

ISSN 2413-0133
Scientific journal

ИНФОРМАЦИОННЫЕ И МАТЕМАТИЧЕСКИЕ ТЕХНОЛОГИИ В НАУКЕ И УПРАВЛЕНИИ

№4(24)/2021

6+

ИНФОРМАЦИОННЫЕ И МАТЕМАТИЧЕСКИЕ ТЕХНОЛОГИИ В НАУКЕ И УПРАВЛЕНИИ

Научный журнал

№ 4 (24)



EDITORIAL BOARD

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

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ ЖУРНАЛА

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
 Вёрн Х., Германия, Karlsruhe Institute of Technology (KIT)
 Воеводин В.В., чл.-корр. РАН, Москва, НИВЦ МГУ
 Вольфенгаген В.Э., д.т.н., Москва, МИФИ
 Воропай Н.И., чл.-корр. РАН, Иркутск, ИСЭМ СО РАН
 Горнов А.Ю., д.т.н., Иркутск, ИДСТУ СО РАН
 Грибова В.В., д.т.н., Владивосток, ИАПУ ДВО РАН
 Грумπος Π., Греция, University of Patras
 Зорина Т.Г., д.т.н., Республика Беларусь, Институт энергетики НАН Беларуси
 Казаков А.Л., д.ф.-м.н., Иркутск, ИДСТУ СО РАН
 Калимолдаев М.Н., академик НАН РК, Республика Казахстан, ИИВТ
 Карпенко А.П., д.ф.-м.н., Москва, МГТУ им. Баумана
 Комендантова Н.П., PhD, Австрия, Лаксенбург, IASA
 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
 Москвичев В.В., д.т.н., Красноярск, СКБ «Наука» СО РАН
 Мохор В.В., д.т.н., Киев, ИПМЭ им. Г.Е. Пухова НАН Украины
 Овчарова Ж., Германия, Karlsruhe Institute of Technology (KIT)
 Попов Г.Т., Болгария, г. София, Технический университет
 Сидоров Д.Н., д.ф.-м.н., Иркутск, ИСЭМ СО РАН
 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
 Хамисов О.В., д.ф.-м.н., Иркутск, ИСЭМ СО РАН
 Ходашинский И.А., д.т.н., Томск, ТУСУР
 Чубаров Л.Б., д.т.н., Новосибирск, ИВТ СО РАН
 Юсупова Н.И., д.т.н., Уфа, УГАТУ

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 - <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

CC BY

*Подписка на журнал доступна со второго полугодия 2021г.

Дата выхода 28.12.2021 г. Тираж 100 экз.

© Издательство ИСЭМ СО РАН

Цена свободная. (6+)

Методы и модели искусственного интеллекта

- Массель Л.В.** Современный этап развития искусственного интеллекта (ИИ) и применение методов и систем ИИ в энергетике 5
- Столбов А.Б., Лемперт А.А., Павлов А.И.** Реализация компонентно-ориентированного моделирования в платформе создания систем, основанных на знаниях 21
- Ворожцова Т.Н., Кузьмин В.Р., Пестерев Д.В.** Семантическое моделирование в исследованиях устойчивости энергетических и социо-экологических систем 31

Математические технологии

- Шемахин А.Ю., Желтухин В.С., Шемахин Е.Ю.** Математическое моделирование ВЧ-плазмы пониженного давления для цилиндрической вакуумной камеры с заряженным образцом 44
- Глинский Б.М., Сапетина А.Ф., Снытников А.В., Загорулько Г.Б., Загорулько Ю.А., Шестаков В.К.** Автоматизация построения схемы решения вычислительно сложных задач математической физики на суперкомпьютерах 50
- Горнов А.Ю., Аникин А.С., Сороковиков П.С., Зароднюк Т.С.** Технология параллельной оптимизации для атомно-молекулярных кластеров Морса 60

Информационные и программные системы

- Серый А.С., Гриневич А.А., Лисин В.А.** Подход к построению информационной исследовательской среды для анализа научных материалов и создания аннотированных корпусов 68
- Иванов Р.А., Максаков Н.В.** Организация мониторинга параметров экспериментального стенда солнечных панелей 77
- Массель А.Г., Мамедов Т.Г.** Адаптация методики реинжиниринга унаследованных программных систем 88
- Копайгородский А.Н., Хайруллина Е.П.** Проектирование и реализация инструментальных средств для семантического анализа Больших данных о научных и технологических решениях в области энергетики 100

Информационные технологии в образовании

- Ерженин Р.В., Бахвалова З.А., Волков Е.Д., Абзаев А.А.** Проектное обучение: создание инструментария обработки больших данных для использования в дата-журналистике 111
- Поначугин А.В.** Современный подход к мониторингу успеваемости обучающихся с применением информационно-коммуникационных технологий 125

Artificial Intelligence Methods and Models

- Massel L.V.** Modern stage of artificial intelligence (AI) development and application of AI methods and systems in power engineering 5
- Stolbov A.B., Lempert A.A., Pavlov A.I.** Towards implementation of component-based modeling in the platform for creating knowledge-based systems 21
- Vorozhtsova T.N., Pesterev D.V., Kuzmin V.R.** Semantic modeling in resilience research of energy and socio-ecological systems 31

Mathematical technology

- Shemakhin A.Yu., Zheltukhin V.S., Shemakhin E.Yu.** Mathematical modelling of RF plasma at low pressures for cylindric vacuum chamber with charged specimen 44
- Glinskiy B.V., Sapetina A.F., Snytnikov A.V., Zagorulko G.B., Zagorulko Yu.A., Shestakov V.K.** Automation of construction of a scheme for solving compute-intensive problems of mathematical physics on supercomputers 50
- Gornov A.Yu., Anikin A.S., Sorokovikov P.S., Zarodnyuk T.S.** Parallel optimization technology for atomic-molecular Morse clusters 60

