ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНО СЛОЖНЫХ ЗАДАЧ НА СУПЕРКОМПЬЮТЕРАХ

Загорулько Юрий Алексеевич

к.т.н., зав. лабораторией, e-mail: zagor@iis.nsk.su,

Загорулько Галина Борисовна

н.с., e-mail: gal@iis.nsk.su,

Шестаков Владимир Константинович

м.н.с., e-mail: shestakov@iis.nsk.su,

Институт систем информатики им. А.П. Ершова СО РАН,

630090 г. Новосибирск, проспект Академика Лаврентьева, 6.

Сапетина Анна Федоровна

м.н.с., e-mail: sapetina@sscc.ru,

Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН,

630090 г. Новосибирск, проспект Академика Лаврентьева, 6.

Аннотация. В статье представлен подход к разработке информационно-аналитического интернет-ресурса для поддержки решения вычислительно сложных задач математической физики на суперкомпьютерах. Основу этого ресурса составляет многоуровневая онтология, которая строится на основе отологий научного знания и научной деятельности. Для эффективной информационно-аналитической поддержки пользователей очень важно иметь подробное систематизированное описание параллельных алгоритмов и архитектур, достаточно полное описание доступных программных компонентов, реализующих параллельные алгоритмы и фрагменты параллельного кода, имеющихся в наличии параллельных архитектур и используемых в них устройств, а также публикаций и информационных ресурсов, описывающих данную проблемную область.

Ключевые слова: решение вычислительно сложных задач на суперкомпьютерах, параллельные алгоритмы, параллельные архитектуры, онтология, информационно-аналитический интернет-ресурс.

Цитирование: Загорулько Ю.А., Загорулько Г.Б., Шестаков В.К., Сапетина А.Ф. Информационно-аналитическая поддержка решения вычислительно сложных задач на суперкомпьютерах // Информационные и математические технологии в науке и управлении. 2020. № 3 (19). С. 86- 95. DOI:10.38028/ESI.2020.19.3.009.

Введение. Сейчас в России и за рубежом активно эксплуатируются высокопроизводительные суперкомпьютеры, на которых можно решать задачи большой вычислительной сложности. В частности, суперкомпьютеры широко применяются при математическом моделировании различных физических явлений и процессов. Однако современные суперкомпьютеры редко используются рядовыми исследователями, так как им довольно трудно решать на них свои задачи по той причине, что они не обладают знаниями об архитектуре суперкомпьютера и особенностях реализации на ней алгоритмов решения

этих задач. В связи с этим актуальной задачей становится создание средств интеллектуальной поддержки решения вычислительно сложных задач на суперкомпьютерах [12].

Такая интеллектуальная поддержка должна основываться на использовании знаний о рассматриваемой проблемной области, включая методы и алгоритмы решения задач на суперкомпьютерах, а также опыта решения задач на суперкомпьютерах, представленного в виде методик, программных компонентов (фрагментов кода) и экспертных правил.

Первым шагом к интеллектуальной поддержке могло бы стать обеспечение информационно-аналитической поддержки пользователя, состоящее в предоставлении пользователю удобного содержательного доступа к информации обо всех доступных методах и алгоритмах решения задач на суперкомпьютере, о возможностях и ограничениях каждого из них, о характеристиках их реализаций. Средством такой поддержки может быть информационно-аналитический интернет-ресурс, базирующийся на многоуровневой онтологии проблемной области.

Данная работа посвящена разработке такого интернет-ресурса, обеспечивающего информационно-аналитическую поддержку решения вычислительно сложных задач математической физики на суперкомпьютерах.

1. Обзор информационных ресурсов, поддерживающих решение вычислительно сложных задач на суперкомпьютерах. На данный момент в России существуют и развиваются несколько информационных ресурсов, поддерживающих решение задач на суперкомпьютерах. Наиболее значимыми из них являются AlgoWiki [3] и parallel.ru [6].

Информационный ресурс AlgoWiki [2] позиционируется как открытая энциклопедия в сети Интернет по свойствам алгоритмов и особенностям их реализации на различных программно-аппаратных платформах, начиная от мобильных до экзафлопсных суперкомпьютерных систем. Заявленная цель ресурса AlgoWiki – дать исчерпывающее описание каждого алгоритма, которое поможет оценить его потенциал применительно к конкретной вычислительной платформе. Для этого в AlgoWiki для каждого алгоритма приводится его описание, а также описание его параметров, необходимых как для последовательной, так и параллельной численной реализации, с указанием наиболее затратных по времени частей. Кроме того, AlgoWiki предоставляет ссылки на уже готовые пакетные решения.

Web-ресурс parallel.ru [6] нацелен на информирование пользователей о событиях, происходящих в суперкомпьютерном сообществе (новые технологии, программные продукты и средства разработки параллельного кода, конференции, новые суперкомпьютеры). Кроме этого, данный ресурс оказывает информационно-консультационные услуги в области высокопроизводительных вычислений, такие, как обучение технологиям параллельного программирования, проектирование и настройка кластерных вычислительных систем, предоставление вычислительных ресурсов для проведения реальных вычислений различной сложности и интенсивности и т.п.

Из зарубежных ресурсов подобного типа можно назвать HPCwire [4], который позиционируется его создателями как новостной и информационный ресурс № 1, рассказывающий о самых быстрых компьютерах в мире и людях, которые ими управляют. Этот ресурс ориентирован на специалистов в области науки, техники и бизнеса, заинтересованных в высокопроизводительных и ресурсоемких вычислениях. В HPCwire

освещается много различных тем: от последних новостей и новейших технологий в мире высокопроизводительных вычислений до новых тенденций, экспертного анализа и эксклюзивных функций.

Ряд зарубежных ресурсов также предоставляет пользователям доступ к высокопроизводительным кластерам и обучает работе на них. Все это делается, как правило, на платной основе. Так, например, через сайт группы высокопроизводительных исследовательских вычислений (HPRC group) из Техасского университета [5] можно получить доступ к трем кластерам с общей пиковой производительностью в 947 TF и высокопроизводительным хранилищем в 13,5 PB. Сайт HPRC group также предоставляет консультации, техническую документацию и обучение пользователей этих ресурсов.

Упомянутые выше российские и зарубежные ресурсы систематизируют информацию, относящуюся к суперкомпьютерам и высокопроизводительным вычислениям, не прибегая к онтологиям, что значительно снижает их возможности, как в плане представления знаний и данных, так и удобства доступа к ним. Представление такой информации в виде онтологии позволяет обеспечить не только удобный доступ к ней, но и эффективную поддержку пользователя в выборе оптимальных алгоритмов и параллельных архитектур при решении его прикладных задач за счет возможностей логического вывода на онтологии.

Наиболее близкий к предлагаемому в статье подход описан в работе [8]. Авторы рассматривают использование онтологий и механизмов вывода на онтологии для оказания помощи пользователям в решении вычислительно сложных задач на разнородных вычислительных архитектурах, в частности, на кластерах, снабженных сопроцессорами NVIDIA GPGPUs и Xeon-Phi в дополнение к традиционному процессору Intel. Здесь механизмы вывода на онтологии помогают находить лучшие из возможных решений посредством комбинирования оборудования, программного обеспечения и стратегий планирования. В этой работе демонстрируется применение предложенного подхода к решению задач биоинформатики.

2. Онтология проблемной области. Онтология проблемной области «Решение вычислительно сложных задач математической физики», используемая в создаваемом информационно-аналитическом интернет-ресурсе (ИАИР), построена на основе базовых онтологий научного знания и научной деятельности. Эти онтологии были ранее разработаны в нашем коллективе в рамках технологии построения интеллектуальных научных интернет-ресурсов [2].

Онтология решения вычислительно сложных задач математической физики является многоуровневой. Рассмотрим верхний уровень этой онтологии (рис. 1). Решаемая пользователем *Задача* связана с *Объектами исследования*. Основными объектами в рассматриваемой области являются *Физические объекты* и *Физические явления*, которые изучаются в определенных *Разделах науки* и описываются *Фундаментальными законами природы*, в свою очередь выводимыми на основе *Экспериментов и наблюдений*. *Объекты исследования* рассматриваются в виде приближенной *Физической модели*, описываемой *Математической моделью*, которая формализует *Фундаментальные законы природы*, задается *Системой уравнений* и верифицируется в ходе *Экспериментов и наблюдений*.

Система уравнений разрешается *Численным методом*, который, в свою очередь, реализуется тем или иным *Параллельным алгоритмом*, определяемым, в том числе, *Структурой данных*. *Параллельный алгоритм*, реализующий *Численный метод*,

оптимизируется под имеющуюся в распоряжении пользователя параллельную *Архитектуру* и представляется с помощью определенной *Технологии параллельного программирования*. Итоговое представление *Параллельного алгоритма* кодируется программным *Кодом*, состоящим из набора *Программных компонентов* и исполняемым на параллельной *Архитектуре*.

Описанная онтология, помимо перечисленных выше основных понятий рассматриваемой проблемной области и их взаимосвязей, включает классы онтологии научной деятельности, служащие для представления дополнительной информации о разработанных *Численных методах* и *Параллельных алгоритмах*. В частности, в ней представлена информация о том, в рамках какой деятельности и для какой предметной области они были разработаны и где используются. Кроме того, онтология позволяет описывать информацию о выполняемых исследованиях и об информационных ресурсах, создаваемых и используемых в этих исследованиях, об ученых, сообществах, организациях, вовлеченных в процесс таких исследований, о публикациях, посвященных данным исследованиям. Для этих целей служат классы *Область использования*, *Раздел науки*, *Деятельность*, *Публикация*, *Событие*, *Персона*, *Организация*, *Информационный ресурс*, *Географическое место*, а также отношения «являетсяРезультатом Деятельности», «относитсяКРазделуНауки», «используетсяВДеятельности», «являетсяАвторомПубликации», «описываетсяВПубликации», «представленНаРесурсе» и др.