Information and software systems

- Sery A.S., Grinevich A.A., Lisin V.A.** An approach to developing an information research environment for analysis of scientific information resources and creating annotated corpora 68
- Ivanov R.A., Maksakov N.V.** Parameters monitoring organization of the solar panels experimental stand 77
- Massel A.G., Mamedov T.H.** Reengineering technique adaptation of legacy software systems 88
- Kopaygorodsky A.N., Khairullina E.P.** Design and development of instrumental tools for semantic analysis of Big data scientific and technological solutions in the field of energy 100

Information technology in education

- Yerzhenin R.V., Bakhvalova Z.A., Volkov E.D., Abzaev A.A.** Project learning: creating a big data processing toolkit for use in date journalism 111
- Ponachugin A.V.** A modern approach to monitoring the progress of students with the use of information and communication technologies 125

СОВРЕМЕННЫЙ ЭТАП РАЗВИТИЯ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА (ИИ) И ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ И СИСТЕМ ИИ В ЭНЕРГЕТИКЕ

Массель Людмила Васильевна

д.т.н., профессор, гл. н. с.,

зав. отделом «Системы искусственного интеллекта в энергетике»,

e-mail: massel@isem.irk.ru

Институт систем энергетики им Л.А. Мелентьева СО РАН

664033 Иркутск, Лермонтова, 130.

Аннотация. В статье анализируется ряд публикаций на эту тему, а также обобщаются результаты дискуссий на конференции «Знания, онтологии, теории» (Новосибирск, 8-12 ноября 2021 г.) и Круглом столе в ИСЭМ СО РАН «Искусственный интеллект в энергетике» (22 декабря 2021 г.). Рассматриваются понятия: сильный и слабый ИИ, объяснимый ИИ, доверенный ИИ. Анализируются причины «бума» вокруг машинного обучения и его недостатки. Сравниваются облачные технологии и технологии граничных вычислений. Определяется понятие «умный» цифровой двойник, интегрирующий математические, информационные, онтологические модели и технологии ИИ. Рассматриваются этические риски ИИ и перспективы применения методов и технологий ИИ в энергетике.

Ключевые слова: Искусственный интеллект (ИИ); энергетика; сильный, слабый, объяснимый, доверенный ИИ; граничные вычисления; этика ИИ.

Цитирование: Массель Л.В. Современный этап развития искусственного интеллекта (ИИ) и применение методов и систем ИИ в энергетике. 2021. № 4 (24). С. 5-20. DOI: 10.38028/ESI.2021.24.4.001.

Введение. Актуальность и повышенный интерес к применению методов искусственного интеллекта в энергетике обусловлены как основными трендами развития энергетики (интеллектуальная энергетика, цифровая энергетика, «умные» цифровые двойники и др.), так и повышенным интересом к применению систем искусственного интеллекта, который в нашей стране в существенной мере был инициирован принятием «Национальной стратегии развития искусственного интеллекта до 2030 г.». В связи с тем, что на уровне СМИ и популярных изданий не проводится различия между научным направлением «Искусственный интеллект» и продуктами ИИ, область применения которых повсеместно расширяется, звучат клише «Искусственный интеллект решит», «Искусственный интеллект обеспечит» и т.п. В статье делается попытка проанализировать сложившуюся ситуацию, в первую очередь применительно к энергетике, на основе профессионального опыта автора и результатов участия в ряде научных конференций, на которых обсуждаются вопросы развития и применения методов и систем искусственного интеллекта. При этом необходимо затронуть вопросы цифровизации и интеллектуализации энергетики, которые во многом повлияли на возросший интерес к такой теме, как «Искусственный интеллект». В первую очередь он определяется необходимостью решения проблем управления развитием и функционированием интеллектуальных интегрированных энергетических систем в условиях цифровой трансформации, поэтому сначала определимся с основными терминами. Далее в статье будут рассмотрены популярные в последнее время термины: сильный и слабый ИИ, объяснимый ИИ, доверенный ИИ, проанализированы причины «бума» вокруг машинного обучения и причины необходимости появления объяснимого ИИ. Рассматриваются методы и технологии ИИ, применяемые и перспективные для применения в энергетике.

I. Основные понятия и определения. (1) Цифровая трансформация. Одно из первых значений термина «цифровая трансформация» – это переход от аналоговых данных к цифровым, то, что сегодня принято называть цифровизацией.

Выделяют три точки зрения на цифровизацию или цифровую трансформацию:

- 1) со времен зарождения цифровых технологий люди пытались использовать их для автоматизации бизнеса, то есть цифровая трансформация – это процесс, который длится десятилетия, и каждая новая технология добавляет ему новые стадии;
- 2) цифровую трансформацию следует связывать с определенным периодом развития информационных и коммуникационных технологий (ИКТ), и переломным моментом является появление так называемой третьей платформы («облака», мобильность, социальные технологии, «большие данные» и др.), на основании которой стали появляться цифровые компании, предложившие новую бизнес-модель с использованием перечисленных технологий и максимальным уходом от нецифровых активов;
- 3) делается акцент на бизнес-аспектах явления и утверждается, что цифровая трансформация актуальна для любой компании, занятой как цифровым бизнесом, так и реальным производством [1].

(2) Автоматизация, информатизация, цифровизация. Часто, говоря о цифровой трансформации, путают или смешивают эти термины. В [2] излагается следующий подход к цифровой трансформации, где разделяются эти термины.