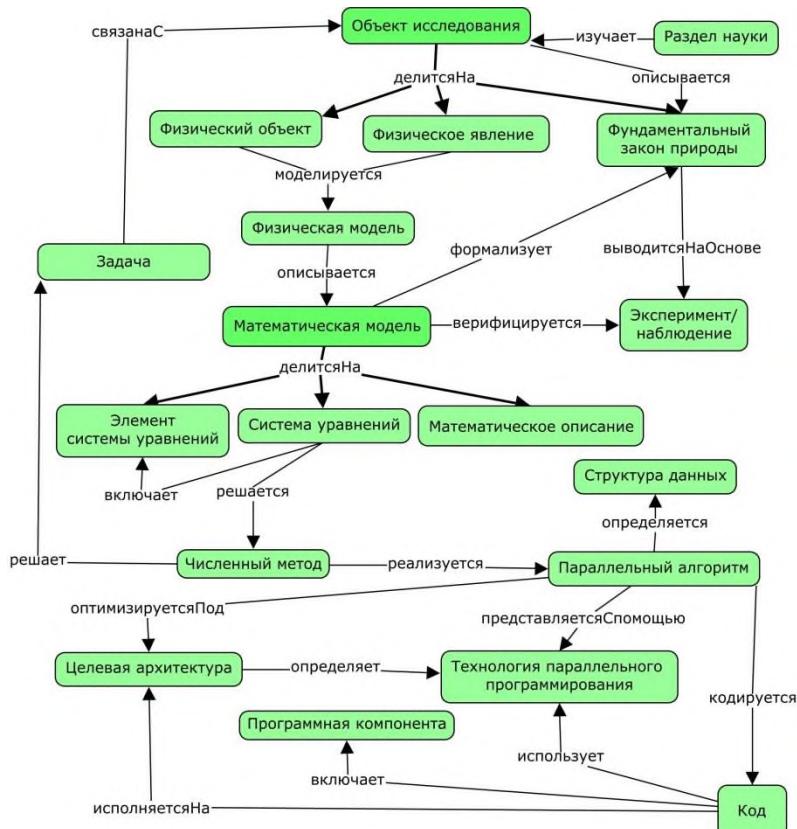


Рис.1. Верхний уровень онтологии «Решение вычислительно сложных задач математической физики».

Онтология решения вычислительно сложных задач математической физики описывается на языке OWL [7]. Она включает в себя описание классов и их свойств – атрибутов классов (Data Properties) и бинарных отношений между объектами классов (Object Properties), а также экземпляры классов (индивидуов), составляющих наполнение базы знаний

конкретными задачами, методами, алгоритмами, программными компонентами и элементами параллельных архитектур.

Для систематизации и облегчения ввода экземпляров понятий онтологии была разработана система паттернов онтологического проектирования [11]. Такие паттерны представляют собой документально зафиксированные описания проверенных на практике решений типовых проблем онтологического моделирования. Они создаются для того, чтобы упорядочить и облегчить процесс построения онтологий и помочь разработчикам избежать типичных ошибок онтологического моделирования [9]. На Рис. 2 показан структурно-содержательный паттерн, описывающий один из основных классов рассматриваемой онтологии – *Численный метод*.

С содержательной точки зрения такой паттерн представляет собой семантическую окрестность центрального понятия, которым в данном случае является класс *Численный метод*. Для этого понятия определены свойства – атрибуты и отношения. Атрибуты представляются как Data Properties для тех свойств, значения которых имеют стандартный тип данных (*Название*, *Описание*, *Устойчивость к возмущениям*, *Абсолютная точность*, *Порядок точности*, *Вычислительная сложность*), или как Object Properties для свойств со значениями из перечислимого типа данных (*Вид решения*, *Тип сетки*, *Дискретизация расчетной области*, *Подход к представлению решения*, реализующий метод *Пакет*). Отношения задают связи объектов рассматриваемого класса с объектами других классов и представляются как Object Properties.

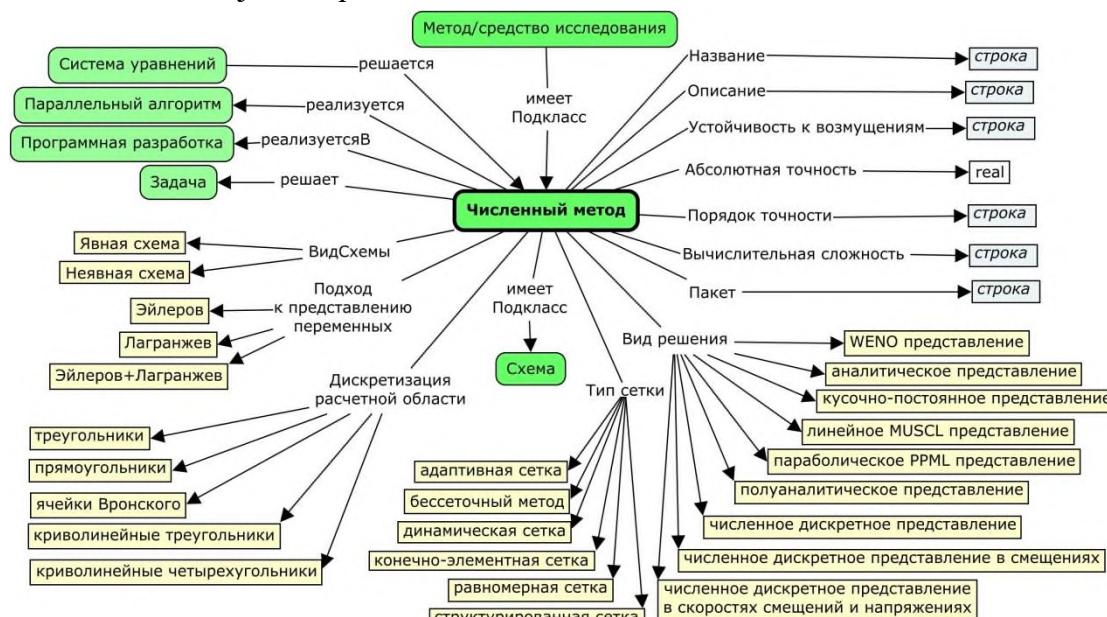


Рис. 2. Структурно-содержательный паттерн для задания экземпляров понятия «Численный метод»

Для построения онтологий и задания аксиом использовался редактор онтологий Protégé 5.2 [10]. Логический вывод в OWL-онтологиях осуществляется на основе аксиом, заданных в онтологии, средствами одной из машин вывода (Pellet, FaCT++, HermiT).

3. Реализация информационно-аналитического интернет-ресурса. На основе описанной выше онтологии был разработан информационно-аналитический интернет-ресурс для поддержки решения вычислительно сложных задач математической физики на суперкомьютере. На рис. 3 показана страница данного ИАИР. В левой части этой страницы

представлены понятия онтологии, организованные в иерархии по отношению «общее-частное». При выборе понятия в центральной части страницы отображается список объектов выбранного класса, а также классов-потомков. Выбор какого-либо объекта из списка позволит отобразить описание свойств этого объекта (атрибутов и связей с другими объектами) в табличном или графическом виде. На рис. 3 представлено описание Схемы MUSCL. Из описания можно узнать, что данная схема имеет 1-ый Порядок точности по времени и 2-ой по пространству. MUSCL – это Явная схема, которая использует сетки разного типа, а также Лагранжев и Эйлеров Подходы к представлению переменных. Объекты, с которыми связан рассматриваемый объект, представлены на его странице гиперссылками. Переходя по этим ссылкам, можно выполнять навигацию по контенту интернет-ресурса и получать описания интересующих объектов.

Для создания ресурса была использована технология разработки интеллектуальных научных интернет-ресурсов [2], которая предоставляет оболочку интернет-ресурса, набор базовых онтологий и методику построения онтологии с их использованием. Методика предполагает разработку системы понятий онтологии (T-Box) средствами редактора Protégé.

The screenshot shows a web-based knowledge management system. At the top, there's a navigation bar with links to 'Главная', 'Онтология', 'О ресурсе', a search icon, and 'Выход (admin)'. Below the header, the main title is 'ПОДДЕРЖКА РЕШЕНИЯ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНО СЛОЖНЫХ ЗАДАЧ НА СУПЕРКОМПЬЮТЕРАХ'. To the right of the title is a decorative image of a server rack. On the left, there's a sidebar with a tree view of concepts like 'Задача', 'Информационный ресурс', etc. The main content area is divided into sections: 'Свойства объекта' (Properties of the object), 'Связи объекта' (Object relationships), and 'реализует' (Implements). The 'Свойства объекта' section contains a table with rows for 'Название' (MUSCL - Монотонная восходящая схема для законов сохранения), 'Описание' (Явная монотонная противопотоковая схема для законов сохранения, обеспечивает высокоточные численные решения даже в тех случаях, когда решения имеют толчки, разрывы или большие градиенты), 'Порядок точности' (1-ый по времени, 2-ой по пространству), 'Тип сетки' (адаптивная сетка, динамическая сетка, конечно-элементная сетка, равномерная сетка, структурированная сетка), 'Подход к представлению переменных' (Лагранжев подход, Эйлеров подход), and 'Вид схемы' (Явная схема). The 'Связи объекта' section shows relationships: 'реализует' leads to 'Метод / средство исследования' (Годунова метод, конечных объемов), which in turn leads to 'реализуется в Программной разработке' (Heracles, ART, AREPO).

Рис. 3. ИАИР для поддержки решения вычислительно сложных задач математической физики на суперкомьютерах

Наполнение ресурса, ввод конкретных объектов и их свойств (A-Box) может быть выполнено как в редакторе Protégé, так и в специализированном редакторе данных [1], входящем в состав оболочки интернет-ресурса. Этот редактор поддерживает работу с онтологическими паттернами содержания. При задании нового объекта некоторого класса редактор отображает семантическую окрестность типового объекта данного класса (его

свойства и связи с другими объектами), позволяя пользователю задавать значения свойств создаваемого объекта или выбирать эти значения/связанные объекты из списка возможных значений/объектов. На рис. 4 представлена страница редактора, которая отображает структурно-содержательный паттерн, показанный на рис. 2, а также атрибуты и отношения, унаследованные классом *Численный метод* от родительского класса *Метод/средство исследования*. В основном, это свойства, описанные в онтологии научной деятельности.

Значения атрибутов стандартных типов вводятся пользователем с клавиатуры. Доменные значения атрибутов выбираются из выпадающего списка. Объекты, с которыми связан создаваемый или редактируемый объект, также выбираются из выпадающего списка.

Редактирование экземпляра

Свойства

| | | |
|--|---|----------------------------|
| Название | ru MUSCL - Монотонная восходящая схема для законов сохранения | x |
| Описание | ru Явная монотонная противопотоковая схема для законов сохранения | x |
| Дата возникновения | | |
| Устойчивость к возмущениям | | |
| Порядок точности | ru 1-ый по времени ru 2-ой по пространству | x x |
| Абсолютная точность | | |
| Вычислительная сложность | | |
| Тип сетки | аддитивная сетка динамическая сетка конечно-элементная сетка равномерная сетка структурная сетка структурная сетка | x x x x x x |
| Подход к представлению переменных | | |
| Вид решения | аддитивная сетка | |
| Вид схемы | бессеточный метод динамическая сетка | x |
| Дискретизация расчетной области | конечно-элементная сетка равномерная сетка | |

Связи

- используется в Деятельности
- решает Задачу
- представлен на Ресурсе
- использует
- использует Метод
- реализует

Метод / средство исследования

| | |
|--|----------------|
| MUSCL - Монотонная восходящая схема для законов сохранения | Метод Годунова |
|--|----------------|

| | |
|--|------------------------|
| MUSCL - Монотонная восходящая схема для законов сохранения | Метод конечных объемов |
|--|------------------------|

Рис. 4. Редактор данных. Паттерн для задания экземпляров понятия «Численный метод»

Заключение. В статье представлен подход к разработке информационно-аналитического интернет-ресурса, предназначенного для поддержки решения вычислительно сложных задач математической физики на суперкомпьютерах. Данный ресурс обеспечивает пользователя подробным систематизированным описанием параллельных алгоритмов и архитектур и предоставляет ему содержательный доступ к детальным описаниям имеющихся в наличии параллельных архитектур и используемых в них устройств, доступных программных компонентов, реализующих параллельные алгоритмы и фрагменты

параллельного кода, а также к публикациям и информационным ресурсам, описывающим данную проблемную область.

Использование онтологии в качестве базиса такого ресурса позволяет обеспечить не только удобный доступ ко всей перечисленной выше информации, но и эффективную поддержку пользователя в выборе оптимальных алгоритмов и параллельных архитектур при решении его прикладных задач за счет возможностей логического вывода на онтологии.

Работа выполнена при частичной финансовой поддержке РФФИ (гранты № 19-07-00085 и № 19-07-00762).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ахмадеева И.Р., Серый А.С., Шестаков В.К. Некоторые особенности реализации платформы для построения информационно-аналитических интернет-ресурсов // Информационные и математические технологии в науке и управлении. 2017. № 3 (7). С. 168-175.
2. Загорулько Ю.А., Загорулько Г.Б., Боровикова О.И. Технология создания тематических интеллектуальных научных интернет-ресурсов, базирующаяся на онтологии // Программная инженерия. 2016. № 2(7). С. 51-60.
3. Сайт AlgoWiki. Открытая_энциклопедия_свойств_алгоритмов. Режим доступа: <https://algowiki-project.org/tu/> (дата обращения: 15.07.2020)
4. Сайт HPCwire. Режим доступа: <https://www.hpcwire.com/> (дата обращения: 15.07.2020)
5. Сайт HPRC. Режим доступа: <https://hprc.tamu.edu/> (дата обращения: 15.07.2020)
6. Сайт Parallel.ru. Режим доступа: <https://parallel.ru/> (дата обращения: 15.07.2020)
7. Antoniou G., Harmelen F. Web Ontology Language: OWL // Handbook on Ontologies. Berlin: Springer Verlag. 2004. Pp. 67-92.
8. Compton M., Barnaghi P., Bermudez L., García-Castro R., Corcho O., Cox S., Graybeal J., Hauswirth M., Henson C., Herzog A., et al. The SSN Ontology of the W3C Semantic Sensor Network Incubator Group. Web Semant. Sci. Serv. Agents World Wide Web. 2012. Vol. 17. Pp. 25-32.
9. Gangemi A., Presutti V. Ontology Design Patterns // Handbook on Ontologies. Berlin: Springer. 2009. Pp. 221-243.
10. Protégé. Режим доступа: <https://protege.stanford.edu> (дата обращения: 05.01. 2019).
11. Zagorulko, Y., Borovikova, O., Zagorulko, G., 2018. Development of Ontologies of Scientific Subject Domains Using Ontology Design Patterns // Communications in Computer and Information Science. 2018. Vol. 822. Pp. 141-156.
12. Zagorulko G., Zagorulko Y., Glinskiy B., Sapetina A. Ontological Approach to Providing Intelligent Support for Solving Compute-Intensive Problems on Supercomputers // Kuznetsov S., Panov A. (eds) Artificial Intelligence. RAI 2019. Communications in Computer and Information Science. 2019. Vol. 1093. Pp. 363-375.

INFORMATION AND ANALYTICAL SUPPORT OF SOLVING COMPUTE-INTENSIVE PROBLEMS ON SUPERCOMPUTERS

Yury A. Zagorulko

Dr., Head of Laboratory "Artificial Intelligence", e-mail: zagor@iis.nsk.su,

Galina B. Zagorulko

Researcher, e-mail: gal@iis.nsk.su,

Vladimir K. Shestakov

Junior Researcher, e-mail: shestakov@iis.nsk.su,

A.P. Ershov Institute of Informatics Systems

Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences

6, Acad. Lavrentjev pr., 630090, Novosibirsk, Russia.

Anna F. Sapetina

Junior Researcher, e-mail: sapetina@sscc.ru,

Institute of Computational Mathematics and Mathematical Geophysics

Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences,

6, Acad. Lavrentjev pr., 630090, Novosibirsk, Russia.

Annotation. The paper presents an approach to the development of an information-analytical Internet resource to support of solving compute-intensive problems of mathematical physics on supercomputers. The basis of this resource is a multilevel ontology, which is built using ontologies of scientific knowledge and scientific activity. For effective information and analytical support of users, it is very important to provide a detailed systematized description of parallel algorithms and architectures, a fairly complete description of available software components that implement parallel algorithms and fragments of parallel code, available parallel architectures and devices used in them, as well as publications and information resources describing this problem area.

Keywords: solving compute-intensive problems on supercomputers, parallel algorithms, parallel architectures, ontology, information-analytical Internet resource

References

1. Ahmadeeva I.R., Seryj A.S., Shestakov V.K. Nekotorye osobennosti realizacii platformy dlya postroeniya informacionno-analiticheskikh internet-resursov [Some features of implementation of the platform for building information-analytical Internet resources] // Informacionnye i matematicheskie tekhnologii v naune i upravlenii = Information and mathematical technologies in science and management. 2017. № 3 (7). Pp. 168-175. (in Russian).
2. Zagorulko Yu.A., Zagorulko G.B., Borovikova O.I. Tekhnologija sozdanija tematicheskikh intellektual'nykh nauchnykh internet-resursov, bazirujushchajasja na ontologii [Technology for building subject-based intelligent scientific internet resources based on ontology] // Programmnaja inzhenerija = Software Engineering. 2016. №. 2. Pp. 51-60. (in Russian)
3. AlgoWiki website. Open Encyclopedia of Algorithm Properties. Available at:

- <https://algowiki-project.org/ru/>, accessed 15.07.2020 (in Russian)
4. HPCwire. website. Available at: <https://www.hpcwire.com/>, accessed 15.07.2020
 5. HPRC website. Available at: <https://hprc.tamu.edu/>, accessed 15.07.2020
 6. Parallel.ru. website. Available at: <https://parallel.ru>, accessed 15.07.2020 (in Russian)
 7. Antoniou, G., Harmelen, F.: Web Ontology Language: OWL. // Handbook on Ontologies. Berlin: Springer Verlag. 2004. Pp. 67-92.
 8. Compton M., Barnaghi P., Bermudez L., García-Castro R., Corcho O., Cox S., Graybeal J., Hauswirth M., Henson C., Herzog A., et al. The SSN Ontology of the W3C Semantic Sensor Network Incubator Group. Web Semant. Sci. Serv. Agents World Wide Web. 2012. Vol. 17. Pp. 25-32.
 9. Gangemi A., Presutti V. Ontology Design Patterns // Handbook on Ontologies. Berlin: Springer. 2009. Pp. 221-243.
 10. Protégé. <https://protege.stanford.edu>, accessed 05.01. 2019.
 11. Zagorulko Y., Borovikova O., Zagorulko G., Development of Ontologies of Scientific Subject Domains Using Ontology Design Patterns. // Communications in Computer and Information Science. 2018. Vol. 822. Pp. 141-156.
 12. Zagorulko G., Zagorulko Y., Glinskiy B., Sapetina A. Ontological Approach to Providing Intel-ligent Support for Solving Compute-Intensive Problems on Supercomputers // Kuznetsov S., Panov A. (eds) Artificial Intelligence. RCAI 2019. Communications in Computer and Information Science. 2019. Vol. 1093. Pp. 363-375.

ИНФОРМАЦИОННАЯ СИСТЕМА ДЛЯ АНАЛИЗА И МОДЕЛИРОВАНИЯ СОЦИАЛЬНОГО И ЭКОНОМИЧЕСКОГО РАЗВИТИЯ РЕГИОНА

Романчуков Сергей Викторович

аспирант отделения Информационных технологий Инженерной школы

информационных технологий и робототехники (ИШИТР),

e-mail: inoytomsk@yandex.ru,

Лызин Иван Александрович

аспирант отделения Информационных технологий ИШИТР,

e-mail: i-lyzin@mail.ru,

Марухина Ольга Владимировна

доцент, к.т.н. отделения Информационных технологий ИШИТР,

e-mail: marukhina@tpu.ru,

Россия, 634050, г. Томск, пр-т Ленина 30, Томский политехнический университет.

Аннотация. Предложен подход к разработке информационной модели, описывающей взаимосвязь социальных и экономических факторов инновационного развития региона РФ. В процессе исследования применялись диалектический подход, методы системного анализа, статистических группировок, факторного и кластерного анализа, информационного моделирования на основе информационных сетей, машинного обучения, нейросетевых моделей, нечёткой логики и др. Разработанная математическая модель и программный комплекс могут быть использованы в работе департаментов инвестиций и целевых программ региональных администраций с целью повышения эффективности проводимой в стране государственной социальной политики.

Ключевые слова: Информационная система, многомерные данные, анализ данных, социально-экономическое развитие, компьютерное моделирование, логические правила, нейронные сети.

Цитирование: Романчуков С.В., Лызин И.А., Марухина О.В. Информационная система для анализа и моделирования социального и экономического развития региона // Информационные и математические технологии в науке и управлении. 2020. № 3 (19). С. 96-104
DOI:10.38028/ESI.2020.19.3.010.

Введение. Информационные технологии уже достаточно давно проникли в науки об обществе. В настоящее время в социальных исследованиях широко используются различные математико-статистические методы обработки информации, реализованные в программных приложениях с применением современных информационных технологий. На этапе обработки результатов исследования наиболее популярными являются пакеты статистического анализа данных, такие, как SPSS, Statistica, STATGRAPHICS.