«Цифровая трансформация» является процессом преобразований в русле цифровой экономики, включающим следующие этапы:

- **автоматизация** – применение технических и математических средств с целью передачи функций контроля и управления производственным процессом от человека к машине, как правило, характеризуется повышением скорости, точности и надежности производственных процессов, по сравнению с обычным неавтоматизированным производством;
- **информатизация** – применение кибернетических методов и средств управления процессами, а также ИКТ для обеспечения связей между разрозненными в пространстве производственными процессами и массивами данных. В соответствии с Федеральным законом от 20.02.1995 г. N 24-ФЗ (ред. от 10.01.2003 г.) «Об информации, информатизации и защите информации», информатизация представляет собой организационный социально-экономический и научно-технический процесс создания оптимальных условий для удовлетворения информационных потребностей и реализации прав граждан, органов государственной власти, органов местного самоуправления, организаций, общественных объединений на основе формирования и использования информационных ресурсов. Процесс информатизации в зарубежной практике, как правило, не выделяется в отдельный этап технологических преобразований и относится к одной из составляющих цифровизации;
- **цифровизация** – замена физических (аналоговых, бумажных и др.) систем сбора, обработки, хранения и передачи данных цифровыми, а также улучшение управляемости за счет цифровых решений. В том числе подразумевает под собой применение цифровых технологий в рамках уже существующих производственных процессов, создание «цифровых двойников» и математических моделей отдельных процессов производства;

Таким образом, цифровая трансформация – комплекс преобразований организации или всей отрасли, включая изменение бизнес-моделей на основе новых цифровых технологических возможностей и включающая, как правило, перечисленные выше этапы.

На корпоративном уровне цифровая трансформация предполагает не только цифровизацию отдельных производственных процессов внутри компании (отрасли), но и изменение организационных принципов ее работы, а также совершенствование бизнес-культуры с использованием цифровых инструментов.

На отраслевом уровне цифровая трансформация также предполагает не только изменение традиционных производственных комплексов и систем управления ими, но и эволюцию рыночной среды, конечной целью которой является реализация клиенто-ориентированной модели энергоснабжения, адаптация к индивидуальным запросам потребителя без существенного увеличения стоимости поставляемой энергетической продукции или услуг.

По мере эволюции технологий к процессам автоматизации добавились элементы информатизации и цифровизации. Фактически все эти составляющие стали неотъемлемой основой для осуществления цифровой трансформации как на уровне отдельных компаний, так и на уровне всей отрасли. Триггером цифровой трансформации стали технологические прорывы в неэнергетической сфере – в системах связи, передачи и обработки данных, IT-индустрии, позволившие существенно ускорить и повысить эффективность автоматизации и информатизации производственных и организационных процессов в отраслях топливно-энергетического комплекса (ТЭК), начать их цифровизацию, одновременно создавая условия для более широкого освоения новых энергетических технологий в производстве/добыче, транспорте, преобразовании и потреблении энергоресурсов [2].

В [3] рассматриваются следующие 5 отличий автоматизации и цифровизации.

Степень интеграции процессов и данных. Цифровизация предполагает наличие единого информационного пространства для непрерывного обмена данными между различными сферами деятельности и структурными подразделениями. Автоматизация направлена на перевод текущих процессов в электронную форму и замену ручного труда роботизированными устройствами.

Виртуализация основного объекта производства. Цифровизация включает создание электронного (цифрового) двойника главного производственного объекта. Автоматизация процессов проектирования означает моделирование объекта в специальных расчетных программах. Как правило, автоматизированные расчеты и проектирование являются частью цифровой модели изделия.

Характер управления данными. Цифровизация предполагает непрерывное управление данными об объектах, на протяжении всего их жизненного цикла, включая автоматический сбор, накопление, изменение и анализ информации, а также генерацию подобных данных. Автоматизация, как правило, направлена на решение рутинных задач одного или смежных бизнес-процессов, например, торговый и складской учет, электронный документооборот и пр., не рассматривая дальнейшее использование данных за границами этих процессов.

Порядок управления производством. Цифровизация делает возможным опережающее управление. Прогнозы будущих ситуаций, в том числе нетривиальных, и оптимальные отклики на них рассчитываются за счет инструментов предиктивной аналитики. Автоматизация же ориентирована на обработку типовых случаев и учетные операции постфактум.

Гибкость корпоративной культуры. Цифровизация обеспечивает оперативное взаимодействие географически распределенных сотрудников через интернет. При этом эффективность бизнес-процессов оценивается по достигнутому результату, а не времени, затраченного на работу, как в традиционном подходе. Автоматизация предполагает перевод существующих бизнес-моделей в электронную форму, как правило, без учета методологии

гибких изменений (Agile). Таким образом, автоматизация – это неотъемлемая часть цифровизации, но не синоним этого термина.

В последнее время цифровую трансформацию понимают более широко – как переход к цифровому обществу, при этом выделяют следующие направления цифровой трансформации:

- формирование нового варианта экономических отношений (цифровая экономика),
- построение нового уровня отношений между обществом и государством (цифровое правительство),
- создание высокотехнологичной инфраструктуры (цифровое пространство).

Статья посвящена работам, выполняемым в третьем направлении.

(3) Интеллектуальные интегрированные энергетические системы (ИЭС)

Определения интеллектуальных интегрированных энергетических систем введены и используются в [4-8]. В них отмечается, что энергетика является, по сути, инфраструктурной отраслью, задача которой – обеспечение энергоснабжения потребителей с требуемой надежностью и приемлемым качеством энергоносителя (основное требование энергетической безопасности). Инфраструктурная роль особенно присуща электроэнергетическим, газо- и теплоснабжающим системам, имеющим развитую транспортно-распределительную сетевую инфраструктуру. Эти энергетические системы обычно подразделяются на производственно-транспортные и системы энергоснабжения. Производственно-транспортные энергетические системы обладают определенной интеграцией в плане использования энергоносителя одной системы в другой (например, газ как топливо на электростанциях и котельных, электроэнергия на газоперекачивающих агрегатах и др.), указанная интеграция определяет ведущую роль рассматриваемых энергетических систем в ТЭК.

До последнего времени интеграция систем электро-, тепло- и газоснабжения рассматривалась на уровне источников электроэнергии и тепла – ТЭЦ; после появления альтернативных возможностей для потребителей в активном выборе приборов использования энергии было введено, как обобщение этих возможностей, понятие энергетического хаба [4, 5]. Отмечается, что такая централизация требует реализации новых принципов построения ИЭС и создания интеллектуальных систем управления ими с развитым информационно-коммуникационным обеспечением. Таким образом, возрастает роль систем искусственного интеллекта и их адаптации к новым задачам. В работе [6] энергетика представлена как инфраструктурная «система систем», включающая системы газо-, тепло-, электроснабжения, а также снабжения нефтепродуктами, при этом отмечается ключевая роль информационно-коммуникационной системы, как инфраструктурной основы «системы систем».