Проблема информационной поддержки социальных и экономических исследований актуальна не первый год, и по этой теме опубликовано достаточно большое количество материалов, однако даже их авторы зачастую отмечают тот факт, что разработанные в

рамках информационных технологий компьютерные приёмы решения социологических задач остаются неизвестными большинству социологов и психологов и потому зачастую не внедряются в реальную каждодневную практику исследовательских групп. Кроме того, акценты в большинстве подобных публикаций смещены в сторону задач анализа и обработки социологических данных, которые является важными и значимыми, но отнюдь не единственными проблемами.

Таким образом, междисциплинарный подход, предполагающий совместное рассмотрение социальных и экономических факторов с более широким использованием методов, предлагаемых ИТ-сферой, имеет право на существование. Перспективными представляются разработка нейросетевой модели, описывающей состояние целевых регионов, и создание автоматизированной системы, объединяющей потоки данных из разных статистических источников и использующей новые данные для прогнозирования будущего состояния регионов и постоянного дообучения моделей [6].

Объект исследования – социально-экономическая структура региона как единая система, представленная рядом статистических и экономических показателей, оценок уровня инновационного развития, социальное самочувствие региона, представленное т.н. "портретом региона" и рядом статистических показателей, сформированных по выборкам региональных социологических опросов.

Предметом исследования являются достоверные взаимосвязи между показателями социального самочувствия и инновационного развития региона.

Исследование заключается в разработке информационной модели, описывающей взаимосвязь социальных и экономических факторов инновационного развития региона РФ, обладающей достаточной точностью, предсказательной силой и пригодной для проведения вычислительных экспериментов с достоверными (статистически значимыми) результатами.

Формирование и подготовка массива статистических данных. Экспертные мнения и оценки позволили систематизировать источники статистических данных и места поиска в Интернете, связанные с инновационным развитием исследуемой отрасли и динамикой регионов – объектов исследования, включая официальные источники, такие, как:

- материалы, представленные на сайтах Федеральной службы государственной статистики (и её региональных отделений);
- материалы Всероссийского центра изучения общественного мнения (ВЦИОМ);
- рейтинги и материалы Ассоциации инновационных регионов России (АИРР);
- матрицы данных проекта "Социокультурный портрет региона" и других исследовательских коллективов, занимающихся региональной компартистикой¹ [3];
- ряд зарубежных источников, включая материалы Всемирного Банка (уступают российским в детализации точности, но небезинтересны для сопоставления);
- ежегодные сборники опросов Левада-центра (оппозиционный источник добавлен в пул наравне с официальными государственными структурами для обеспечения политической непредвзятости исследования).

При этом источники данных ранжируются в зависимости от своего авторитета, регулярности, надёжности и частоты обновлений. Ключевая роль отводится данным

¹ Компаративистика (от лат. *comparativus* – сравнительный) – исследования социально-экономических систем через их сравнение.

Федеральной службы государственной статистики и ВЦИОМ, остальные источники служат на вспомогательных ролях для уточнения данных, заполнения временных промежутков, пропущенных по тем или иным причинам, если эти данные ложатся на общую линию тренда [1].

При наличии противоречащих данных об одном и том же временном интервале приоритет отдаётся официальным российским источникам, поддержанным РАН, РФФИ, РГНФ и иными научными, а также государственным структурам РФ, осуществляющим наблюдения на продолжительном отрезке времени и с достаточной регулярностью (как минимум – ежегодно).

Формирование исходного массива данных проходило в несколько этапов.

1. Получение исходных таблиц. Исходные данные достаточно разнородные:
 - a. Разные источники.
 - b. Разный формат отчётов.
 - c. Разная гранулярность.
 - d. Разные шкалы.
2. На их основе сформированы более обобщённые сводные таблицы:
 - a. Единая гранулярность: регион + временная метка.
 - b. Снижение размерности.
 - c. Подготовка к последующей обработке.

К накопленным данным были применены методы разведочного корреляционного и кластерного анализа, а также методы анализа, построенные на алгоритмах визуализации временных рядов, разработанные в кооперации с коллективом исполнителей проекта РФФИ №18-07-00543. Проведение разведочного анализа позволило сократить размерность сформированного массива данных, выделив в исходной выборке наборы линейно-зависимых переменных и латентные переменные (факторы). Помимо этого, многие алгоритмы чувствительны к наличию в массиве данных коррелированных переменных, что потребовало их удаления. Первая итерация была проведена полностью вручную – начиная с запроса данных на сайтах-источниках и заканчивая их трансформациями.

Для последующего повторного (и регулярного) извлечения информации из выбранных источников, автоматического отслеживания обновлений была необходима разработка соответствующих алгоритмов парсинга, ориентированных на структуру и особенности выбранных сайтов, и последующее построение ETL-процесса (extract-transform-load – извлечение, трансформация и сохранение) по автоматизированному извлечению данных из выбранных источников, в случае обновления последних. С этой целью было создано приложение-парсер, осуществляющее семантический анализ соответствующих веб-страниц, извлечение данных, соответствующих заданным формальным признакам, сопоставление их с уже имеющимися в таблицах и внесение корректива в таблицы. Для решения этой задачи в рамках договора гражданско-правового характера был привлечён сторонний специалист с квалификацией программиста-разработчика [8].

Построение ETL-процесса. Парсинг источников данных, как уже было сказано, даёт нам набор разнородных таблиц. Для формирования итогового массива данных необходимо построение полноценного ETL-процесса, заполнение промежуточных таблиц и формирование итогового массива, согласно ранжированию источников данных (в соответствии с вышеупомянутыми соображениями авторитетности, регулярности и

новизны). Традиционный процесс ETL, в котором вы переносите и обрабатываете данные партиями из исходных баз данных в хранилище данных, следуя передовым методикам ETL, включает в себя:

1. Подготовительный этап. Создание набора данных, который определяет диапазон допустимых значений.
2. Извлечение данных. Основой успеха последующих шагов ETL является правильное извлечение данных и объединение данных из нескольких исходных систем, каждая из которых имеет свою собственную организацию и формат. Данные преобразуются в единый формат для стандартизированной обработки.
3. Валидация данных. Проверка, лежат ли данные, полученные из источников, в ожидаемых диапазонах и форматах. Отклонение новых данных, если они не соответствуют заданной структуре.
4. Преобразование данных. Очистка, повторная проверка и агрегирование данных.
5. Стейджинг. Заполнение промежуточной базы данных, диагностика устранение проблем с данными перед загрузкой преобразованных данных в целевое хранилище данных.
6. Загрузка данных непосредственно в целевые таблицы.

Уже на начальном этапе происходит первичное преобразование данных – оно включает в себя назначение метаданных для записей о принадлежности к одной из трех групп источников, адрес источника и необходимость обновления данных, добавление оценки достоверности/надежности источника по десятибалльной шкале, добавление/обновление временных меток, нормализация переменных.

Последний термин должен быть проиллюстрирован на примере различных исследований, опубликованных в разных источниках; оценивали такую переменную, как «уровень доверия к сотрудникам правоохранительных органов». В отчётах, опубликованных в этих источниках, данная переменная выражена в разных шкалах (пятибалльной и десятибалльной, в одной шкале более высокая оценка соответствует большей степени достоверности, и наоборот в другой). Перед сохранением и использованием данных на этом этапе необходимо привести их к единому стандарту, в котором эти данные будут записываться в своей собственной базе данных, и определить правило переноса информации из различных источников в этот стандарт [7].

После выполнения этой процедуры нормализованные данные загружаются во временное (буферное) хранилище. Отсюда они извлекаются для агрегации – формирования из нескольких переменных одного типа одной итоговой, которая впоследствии будет загружена в основное хранилище данных и будет пригодна для дальнейшего анализа [10].

После этого преобразования данные загружаются в основное хранилище данных и могут использоваться для дальнейшего анализа, однако ETL-процесс заканчивается сохранением данных в конечном хранилище. В нашем случае в качестве такого хранилища выступают сервисы Google. На следующем этапе поверх настроенного ETL-процесса был построен прототип информационной системы для исследования взаимосвязей и моделирования процессов социально-экономического развития региона, для которого сейчас проводятся эксперименты, опирающийся на программные продукты, активно используемые зарубежным бизнесом и наукой:

- использован модуль построения карт отношений между переменными и деревьями решений среды Answer Miner, позволяющий легче обнаруживать и интерпретировать

взаимосвязи в системе – эта среда имеет хорошие инструменты визуализации результатов и очень удобна для восприятия человеком;

- прогнозирование настроено с использованием нейросетевых (deepnet) моделей в среде BigML; обе эти платформы поддерживают импорт и автоматическое обновление данных из облачной среды Google, используемой нами как промежуточное хранилище.

Автоматизированное обучение нейронной сети. Для обучения непосредственно нейросетевой составляющей была выбрана среда BigML – эта онлайн-платформа существенно облегчает процесс не только конфигурации и обучения нейронной сети, но и последующего развертывания полученной модели, выделения ресурсов для её функционирования и обеспечения непрерывной доступности в сети Интернет. Гибкий и достаточно мощный API среды обеспечивает взаимодействие с внешними программными решениями, что позволяет автоматизировать загрузку данных в среду и получение результатов [9].

Подбор параметров нейронной сети: общеизвестна чувствительность глубоких нейронных сетей к выбранной топологии и алгоритму, используемому для оптимизации их параметров. Эта чувствительность означает, что ручная настройка топологии и алгоритма оптимизации может быть сложной и трудоемкой, поскольку число вариантов, которые приводят к неудачным решениям, как правило значительно превосходит число вариантов, которые приводят к построению хороших нейросетевых моделей [4].

Для решения этой проблемы допустимо использование средств автоматического поиска топологии сети и оптимизации параметров, основанный на алгоритмах гиперполосы (eng. “hyperband algorithm”), однако вместо случайного отбора кандидатов для оценки мы используем метод сбора данных, основанный на байесовской оптимизации параметров [2].

Автоматизированное построение предположений о структуре: BigML предлагает быстрый метод, который также может дать качественные результаты. Суть его состоит в формализации общих правил о построении нейросетей, предположениях о том, что делает одну сетевую структуру лучше, чем другая для того или иного набора данных. BigML затем автоматически предлагает структуру и набор значений параметров, которые, к структуре предложенного набора данных. Результат можно получить быстро, но он будет единственным и сильно зависящим от корректности указания правил и определения природы входных данных [5].

Автоматический поиск параметров сети: более ресурсозатратный и длительный процесс, гарантирующий, однако, более глубокие результаты. Во время создания Deepnet среда получает задачу обучить и оценить все возможные конфигурации сети, возвращая лучшие сети, найденные решения для заданной проблемы. Компромиссное решение между верхними «n» сетями, найденными в поиске, даёт нам искомое решение. Схематически данный процесс изображён на рис. 1.

Поскольку этот вариант создает и обучает несколько сетей, он значительно более требователен к ресурсам, но полученные результаты окупают затраченное время и задействованные вычислительные мощности. Ресурсов, предоставляемых облачной средой BigML достаточно для выбора данного варианта.

Для решения задач классификации и построения регрессии (наш вариант) возможно использование углублённых алгоритмов OptiML. OptiML – это способ автоматизации процессов оптимизации при выборе и параметризации (или гипер-параметризации) модели.

Он также использует байесовскую оптимизацию параметров для выбора модели и настройки коэффициентов. Метод основан на последовательных алгоритмах конфигурации, зависимых от параметров модели (sequential model-based algorithm configuration, SMAC), которые последовательно тестируют группы параметров обучения и оценки моделей (используя методы Монте-Карло для кросс-валидации) и, основываясь на результатах, подбирает новую группу параметров. Когда процесс заканчивается, возвращается список самых эффективных моделей из числа рассмотренных. Основные параметры OptiML определяют, насколько интенсивно будет выполняться поиск, путем установки максимального времени обучения и количества оценок, списка допустимых алгоритмов машинного обучения, которые вообще имеет смысл оценивать [11].

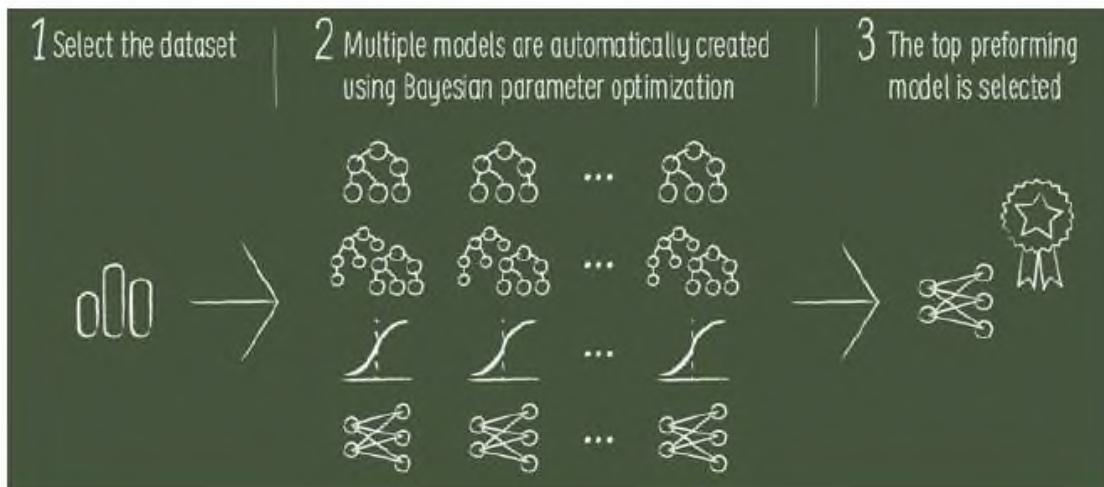


Рис. 1. Стадии автоматизированного создания модели

Для мониторинга прогресса моделей, которые проходят обучение и оценку, на информационной панели будут отображаться: прошедшее время, текущая серия F-мер с указанием оценок и счетчик количества созданных ресурсов, как это показано на рис. 2. Иконки на левой части экрана показывают количество моделей по типам: деревья решений, ансамбли, глубокие нейронные сети, регрессионные модели



Рис. 2. Процесс автоматизированной оптимизации модели

После завершения процесса OptiML в сводном представлении отображаются общее количество созданных и выбранных ресурсов и моделей, а также общее время и количество обработанных данных. После завершения процесса мы получаем набор моделей, являющихся наиболее эффективными в соответствии с метрикой оценки, первоначально выбранной для анализа.

Заключение. В результате проведенного исследования был решен ряд научно-технических задач, а именно:

- подготовка данных к статистической обработке и глубинному анализу;
- выявление в доступных статистических данных значимых факторов, сокращение размерности факторного пространства;
- проведение разведочного анализа пространства факторов с целью поиска закономерностей и взаимосвязей;
- определение структуры информационной модели и выбор оптимальных технологических решений для её реализации;
- программная реализация информационной модели;
- проведение испытаний разработанного решения.

Основные положения исследования нашли своё применение при реализации проектов, поддержанных РФФИ: “Проблемы социокультурной эволюции России и ее регионов”, “Интеллектуальная система поддержки принятия управлеченческих решений по инновационному развитию региональных научно-медицинских центров” и “Анализ и моделирование взаимосвязей параметров социального и экономического развития региона”.

Отдельные положения и элементы системы нашли коммерческое применение при планировании региональной стратегии развития российского подразделения международной ИТ-компании Improvado.

Благодарности. Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ и МОКНСМ в рамках научных проектов № 18-07-00543, № 20-07-00250-а и № 20-57-44002.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Айвазян С.А., Бухштабер В.М., Енюков И.С., Мешалкин Л.Д. Прикладная статистика. Классификация и снижение размерности: справочное издание / Под ред. С.А. Айвазяна. М.: Финансы и статистика. 1989. 607с.
2. Васенков Д.В. Методы обучения искусственных нейронных сетей//Компьютерные инструменты в образовании. 2007. № 1. С. 20-29.
3. Горшков А.В. Региональная компаративистика: теория и практика. Вестник ЧелГУ. 2002. №1(8). С. 46-50.
4. Марухина О.В., Берестнева О.Г., Шаропин К.А., Берестнева Е.В., Жаркова О.С. Выявление скрытых закономерностей на основе интеллектуального анализа данных // Информационные технологии в науке, образовании и управлении материалы XLIV международной конференции и XIV международной конференции молодых учёных IT S&E'16. под редакцией Е.Л. Глориозова. Москва. 2016. С.143-148.
5. Романчуков С.В., Берестнева О.Г., Петрова Л.А. Обучение нейронной сети, моделирующей социально-экономическое развитие региона // Цифровая социология. 2019. Том №2. С. 34-40.

6. Толстова Ю.Н. Социология и компьютерные технологии//Социологические исследования. 2015. № 8. С. 3-13.
 7. Ashurova Z., Tikhomirov A., Trufanov A., Kinash N., Berestneva O., Rossodivita A. Network platform of program governance for e-health service // Proceedings of the 12th international scientific and technical conference on computer sciences and information technologies, CSIT. 2017. Pp. 71-74.
 8. Berestneva O.G., Marukhina O.V., Romanchuk S.V., Berestneva E.V. Visualization and Cognitive Graphics in Medical Scientific Research. Lecture Notes in Computer Science, Lecture Notes in Computer Science. 2019. Tom 11466. Pp. 433-444.
 9. Berestneva O., Marukhina O., Rossodivita A., Tikhomirov A., Trufanov A. Networkalization of network-unlike entities: how to preserve encoded information // Communications in computer and information science. 2019. Tom: 1083. Pp. 143-151.
 10. James G. (2003). Variance and Bias for General Loss Functions//Machine Learning. Режим доступа: <http://www-bcf.usc.edu/~gareth/research/bv.pdf>.
 11. Romanchuk S.V., Berestneva O.G., Ivankina L.I. Population security and social confidence level markers factorisation (based on Tomsk Region studies). 2019. Part 2. Pp. 98-104.
-

UDK 517:316.4

**INFORMATION SYSTEM FOR ANALYSIS AND MODELING OF SOCIAL AND
ECONOMIC DEVELOPMENT OF THE REGION**

Sergey V. Romanchukov

PhD-student, Department of information technology,
e-mail: inoytomsk@yandex.ru,

Ivan A. Lyzin

PhD-student, Department of information technology,
e-mail: i-lyzin@mail.ru,

Olga V. Marukhina

PhD, researcher, Department of information technology,
e-mail: marukhina@tpu.ru,

Russia, 634050, Tomsk, Lenin avenue 30, Tomsk Polytechnic University.

Abstract. An approach to the development of an information model describing the relationship between social and economic factors of innovative development of the Russian Federation region is proposed. The research applied dialectical approach, methods of system analysis, statistical groupings, factor and cluster analysis, information modeling based on information networks, machine learning, neural network models, fuzzy logic, etc. The developed mathematical model and software package can be used in the work of investment departments and target programs of regional administrations to increase the effectiveness of the state social policy in the country.

Keywords: Information system, multidimensional data, data analysis, socio-economic development, computer simulation, logical rules, neural network.