В [9] дается определение интеллектуальной электроэнергетической системы. Отмечается, что, с учетом обобщения мировой терминологической практики, под интеллектуальной энергосистемой понимается новое поколение систем энергообеспечения потребителей, представляющее собой синтез электроэнергетической и информационной систем и обладающее новыми функциональными возможностями («степенями свободы») для организации технических и экономических взаимодействий за счет:

- минимальных ограничений для интеграции через общую электрическую сеть и общий электрический режим любых типов объектов производства, накопления и потребления электроэнергии, использования доступных источников энергии на основе сочетания централизованной и распределенной генерации;
- высокой оперативности и гибкости (адаптивности) функционирования и развития в условиях высокой волатильности режимов, технологической и пространственной

структуры производства и потребления электроэнергии, под влиянием технологических и экономических (рыночных) факторов;

- клиенто-ориентированности, приоритетности индивидуальных требований потребителей по эффективности, надежности и качеству энергоснабжения, их интересов и стратегий поведения при максимальной вовлеченности потребителей в формирование эластичного рыночного спроса на электроэнергию и системные услуги, поддержание резервов и режима работы энергосистемы, механизмы ценообразования для услуг сетевой инфраструктуры.

Исторически в энергетических исследованиях первым рассматривалось понятие интеллектуальной энергетики, в первую очередь, понятие интеллектуальных электроэнергетических систем (Smart Grid) (например, [10]). После утверждения и развития концепций цифровой экономики и цифровой энергетики понятия цифровой и интеллектуальной энергетики, как правило, считаются синонимами, хотя, по идее, цифровая энергетика должна быть фундаментом интеллектуальной энергетики [11].

II. Анализ методов искусственного интеллекта, применяемых и перспективных для применения в энергетике. С началом цифровой трансформации энергетики отмечалось, что на разных этапах производства, транспортировки и потребления энергии с целью уменьшения издержек и снижения штрафных санкций за недопоставку энергии могут быть использованы такие современные информационные технологии, как:

1. Индустриальный Интернет (Интернет вещей в промышленности) для телеизмерений параметров энергосистемы.
2. Технологии анализа больших данных (BigData) с целью прогнозирования поведения энергосистемы.
3. BIM (Building Information Model) – технологии для объектов энергетики (электростанций, подстанций, объектов добычи и переработки и др.).
4. ГИС-технологии для объектов энергетики, связанных с транспортировкой топливно-энергетических ресурсов (линии электропередач, трубопроводная сеть и др.).
5. Технология дистанционного зондирования Земли для наблюдения за природными и техногенными факторами.
6. Спутниковые навигационные системы для контроля дискретного транспорта совместно с ГИС-технологиями.

Кроме того, с целью унификации и упрощения обмена данными предлагалось применение онтологической модели деятельности предприятия (Business Entity Ontological Model – БЕОМ). Применение БЕОМ в рамках отрасли в целом позволяет создать целостную динамически эволюционирующую модель, структурирующую и описывающую деятельность по задачам, организационным структурам, территориям и объектам, что позволит организовывать и транслировать накопленный в конкретных ситуациях опыт.

В программе «Цифровая экономика» основными сквозными цифровыми технологиями, которые упоминаются в Программе, были объявлены:

- большие данные;
- нейротехнологии и искусственный интеллект;
- системы распределенного реестра;
- квантовые технологии;
- новые производственные технологии;
- промышленный интернет;
- компоненты робототехники и сенсорики;
- технологии беспроводной связи;

- технологии виртуальной и дополненной реальностей.

В этом перечне недоумение у ИТ-специалистов вызывало выделение нейротехнологий из искусственного интеллекта. Некоторые положения «Национальной стратегии развития искусственного интеллекта в РФ на период до 2030 г.», появившейся в 2019 г., усугубили это недоумение. В частности, в п. 6 было сказано: «Развитие информационных систем, помогающих человеку принимать решения, началось с появления в 1950-х годах **экспертных систем**, описывающих алгоритм действий по выбору решения в зависимости от конкретных условий. На смену экспертным системам пришло **машинное обучение**, благодаря которому информационные системы самостоятельно формируют правила и находят решение на основе анализа зависимостей, используя исходные наборы данных (без предварительного составления человеком перечня возможных решений), что позволяет говорить о **появлении искусственного интеллекта**».

Подробное описание направлений ИИ приведено в [12], краткая история ИИ хорошо представлена в эссе [13], где говорится: «Искусственный интеллект (ИИ) – это отрасль науки, официально увидевшая свет в 1956 году на летнем семинаре в Дартмут-колледже (Хановер, США), который организовали четверо американских ученых: Джон МакКарти, Марвин Мински, Натаниэль Рочестер и Клод Шеннон. С тех пор термин «искусственный интеллект», придуманный, вероятнее всего, с целью привлечения всеобщего внимания, стал настолько популярен, что сегодня вряд ли можно встретить человека, который никогда его не слышал. С течением времени этот раздел информатики развивался все больше, а интеллектуальные технологии в последние шестьдесят лет сыграли важную роль в изменении облика мира». Очень интересно в плане понимания современного состояния и проблем искусственного интеллекта интервью (две беседы) одного из ведущих ученых в области ИИ В.К. Финна «Чертова дюжина искусственного интеллекта» [14].

Перейдем сразу к современному этапу развития ИИ. Действительно, с 2010 года мощность компьютеров позволяет сочетать так называемые большие данные (Big Data) с методами глубокого обучения (Deep Learning), которые основываются на использовании искусственных нейронных сетей. Весьма успешное применение во многих областях (распознавание речи и изображений, понимание естественного языка, беспилотный автомобиль и т.д.) вызвало некоторый «бум», связанный с применением ИНС [15].