References

1. Ajvazyan S.A., Buhshaber V.M., Enyukov I.S., Meshalkin L.D. Prikladnaya statistika. Klassifikaciya i snizhenie razmernosti: spravochnoe izdanie [Applied statistics. Classification and dimensionality reduction: reference edition]/ Pod red. S.A. Ajvazyana. M.: Finansy i statistika = Finance and statistics. 1989. 607p.
2. Vasenkov D.V. Metody obucheniya iskusstvennyh nejronnyh setej [Methods of training artificial neural networks] //Komp'yuternye instrumenty v obrazovanii = Computer tools in education. 2007. № 1. Pp. 20–29.
3. Gorshkov A.V.. Regional'naya komparativistika: teoriya i praktika. [Regional comparative studies: theory and practice]. Vestnik ChelGU = Vestnik ChelSU. 2002. № 1 (8). Pp. 46-50.
4. Maruhina O.V., Berestneva O.G., Sharopin K.A., Berestneva E.V., ZHarkova O.S. Vyyavlenie skrytyh zakonomernostej na osnove intellektual'nogo analiza dannyh [Identifying hidden patterns based on data mining] // Informacionnye tekhnologii v nauke, obrazovanii i upravlenii materialy XLIV mezhdunarodnoj konferencii i XIV mezhdunarodnoj konferencii molodyh uchyonyh IT S&E`16. pod redakciej E.L. Gloriozova = Information technologies in science, education and management proceedings of the XLIV international conference and the XIV international conference of young scientists IT S&E`16. edited by E. L. Gloriozov, Moskva. 2016. Pp.143-148.
5. Romanchukov S.V., Berestneva O.G., Petrova L.A. Obuchenie nejronnoj seti, modeliruyushchej social'no-ekonomicheskoe razvitiye regiona [Training of a neural network that models the socio-economic development of the region]. Cifrovaya sociologiya = Digital sociology. 2019. Vol. №2. Pp. 34-40.
6. Tolstova YUN. Sociologiya i komp'yuternye tekhnologii [Sociology and computer technology] //Sociologicheskie issledovaniya = Sociological research. 2015. № 8. Pp. 3–13.
7. Ashurova Z., Tikhomirov A., Trufanov A., Kinash N., Berestneva O., Rossodivita A. Network platform of program governance for e-health service // Proceedings of the 12th international scientific and technical conference on computer sciences and information technologies, CSIT. 2017. Pp. 71-74.
8. Berestneva O.G., Marukhina O.V., Romanchuk S.V., Berestneva E.V. Visualization and Cognitive Graphics in Medical Scientific Research. Lecture Notes in Computer Science, Lecture Notes in Computer Science. 2019.Tom 11466. Pp. 433-444.
9. Berestneva O., Marukhina O., Rossodivita A., Tikhomirov A., Trufanov A. Networkalization of network-unlike entities: how to preserve encoded information // Communications in computer and information science. 2019. Vol. 1083. Pp. 143-151.
10. James G. (2003). Variance and Bias for General Loss Functions//Machine Learning. Available at: <http://www-bcf.usc.edu/~gareth/research/bv.pdf>. (accessed: 20.07.2020).
11. Romanchuk S.V., Berestneva O.G., Ivankina L.I. Population security and social confidence level markers factorisation (based on Tomsk Region studies). 2019. Part 2. Pp. 98-104.

УДК 519.25

АНАЛИЗ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОГО ПОТЕНЦИАЛА РЕГИОНОВ

Полисадова Алена Игоревна

аспирант, Институт прикладной математики и компьютерных наук,

Национальный исследовательский Томский государственный университет (НИ ТГУ),

e-mail: mozgaleva.alena@mail.ru,

Берестнева Ольга Григорьевна

д.т.н., профессор, профессор, кафедра теоретических основ информатики,

Институт прикладной математики и компьютерных наук, НИ ТГУ,

634050, г. Томск, пр. Ленина, 36, e-mail: ogb6@yandex.ru.

Аннотация. Рассмотрена структура интеллектуального потенциала и исследована взаимосвязь показателей интеллектуального потенциала для нескольких регионов Сибирского федерального округа при помощи корреляционного анализа. Показано, что в большинстве регионов Сибирского федерального округа наблюдается практически одинаковая структура корреляционных связей между показателями интеллектуального потенциала, что может быть обусловлено наличием «сходных» социально-экономических факторов формирования интеллектуального потенциала в данных регионах.

Ключевые слова: интеллектуальный потенциал, Сибирский федеральный округ, корреляционный анализ, образовательный потенциал, научный потенциал.

Цитирование: Полисадова А.И., Берестнева О.Г. Анализ показателей интеллектуального потенциала регионов // Информационные и математические технологии в науке и управлении. 2020. № 3 (19). С. 105-113. DOI:10.38028/ESI.2020.19.3.011.

Введение. В настоящее время интеллектуальный потенциал (ИП) общества является одним из главных факторов и ресурсов экономики знаний, включающих распределенное и эффективное использование человеческих способностей и навыков, образования, научных исследований, а также производственных и информационных технологий [3, 12]. Определение и формирование интеллектуального капитала рассматривают многие зарубежные и отечественные исследователи [2, 4, 6-11, 13].

Комаров С.В., Мухаметшин А.Н. в [4] анализируют основную методику определения интеллектуального потенциала зарубежных и отечественных авторов. В ходе анализа сформировано общее определение и структура интеллектуального капитала общества, а также взаимодействие компонентов структуры. Макашева Н.П., Нестерова О.А. на примере Томской области рассматривают применение интегрального индекса ИП на рынке труда. Данный индекс характеризует взаимодействие физического, образовательного и научно-исследовательского потенциалов [10,11,13]. При вычислении индексов, определяющих интеллектуальный капитал, можно сформировать модель формирования и развития ИП региона, выявить слабые и сильные места субъекта и разработать необходимые мероприятия для роста региона. Левашов В.К. рассматривает интеллектуальный капитал как эффективную взаимосвязь человеческих и финансовых ресурсов с интеллектуальной жизнью общества,

результатом которых является социально-экономическое развитие [6]. Индекс роста ИП общества является одним из основных элементов общего показателя – индекса развития человеческого потенциала. В своей работе Лосева О.В., Дресвянников В.А. под интеллектуальным потенциалом понимают взаимосвязь ресурсного и достигнутого потенциала. Авторы разработали технологию оценки совокупного качества человеческого интеллектуального потенциала области на базе инструмента ранжирования, который учитывает энтропию частных индикаторов. Эта технология характеризует стабильность функционирования человеческого интеллектуального капитала в качестве системы [2, 7, 8, 9].

В ходе анализа исследований интеллектуального потенциала выявлено разнообразие подходов к его формированию. Следует отметить, что в анализируемых работах в качестве наиболее важного компонента используется фактор «знание».

В данном исследовании интеллектуальный потенциал рассмотрен как система, состоящая из трех взаимосвязанных компонентов: человеческого, структурного и потребительского капиталов [5, 15].

1. Определение интеллектуального потенциала. Человеческий капитал – совокупность знаний, навыков и умений, которые относятся непосредственно к их носителю. К человеческому капиталу можно отнести показатели образовательного потенциала и социального благополучия. Наука и образование являются ключевыми производственными силами в общественной и экономической областях жизнедеятельности. Эти показатели прямо или косвенно отражают интеллектуальный потенциал общества и используются для его измерения. Измерение образовательного потенциала осуществляется на основании 3 показателей: а) доля занятого населения с высшим профессиональным образованием (ВПО) (а1); б) доля расходов на образование в валовом региональном продукте (ВРП) (а2); с) численность студентов, получающих ВПО (а3). Эти показатели характеризуют уровень общей образованности общества, то есть численность занятого населения, завершившего или продолжающего обучение в учебных заведениях, а также количество расходов на образование в целом. Показатели социального благополучия включают: а) коэффициент Джини (б1); б) уровень безработицы (б2) (рис. 1).



Рис. 1. Схема человеческого капитала

Структурный капитал – знания, навыки и умения, не относящиеся к конкретному человеку, а формирующиеся в рамках территориальных условий. К структурному капиталу относятся показатели информационно-коммуникационной составляющей и научного потенциала. Для

измерения научного потенциала предлагается использовать: а) численность занятых исследователей (с1); б) доля внутренних затрат на научно-исследовательскую работу (с2). Эти показатели научного развития показывают, какая часть населения занимается научными исследованиями, и удельный вес затрат на научно-исследовательские работы (НИР). Показатели информационно-коммуникационной составляющей включают: а) число персональных компьютеров на 100 работников (д1); б) число компьютеров, имеющих выход в Интернет (д2) (рис. 2).



Рис. 2. Схема структурного капитала

Потребительский капитал – знания, возникающие в ходе отношений, которые устанавливаются системой с внешней средой. К показателям потребительского капитала относятся: а) инвестиции в основной капитал на душу населения (е1); б) число используемых передовых технологий (е2); с) число созданных передовых производственных технологий (ППТ) (е3); д) удельный вес инновационных товаров, работ и услуг в общем объеме товаров и услуг (е4) (рис. 3).

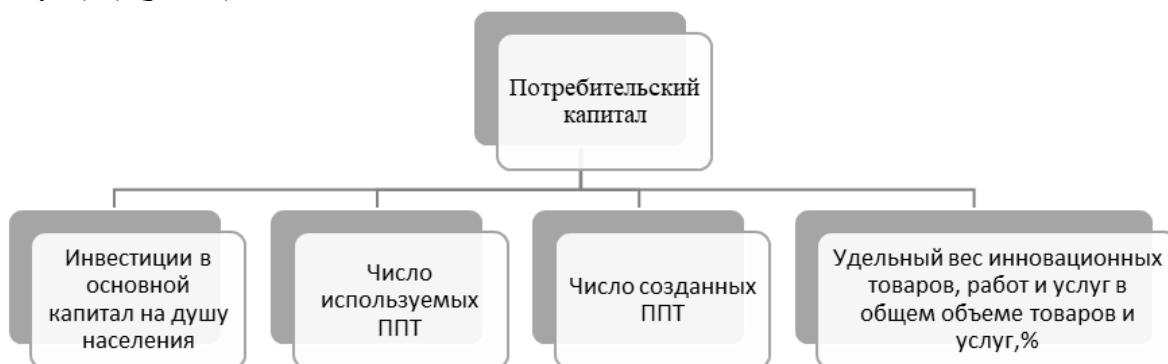


Рис. 3. Схема потребительского капитала

Структура интеллектуального потенциала состоит из множества элементов и показателей, которые определяют развитие и конкурентоспособность социально-экономической системы.

Основными критериями для выбора и формирования индикаторов ИП являлись: показатели, соответствующие целям оценки; репрезентативность и уникальность

показателей; ограниченный размер данных; значения показателей должны находиться в общедоступных достоверных источниках; показатели должны быть относительными.

База данных собрана на основе статистических показателей Федеральной службы и территориальных органов государственной статистики Российской Федерации [14], постановлений Правительства РФ, Министерства образования и науки РФ.

Для анализа ИП Сибирского федерального округа выбран временной промежуток с 2010 по 2016 год. На выбор временного промежутка существенно повлияло наличие статистических данных для всех исследуемых регионов.

2. Оценка взаимосвязи показателей интеллектуального потенциала. Для выявления и оценки взаимосвязи между количественными показателями интеллектуального потенциала использован коэффициент корреляции Спирмена – непараметрический метод, который используется с целью статистического изучения связи между явлениями [1].

Получены корреляционные матрицы показателей интеллектуального потенциала для 10 регионов Сибирского федерального округа. На рисунках 4-7 представлены соответствующие корреляционные плеяды.

Анализ результатов корреляционного анализа показал, что в большинстве регионов Сибирского федерального округа (кроме Республики Алтай и Тыва) наблюдается практически одинаковая структура корреляционных связей.

В Иркутской области и Алтайском крае наблюдаются корреляционные зависимости почти между всеми показателями интеллектуального потенциала (рис. 4).