Машинное обучение (Machine Learning, ML) – класс методов искусственного интеллекта, характерной чертой которых является не прямое решение задачи, а обучение в процессе применения решений множества сходных задач. Для построения таких методов используются средства математической статистики, численных методов, методов оптимизации, теории вероятностей, теории графов, различные техники работы с данными в цифровой форме.

Одна из проблем машинного обучения – как ограничить объем данных, требующихся для обучения нейросетей? Как правило, модели машинного обучения работают с огромными массивами данных, чтобы гарантировать точность работы нейросети, однако во многих отраслях крупных баз данных просто не существует.

С другой стороны, неверно отождествлять весь когнитивный компьютеринг (Cognitive Computing, CC) исключительно с ML. Собственно CC – это составляющая ИИ, целостная экосистема, частью которой служит ML. К тому же CC включает в себя и автоматическое принятие решений, и распознавание аудио и видео данных, машинное зрение, обработку текстов на естественных языках и еще многое другое [16]. Например, в электроэнергетике уже достаточно широко используются искусственные нейронные сети (ИНС). По информации [17], ИНС используются при решении следующих задач: для прогнозирования нагрузки (25%), оценки динамической устойчивости (14%), контроля и идентификации (9%),

диагностики аварий (18%), планирования (7%), оценки надежности (17%), предупреждения аварий (10%).

На конференции ЗОНТ-21 обсуждалось (В.В. Грибова), что в настоящее время целесообразно выделять два направления развития ИИ: 1) связанное с обработкой данных (извлечение знаний из данных) – интеллектуальный анализ данных, машинное обучение; 2) семантическое представление знаний – семантические технологии, экспертные системы.

В последнее время осознается, что методы машинного обучения – по сути дела, черный ящик, они выдают результат, но не объясняют, как он был получен, что снижает доверие и к результату, и к инструменту. Это привело к появлению направления, получившего название **Объяснимый искусственный интеллект (XAI - Explainable AI)** – набор процессов и методов, позволяющих пользователям понять, почему именно алгоритмы машинного обучения пришли к тем или иным результатам или выводам. Объяснимый ИИ применяется для описания модели ИИ, ее ожидаемого влияния и потенциальной предвзятости. Он помогает охарактеризовать точность, достоверность и прозрачность модели, предназначенной для принятия решений с помощью ИИ. Объяснимый ИИ играет важнейшую роль для повышения достоверности и надежности производственных моделей ИИ. Кроме того, объяснимость ИИ помогает организациям с большей ответственностью подходить к разработке ИИ. Авторы [18,19] предлагают объединить технологии ИНС и экспертных систем, что можно считать одним из направлений объяснимого ИИ.

Следует отметить, что, начиная с 1970-х гг., ученые заинтересовались психологией памяти, механизмами понимания, которые они пытались имитировать на компьютере, и ролью знаний в мыслительном процессе. Это привело к появлению значительно развившихся в середине 1970-х годов методов семантического представления знаний, а также к массовой разработке экспертных систем, названных так потому, что для воспроизведения мыслительных процессов в них использовались знания квалифицированных специалистов. В начале 1980-х годов на экспертные системы возлагались большие надежды в связи с широкими возможностями их применения, например, для медицинской диагностики.

После появления в 1990-х гг. одного из направлений семантического представления знаний – онтологий, стали активно развиваться семантические технологии [19]. Автором было предложено расширить спектр семантических технологий [20], включив в их число когнитивные, событийные и вероятностные (на основе Байесовских сетей доверия) технологии; результаты их применения при построении интеллектуальных систем поддержки принятия решений были обобщены в [21].

Одним из современных направлений ИИ являются «граничные вычисления». Считается, что **граничные вычисления «Edge Computing»** – одна из важных технологических тенденций, которая, по мнению института Gartner, будет доминировать на рынке Интернета вещей (Internet of Things, IoT) в этом году. С ростом популярности интеллектуальных устройств, подключенных к сети, а также развитием IoT, различные отрасли, включая производство, торговлю и автотранспорт, начинают генерировать огромные объемы данных, целевым местом хранения которых являются серверы в «Облаке» [22]. Вопросы применения облачных вычислений в энергетике рассматривались, с участием автора, в [23].

Концепция граничной аналитики «Edge Analytics» основана на сборе, обработке и анализе данных на периферийных устройствах сети, рядом с датчиками, сетевым коммутаторами или другими подключенными устройствами, т.е. рядом с источником информации и исполняемыми элементами, например, на производстве [24]. «Граничные вычисления стимулируют рост четвертой промышленной революции благодаря развитию технологий в облачных системах, программном обеспечении, вычислениях, коммуникациях, современных системах хранения и памяти. Сам термин «Edge Computing» означает, что часть

обработки данных происходит на конечных элементах сети, в том месте, где в системах IoT физические объекты связываются с Интернетом. Граничные вычисления дают возможность анализировать ключевые данные в режиме реального времени «на месте», не отправляя их на центральный сервер. Однако граничные вычисления Edge Computing – это гораздо больше, чем просто расчет и обработка данных на местах. Предполагается, что эта технология обеспечит плавную интеграцию периферийных устройств и облачных вычислений, а также двусторонний обмен информацией». В [25] рассматриваются вопросы применения технологии граничной аналитики (Edge Analytics) при создании цифровых двойников энергетических объектов (на примере цифровой подстанции).