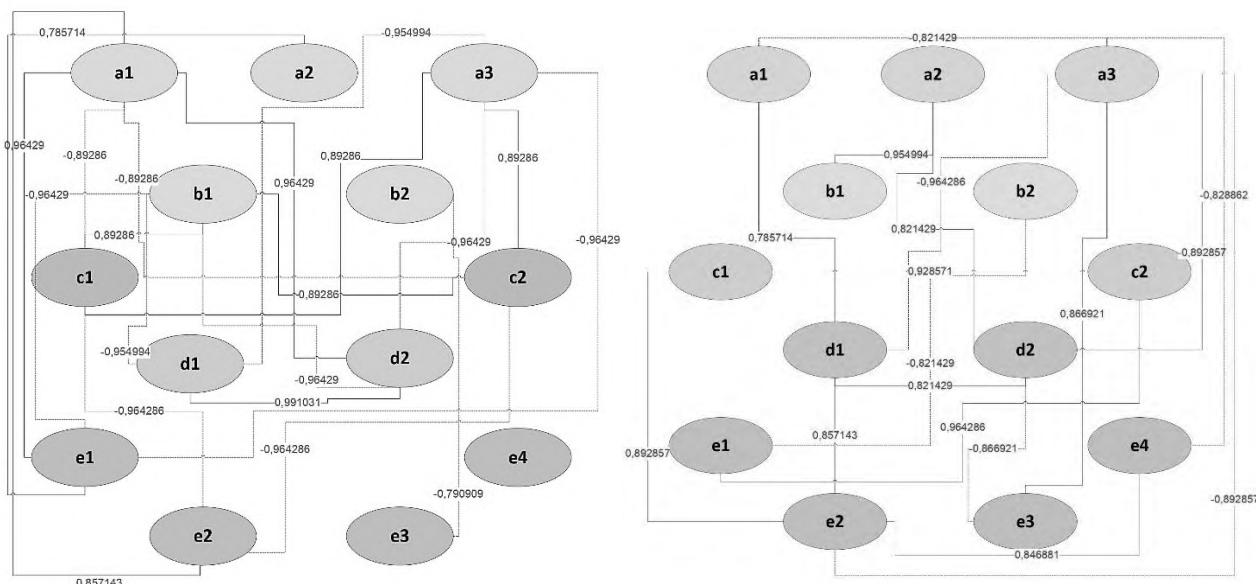


Рис. 4. Корреляционные плеяды для Иркутской области и Алтайского края

В Томской области, Республике Хакасия, Омской области, Красноярском крае, Кемеровской области показателем ИП с наибольшим количеством значимых корреляционных связей является «количество студентов, получающих ВПО» (человеческий капитал) (рис. 5). Также необходимо отметить, что только в Томской области наблюдаются сильные корреляционные связи с показателем «число созданных ППТ».

В Красноярском крае, Кемеровской и Новосибирской областях, Республике Тыва наиболее сильная корреляционная связь выявлена между показателем потребительского

капитала «число используемых ППТ» с показателями человеческого и структурного капитала (рис. 6). Таким образом, в различных сибирских регионах показатели человеческого капитала взаимосвязаны с показателями либо структурного, либо потребительского капитала. Для ответа на вопрос о том, чем обусловлено данное различие, необходимо провести дополнительное исследование.

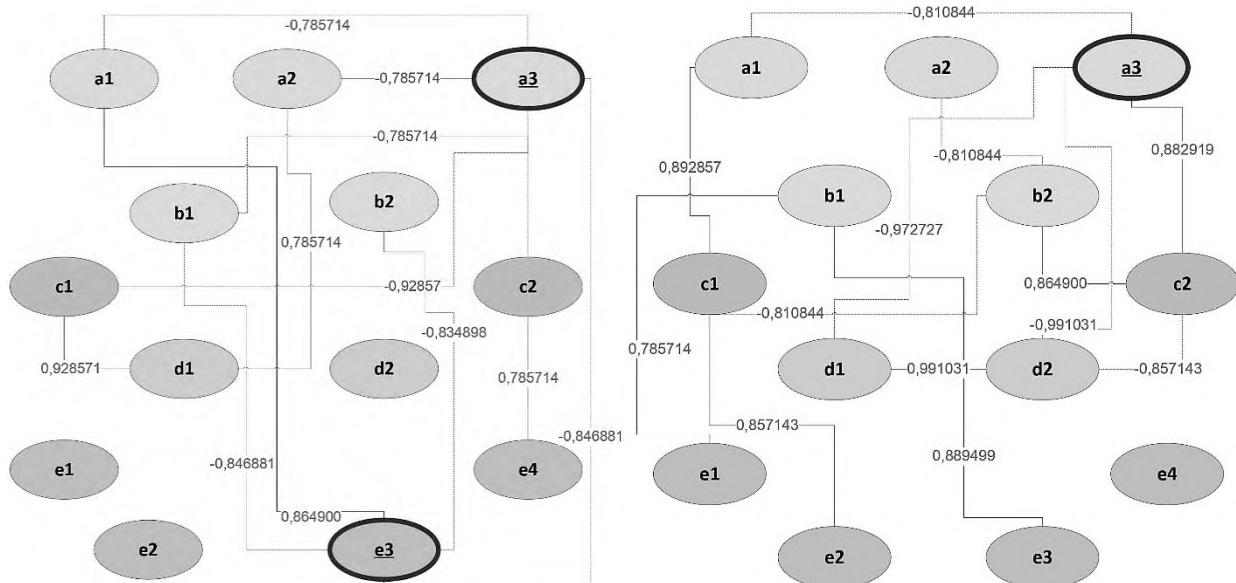


Рис. 5. Корреляционные плеяды для Томской области (слева) и Омской области (справа)

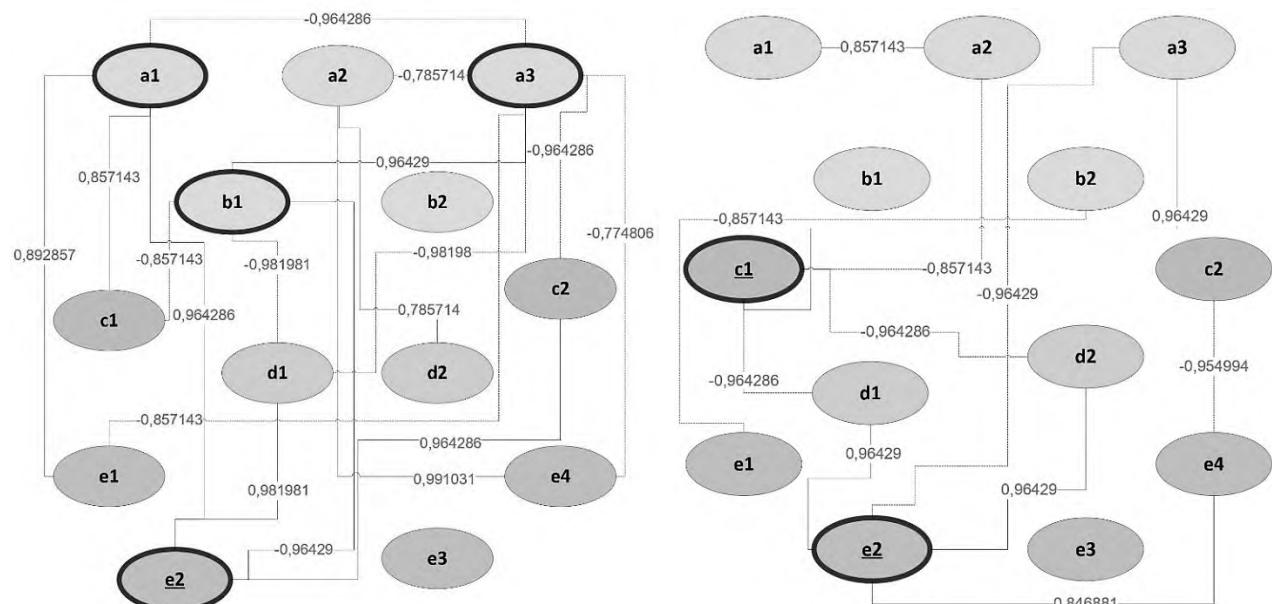


Рис. 6. Корреляционные плеяды для Красноярского края (слева) и Новосибирской области (справа)

В Республиках Алтай и Тыва показатели информационно-коммуникационной составляющей взаимосвязаны со всеми остальными группами показателей интеллектуального потенциала (рис. 7).

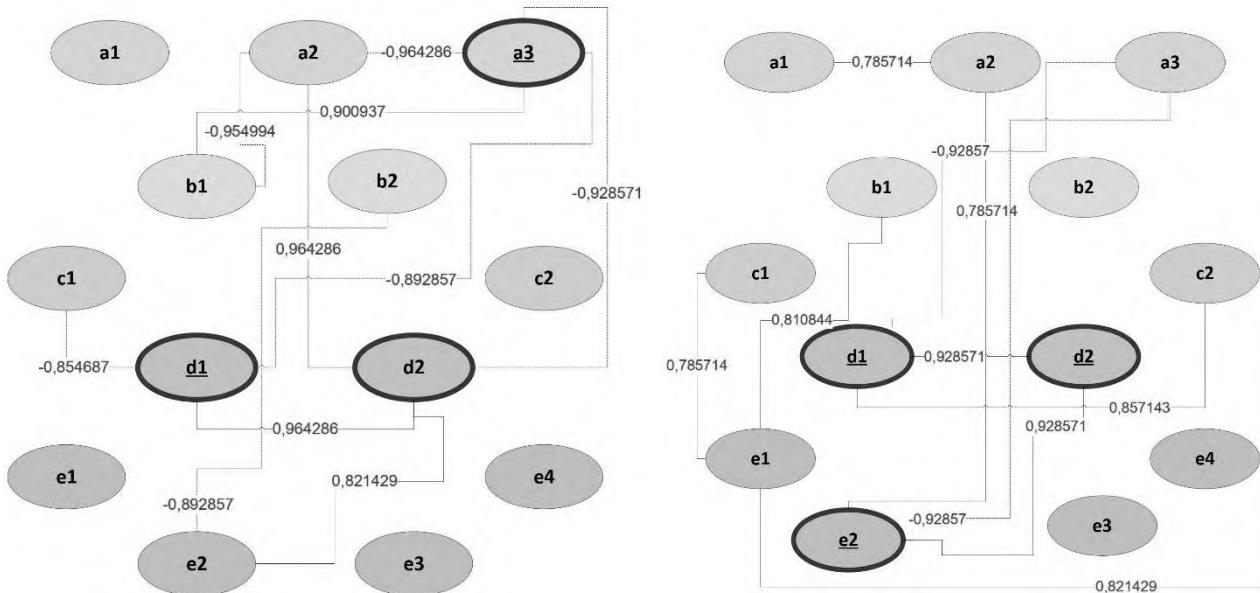


Рис. 7. Корреляционные плеяды для Республики Алтай (слева)
и Республики Тыва (справа)

Заключение. Проведенные исследования показали, что корреляционный анализ является достаточно эффективным инструментарием для проведения сравнительного анализа структуры интеллектуального потенциала в различных регионах.