Цифровые двойники (ЦД, Digital Twin) – один из современных трендов цифровизации [26], получивший уже достаточно широкое распространение в энергетике [27-29]. В настоящее время под «Цифровым двойником» понимают реальное отображение всех компонентов в жизненном цикле объекта с использованием физических данных, виртуальных данных и данных о взаимодействии между ними [30]. Цифровой двойник объединяет в себе информацию о показателях функционирования объекта, его детальную математическую модель, параметры которой уточняются с помощью реальных данных, получаемых от объекта в режиме on-line [31]. Под руководством автора развивается онтологический подход к построению цифровых двойников в энергетике [29, 32], который отчасти основывается на обобщении подхода, предложенного к построению цифровых двойников в [33, 34]. Коллектив, возглавляемый автором, имеет опыт реализации ЦД энергетического объекта – солнечной электростанции [35]. При разработке ЦД систем энергетики будет необходимо переходить к агрегированным ЦД, а для построения ЦД топливно-энергетического комплекса потребуется интеграция ЦД и когнитивных технологий. Авторский коллектив предлагает использовать термин интеллектуальный или «умный» ЦД (Smart Digital Twin), под которым следует понимать интеграцию технологий ИИ и пяти компонентов ЦД, включающих: ядро цифрового двойника – математические, имитационные и информационные модели; компоненты, обеспечивающие сбор данных с физического объекта; хранилища собираемых данных; сервисные элементы, который предоставляют услуги и интерфейс клиентам и компоненты, обеспечивающие коммуникации между названными элементами (платформа Internet of Things).

III. Перспективы развития и этика искусственного интеллекта.

Слабый и сильный ИИ – это еще один термин, на котором следует остановиться. В Национальной стратегии развития ИИ приводится следующее определение: «Перспективные методы искусственного интеллекта – методы, направленные на создание принципиально новой научно-технической продукции, в том числе в целях разработки универсального (**сильного**) искусственного интеллекта (автономное решение различных задач, автоматический дизайн физических объектов, автоматическое машинное обучение, алгоритмы решения задач на основе данных с частичной разметкой и (или) незначительных объемов данных, обработка информации на основе новых типов вычислительных систем, интерпретируемая обработка данных и другие методы)».

26 октября 2021 г. при поддержке правительства РФ в пресс-центре ТАСС в Москве проходил форум «Этика искусственного интеллекта: начало доверия», на котором Кирилл Каем, старший вице-президент по инновациям фонда «Сколково» высказал мнение, что разработка «сильного» искусственного интеллекта, обладающего сознанием, потребует еще не менее 15 лет [36]¹. «Сильным» ИИ (Artificial General Intelligence, AGI, или strong AI)

¹ Здесь хочется напомнить, что в 1958 году американец Герберт Саймон, позже ставший лауреатом Нобелевской премии по экономике, заявил, что если бы машины допускались к международным

эксперты называют искусственный интеллект общего уровня, который способен мыслить и действовать. В русском языке используется также термин «общий» искусственный интеллект – синоним английского AGI – это гипотетическая разновидность ИИ, полностью аналогичная человеческому разуму и обладающая самосознанием, способным решать проблемы, учиться и планировать будущее.

При этом уже сегодня в различных отраслях используются системы на основе технологий «слабого» ИИ (narrow AI, NAI), которые за счет математических алгоритмов, к примеру, помогают повысить эффективность анализа больших объемов данных.

К. Каем считает, что следующие пятнадцать лет, в первую очередь, речь будет идти о «слабом» искусственном интеллекте и прикладных решениях или «узком» ИИ. Это означает, что в следующие 10-15 лет мы будем иметь в руках решения, которые еще не обладают сознанием, в отличие от общего или «сильного» ИИ. Говоря о том, какие этические аспекты ИИ должны рассматриваться экспертным сообществом в первую очередь, он указал на вопросы «робоэтики» – тех технологических параметров, которые авторы закладывают в свои решения на стадии разработки. При этом, в силу роста рынка технологий ИИ, представитель «Сколково» считает важной разработку новых инструментов оценки решений в этой области.

В связи с этим следует отметить появление **«доверенного искусственного интеллекта»** – одной из ведущих концепций в области этичного ИИ. Термин «доверенный» используется в ряде международных и российских документов. Понятие доверенного (англ. trustworthy, буквально «заслуживающий доверия, достойный доверия») искусственного интеллекта зафиксировано в «Руководстве по этике для надежного ИИ» Группы экспертов высокого уровня по искусственному интеллекту Еврокомиссии (Ethics Guidelines for Trustworthy AI, 2019). Согласно этому документу, доверенный ИИ должен обладать следующими базовыми характеристиками: законный – соответствующий применимому законодательству; этичный – соответствующий этическим принципам и ценностям; робастный – надёжный с технической точки зрения и разработанный с учетом актуального социального контекста. В России понятие доверенного ИИ с марта 2021 года отражено в стандарте ГОСТ Р 59 276–2020 «Системы искусственного интеллекта. Способы обеспечения доверия. Общие положения».

На упомянутом выше Международном форуме «Этика искусственного интеллекта: начало доверия» в число обсуждаемых тем вошли этические принципы разработки и применения ИИ, государственные меры поддержки в этой сфере, механизмы внедрения технологий в приоритетных отраслях, а также мировые практики регулирования и стандарты международного взаимодействия.

Этические риски ИИ рассматриваются, например, в [13]. Выделяются риски трех видов: дефицит работы, которая вместо людей будет выполняться машинами; последствия для независимости человека и, в частности, для его свободы и безопасности; опасения, что более «умные» машины будут доминировать над людьми и станут причиной гибели человечества. Там же отмечается, что «при ближайшем рассмотрении становится очевидно, что работа для людей не пропадает, а трансформируется, требуя новых навыков. Точно так же независимость человеческой личности и ее свобода не подвергаются неминуемой опасности из-за развития ИИ – при условии, однако, что мы останемся бдительными перед лицом вторжения технологий в частную жизнь. И, наконец, в противоположность некоторым утверждениям, машины не несут в себе экзистенциального риска для человечества,

соревнованиям, то в ближайшие десять лет они стали бы чемпионами мира по шахматам (но впервые компьютер победил гроссмейстера Гарри Каспарова только в 1997 г.).

поскольку их автономия носит лишь технический характер и в этом смысле не соответствует цепочкам материальной причинности, идущим от информации к принятию решений. Кроме того, машины не самостоятельны в моральном плане, и потому, даже если иногда они сбивают нас с толку и вводят в заблуждение своими действиями, они все же не обладают собственной волей и подчиняются тем целям, которые мы перед ними ставим».