Было установлено, что в большинстве регионов Сибирского федерального округа (кроме Республик Алтай и Тыва) наблюдается практически одинаковая структура корреляционных связей между показателями интеллектуального потенциала. На наш взгляд, это может быть обусловлено наличием «сходных» социально-экономических факторов формирования интеллектуального потенциала в данных регионах.

Следует отметить, что полученные результаты нуждаются в дальнейшем изучении и интерпретации специалистами в области экономики.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Берестнева О.Г., Марухина О.В., Шевелев Г.Е. Прикладная математическая статистика. М: Учебное пособие – Томск: Изд-во Томского политехнического университета. 2012. 188 с.
2. Дресвянников В. А., Лосева О.В. Человеко-ориентированная структура интеллектуального капитала как основа развития социально экономической системы // Менеджмент в России и за рубежом. 2011. № 6. С. 131-136.
3. Киршин И.А., Вашурин Е.В., Овчинников М.Н. Роль федеральных университетов в развитии и реализации интеллектуального потенциала страны и региона // Международный журнал «Educational technology&Society». № 3. 2010. С. 456-470.
4. Комаров С.В., Мухаметшин А.Н. Понятие, структура и взаимодействие элементов интеллектуального капитала // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия Экономика и менеджмент. 2013. № 3. С. 93-100.
5. Котенкова С.Н. Оценка интеллектуального потенциала регионов Приволжского федерального округа // Фундаментальные исследования. 2014. № 6 (7). С. 1447-1451.

6. Левашов В.К. Интеллектуальный потенциал общества: социологическое измерение и прогнозирование // Социологические исследования. 2008. № 12. С. 25-36.
7. Лосева О.В. Человеческий интеллектуальный капитал как фактор инновационного развития экономики региона // В мире научных открытий. Серия «Экономика и инновационное образование». 2011. № 3 (15). С. 205-213.
8. Лосева О.В. Интеллектуальный потенциал региона: оценка и механизм управления в инновационной деятельности // Управленческие науки. 2016. № 6(2). С. 38-47.
9. Лосева О.В., Дресвянников В.А. Методология оценки интеллектуального потенциала региона в условиях инновационного развития // Финансы: теория и практика. 2014. № 6. С. 37-49.
10. Макашева Н.П., Нестерова О.А. Оценка интеллектуального потенциала на рынке труда Томской области // Вестник Томского государственного университета. Экономика. 2011. № 2. С. 87-98.
11. Макашева Н.П. Наука и образование в инновационной экономике // Актуальные проблемы модернизации управления и экономики: российский и зарубежный опыт Материалы Всероссийской научно-практической конференции (с международным участием). 2012. С. 156-166.
12. Минасов М.Ш. Интеллектуальный потенциал региона – важнейший фактор устойчивого развития // Экономика и управление: научно практический журнал. 2012. № 4. С. 29-36.
13. Нестерова О.А. Интеллектуальный потенциал инновационной экономики // Экономика. 2009. С. 296-298
14. Статистический сборник «Регионы России. Социально-экономические показатели». Режим доступа: http://www.gks.ru/wps/wcm/connect/rosstat_main/rosstat/ru/statistics/publications/catalog/doc_1138623506156 (дата обращения 10.09.2019).
15. Холодная М.А., Кострикина И.С., Берестнева О.Г. Проблемы продуктивной реализации интеллектуального потенциала личности // Вестник Томского государственного педагогического университета. 2002. № 3. С. 45-50.

UDK 519.25

INDICATORS ANALYSIS OF INTELLECTUAL POTENTIAL FOR REGIONS

Alena I. Polisadova

Graduate student, Institute of Applied Mathematics and Computer Science,

National Research Tomsk State University

e-mail: mozgaleva.alena@mail.ru,

Olga G. Berestneva

Dr., Professor, Institute of Applied Mathematics and Computer Science,

National Research Tomsk State University

e-mail: ogb6@yandex.ru,

634050, Russia, Tomsk, Lenina Av. 36.

Abstract. This article examines the structure of intellectual potential and examines the relationship of indicators of intellectual potential for the regions of the Siberian Federal district using correlation analysis. It is shown that in most regions of the Siberian

Federal District, there is practically the same structure of correlations between indicators of intellectual potential, which may be due to the presence of "similar" socio-economic factors in the formation of intellectual potential in these regions.

Keywords: intellectual potential, Siberian Federal district, correlation analysis, educational potential, scientific potential

References

1. Berestneva O.G., Maruhina O.V., Shevelev G.E. Prikladnaya matematicheskaya statistika [Applied Mathematical Statistics]. M: Uchebnoe posobie – Tomsk: Izd-vo Tomskogo politehnicheskogo universiteta = Publishing house of the Tomsk Polytechnic University. 2012. 188 p.
2. Dresvyannikov V. A., Loseva O.V. Cheloveko-orientirovannaya struktura intellektualnogo kapitala kak osnova razvitiya socialno ekonomicheskoy sistemy [Human-oriented structure of intellectual capital as the basis for the development of the socio-economic system] // Menedzhment v Rossii i za rubezhom = Management in Russia and abroad. 2011. № 6. Pp.131-136. (in Russian)
3. Kirshin I.A., Vashurina E.V., Ovchinnikov M.N. Rol federalnyh universitetov v razvitiu i realizacii intellektualnogo potenciala strany i regiona [The role of federal universities in the development and implementation of the intellectual potential of the country and the region] // Mezhdunarodnyj zhurnal «Educational technology&Society» = International journal «Educational technology&Society». № 3. 2010. Pp. 456-470. (in Russian)
4. Komarov S.V., Muhametshin A.N. Ponyatie, struktura i vzaimodejstvie elementov intellektual'nogo kapitala [Concept, structure and interaction of elements of intellectual capital] // Vestnik YUzhno-Ural'skogo gosudarstvennogo uni-versiteta. Seriya Ekonomika i menedzhment = Vestnik YUzhno-Ural'skogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya Ekonomika i menedzhment. 2013. № 3. Pp. 93-100. (in Russian)
5. Kotenkova S.N. Ocenka intellektual'nogo potenciala regionov Privolzhskogo federal'nogo okruga [Assessment of the intellectual potential of the regions of the Volga Federal District] // Fundamental'nye issledovaniya = Fundamental Research. 2014. № 6 (7). Pp. 1447-1451. (in Russian)
6. Levashov V.K. Intellektual'nyj potencial obshchestva: sociologicheskoe izmerenie i prognozirovanie [Intellectual potential of society: sociological dimension and forecasting] // Sociologicheskie issledovaniya = Sociological research. 2008. № 12. Pp. 25-36. (in Russian)
7. Loseva O.V. Chelovecheskij intellektualnyj kapital kak faktor innovacionnogo razvitiya ekonomiki regiona [Human intellectual capital as a factor of innovative development of the regional economy] // V mire nauchnyh otkrytij. Seriya «Ekonomika i in-novacionnoe obrazovanie» = In the world of scientific discoveries. Series «Economics and Innovative Education». 2011. № 3 (15). Pp. 205-213. (in Russian)
8. Loseva O.V. Intellektualnyj potencial regiona: ocenka i mehanizm upravleniya v innovacionnoj deyatelnosti [Intellectual potential of the region: assessment and management mechanism in innovation activity] // Upravlencheskie nauki = Administrative sciences. 2016. № 6(2). Pp. 38-47. (in Russian)
9. Loseva O.V., Dresvyannikov V.A. Metodologiya ocenki intellektualnogo potenciala regiona v usloviyah innovacionnogo razvitiya [Methodology for assessing the intellectual

- potential of the region in the context of innovative development] // Finansy: teoriya i praktika = Finance: theory and practice. 2014. № 6. Pp. 37-49. (in Russian)
10. Makasheva N. P., Nesterova O. A. Ocenna intellektual'nogo potenciala na rynke truda Tomskoj oblasti [Assessment of intellectual potential in the labor market of the Tomsk region] // Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo universiteta. Ekonomika = Bulletin of Tomsk State University. Economy. 2011. № 2. Pp. 87-98. (in Russian)
11. Makasheva N. P. Nauka i obrazovanie v innovacionnoj ekonomike [Science and education in an innovative economy] // Aktual'nye problemy modernizacii upravleniya i ekonomiki: rossijskij i zarubezhnyj opyt Materialy Vserossijskoj nauchno-prakticheskoy konferencii (s mezhdunarodnym uchastiem) = Actual problems of modernization of management and economics: Russian and foreign experience Materials of the All-Russian scientific and practical conference (with international participation). 2012. Pp. 156-166. (in Russian)
12. Minasov M.Sh. Intellektualnyj potencial regiona – vazhnejshij faktor ustojchivogo razvitiya [Intellectual potential of the region - the most important factor of sustainable development] // Ekonomika i upravlenie: nauchno prakticheskij zhurnal = Economics and Management: scientific and practical journal. 2012. № 4. Pp. 29-36. (in Russian)
13. Nesterova O.A. Intellektualnyj potencial innovacionnoj ekonomiki [Intellectual potential of the innovative economy] // Ekonomika = Economics. 2009. Pp. 296-298. (in Russian)
14. Statisticheskij sbornik «Regiony Rossii. Socialno-ekonomicheskie pokazateli» [Statistical collection «Regions of Russia. Socio-economic indicators»]. Access mode: http://www.gks.ru/wps/wcm/connect/rosstat_main/rosstat/ru/statistics/publications/catalog/doc_1138623506156 (date of the application 10.09.2019).
15. Holodnaya M.A., Kostrikina I.S., Berestneva O.G. Problemy produktivnoj realizacii intellektualnogo potenciala lichnosti [Problems of the productive realization of the intellectual potential of the individual] // Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo pedagogicheskogo universiteta = Bulletin of the Tomsk State Pedagogical University. 2002. № 3. Pp. 45-50. (in Russian)