Следует упомянуть, что ключевым событием упомянутого выше форума стало подписание Кодекса этики искусственного интеллекта, разработанного с учетом требований Национальной стратегии развития искусственного интеллекта на период до 2030 года. Он должен стать частью федерального проекта «Искусственный интеллект» и Стратегии развития информационного общества на 2017-2030 гг. Авторы кодекса – Альянс в сфере искусственного интеллекта совместно с Аналитическим центром при Правительстве РФ и Минэкономразвития.

Заключение. В статье не ставилась задача дать полный обзор истории и направлений развития ИИ. В то же время хотелось обобщить имеющуюся информацию о современном этапе ИИ, «угрозах» сильного ИИ, новых терминах и технологиях, а также проанализировать возможности их применения в энергетике. Автор будет признателен тем, кто захочет прислать отклики на статью, которые могут послужить основой для дискуссий на организуемых под руководством автора Международном семинаре «Критические инфраструктуры в цифровом мире (Critical Infrastructures in Digital World)» (Сайт (рус): <http://imt.isem.irk.ru/iwci-2021/>, (eng): <http://imt.isem.irk.ru/iwci-2021-en/>) и Всероссийской с международным участием Байкальской конференции «Информационные и математические технологии в науке и управлении» (сайт <http://imt.isem.irk.ru/>, регистрация на конференцию-2022: <https://conf.isem.irk.ru/>), либо прислать статьи в наш журнал для продолжения обсуждения этой темы (сайт журнала: <https://www.imt-journal.ru/>).

Благодарности. Результаты получены в рамках выполнения в рамках проекта по госзаданию ИСЭМ СО РАН № темы: FNEU-2021-007, рег. № АААА-17-117030310444, при частичной финансовой поддержке РФФИ, грант №19-07-00351.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Прохоров А., Коник Л. Цифровая трансформация. Анализ, тренды, мировой опыт. М.: ООО «АльянсПринт». 2019. 368 с. ISBN 978-5-98094-007-2.
2. Измерение и оценка результатов и эффектов цифровой трансформации топливно-энергетического комплекса // Материалы Института энергетических исследований РАН (ИНЭИ РАН) по результатам НИР «Разработка научно обоснованных предложений по измерению и оценке результатов и эффектов цифровой трансформации топливно-энергетического комплекса». Режим доступа: <https://in.minenergo.gov.ru/upload/iblock/29a/29a0484ea0e4bd272252a486a80f2c32.pdf> (дата обращения: 17.11.2021).
3. Пять отличий автоматизации от цифровизации. Режим доступа: <https://www.bigdataschool.ru/blog/> (дата обращения: 13.12.2021).
4. Воропай Н.И., Стенников В.А. Интегрированные интеллектуальные энергетические системы // Известия РАН. Энергетика. 2014. №1. С. 64-73.
5. Воропай Н.И., Стенников В.А. Интегрированные энергетические системы. В кн.: Инновационная электроэнергетика-21 / Под ред. Батенина В.М., Бушуева В.В., Воропая Н.И. М.: ИЦ «Энергия». 2017. С. 181-193. ISBN 978-5-98908-457-9.
6. Бушуев В.В., Каменев А.С., Кобец Б.Б. Энергетика как инфраструктурная «система систем» // Энергетическая политика. 2012. Вып. 5. С. 3-14.

7. Воропай Н.И., Стенников В.А., Сендеров С.М., Барахтенко Е.А. и др. Интегрированные инфраструктурные энергетические системы регионального и межрегионального уровня // Энергетическая политика. 2015. Вып. 3. С. 24-32.
8. Воропай Н.И., Стенников В.А., Сендеров С.М. Интегрированные интеллектуальные системы в энергетике России. В кн.: Системные исследования в энергетике: методология и результаты / Под ред. А.А. Макарова и Н.И. Воропая. М.: ИНЭИ РАН. 2018. С. 87-101.
9. Веселов Ф.В., Дорофеев В.В. Интеллектуальная энергосистема России как новый этап развития электроэнергетики в условиях цифровой экономики // Энергетическая политика. 2018. Т. 43. № 5. С. 43-52.
10. Бердников Р.Н., Бушуев В.В., Воропай Н.И. и др. Концепция интеллектуальной электроэнергетической системы России с активно-адаптивной сетью. М.: ОАО «НТЦ ФСК ЕЭС». 2012. 235 с.
11. Воропай Н.И., Губко М.В., Ковалев С.П., Массель Л.В., Новиков Д.А., Райков А.Н., Сендеров С.М., Стенников В.А. Проблемы развития цифровой энергетики в России // Проблемы управления. №1. 2019. С. 2-14. DOI: <http://doi.org/10.25728/pu.2019.1.1>.
12. Рассел С., Норвиг П. Искусственный интеллект: современный подход. 2-е изд. Пер. с англ. М.: ООО «И. Д. Вильямс». 2016. 1408 с.
13. Искусственный интеллект: между мифом и реальностью. Режим доступа: <https://ru.unesco.org/courier/2018-3/iskusstvennyy-intellekt-mezhdu-mifom-i-realnostyu> (дата обращения: 14.12.2021).
14. Финн В.К. Чертова дюжина искусственного интеллекта. Режим доступа: <https://stimul.online/articles/science-and-technology/chertova-dyuzhina-idealnogo-intellekta-beseda-pervaya/> (дата обращения: 13.12. 2021).
15. Самая многообещающая технология. Чем вызвано всеобщее помешательство на машинном обучении? Режим доступа: [https://www.tadviser.ru/index.php_\(Machine_Learning\)](https://www.tadviser.ru/index.php_(Machine_Learning)) (дата обращения: 13.12. 2021).
16. Бушуев В.В. Интеллектуальное (когнитивное) прогнозирование и управление в энергетике // В кн.: Системные исследования в энергетике: методология и результаты / Под ред. А.А. Макарова и Н.И. Воропая. М.: ИНЭИ РАН. 2018. С. 102-112.
17. Любарский Ю.Я. Оперативный диспетчерский анализ нештатных ситуаций в электрических сетях промышленных предприятий – компьютерная поддержка на основе технологии экспертных систем // Промышленная энергетика. 2017. №9. С. 2- 6.
18. Хренников А.Ю., Любарский Ю.А. Использование элементов искусственного интеллекта: компьютерная поддержка оперативных решений в интеллектуальных энергетических сетях. М.: Литрес. 2021. 140 с.
19. Хорошевский В.Ф. Семантические технологии: ожидания и тренды // Открытые семантические технологии проектирования интеллектуальных систем (OSTIS-2012). Материалы II Международной научно-технической конференции. БГУИР. Минск. 2012. С.143-158.
20. Массель Л.В. Применение онтологического, когнитивного и событийного моделирования для анализа развития и последствий чрезвычайных ситуаций в энергетике // Проблемы безопасности и чрезвычайных ситуаций. №2. 2010. С. 34-43.
21. Массель Л.В., Массель А.Г. Интеллектуальные вычисления в исследованиях направлений развития энергетики // Известия Томского политехнического университета. 2012. Т. 321. № 5. Управление, вычислительная техника и информатика. С. 135-141.
22. Концепция граничных вычислений. Режим доступа: <https://2g3g4g5g.ru/mec-edge-computing-iot/> (дата обращения: 08.12. 2021).

23. Массель Л.В., Грибова В.В., Копайгородский А.Н. «Облачная» структура энергоинформационных систем. В кн.: Инновационная электроэнергетика-21 / Под ред. Батенина В.М., Бушуева В.В., Воропая Н.И. М.: ИЦ «Энергия». 2017. С. 556-577.
24. Курганова Н.В., Филин М.А., Черняев Д.С., Шаклеин А.Г., Намиот Д.Е. Внедрение цифровых двойников как одно из ключевых направлений цифровизации производства // International Journal of Open Information Technologies. ISSN: 2307-8162. Т. 7. № 5. 2019. С. 105-115.
25. Колосок И.Н., Коркина Е.С. Применение технологии граничной аналитики (Edge Analytics) при создании цифровых двойников объектов ЕЭС России // Информационные и математические технологии в науке и управлении. 2021. № 3 (23). С. 27-38. DOI: 10.38028/ESI.2021.23.3.003.
26. Прохоров А., Лысачев М. Цифровой двойник. Анализ, тренды, мировой опыт. / Научный редактор профессор Боровков А. Издание первое, исправленное и дополненное. – М.: ООО «АльянсПринт». 2020. 401 с.
27. Стенников В.А. Цифровые двойники в энергетике / Доклад ассоциации «Глобальная энергия»: «10 прорывных идей в энергетике на следующие 10 лет. 2021». С. 14-29. Режим доступа: <https://globalenergyprize.org/ru/> (дата обращения: 08.12. 2021).
28. Воропай Н.И., Массель Л.В., Колосок И.Н., Массель А.Г. ИТ-инфраструктура для построения интеллектуальных систем управления развитием и функционированием систем энергетики на основе цифровых двойников и цифровых образов. Известия РАН. Энергетика. №1. 2021. С. 3-13. DOI: 10.31857/S0002331021010180.
29. Massel L., Massel A. Development of Digital Twins and Digital Shadows of Energy Objects and Systems Using Scientific Tools for Energy Research // ENERGY-21 – Sustainable Development & Smart Management: proceedings. E3S Web of Conferences. 2020. Volume 209. DOI:10.1051/e3sconf/202020902019.
30. Steindl G, Stagl M, Kasper L, Kastner W, Hofmann R. Generic Digital Twin Architecture for Industrial Energy Systems // Applied Sciences. 2020. 10(24):8903. DOI: 10.3390/app10248903.
31. Lim K.Y.H., Zheng P., Chen C. A state-of-the-art survey of Digital Twin: techniques, engineering product lifecycle management and business innovation perspectives // Journal of Intelligent Manufacturing. 2020. Vol. 31. 1313–1337. DOI: 10.1007/s10845-019-01512-w.
32. Массель Л.В., Ворожцова Т.Н. Онтологический подход к построению цифровых двойников объектов и систем энергетики // Онтология проектирования. 2020. Т.10. № 3 (37). С. 327-337. DOI: 10.18287/2223-9537-2020-10-3-327-337.
33. Андрияшечкин С.К., Ковалев С.П., Нефедов Е. Подходы к разработке и применению цифровых двойников энергетических систем // Цифровая подстанция. № 12. 2019. С. 38-43.
34. Ковалёв С.П. Проектирование информационного обеспечения цифровых двойников энергетических систем // Системы и средства информатики. Т. 30. № 1. 2020. С. 66-81.
35. Массель А.Г., Щукин Н.И., Цыбиков А.Р. Разработка ЦД солнечной электростанции с использованием технологии BigData // Труды Международного научно-технического конгресса «Интеллектуальные системы и информационные технологии - 2021» («ИС & ИТ-2021», «IS&IT'21»). Научное издание. Таганрог: Изд-во: Ступина С.А.. 2021. С. 598-605.
36. Сильный ИИ. Режим доступа: <https://nauka.tass.ru/nauka/12769989> (дата обращения: 8.12.2021)

UDC 004.8: 620.9

MODERN STAGE OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE (AI) DEVELOPMENT AND APPLICATION OF AI METHODS AND SYSTEMS IN POWER ENGINEERING

Liudmila V. Massel

Doctor of Technical Sciences, Professor, Chief Researcher,
Head of Department "Artificial Intelligence Systems in Energy",
e-mail: lvmassel@gmail.com

Melentiev Energy Systems Institute (MESI) of SB RAS
664033 Irkutsk, Lermontov st., 130.

Abstract. The article analyzes a number of publications on this topic, and also summarizes the results of discussions at the conference "Knowledge, Ontology, Theory" (Novosibirsk, November 8-12, 2021) and the Round Table at the ISEM SB RAS "Artificial Intelligence in Energy" (December 22 2021). The concepts are considered: artificial general intelligence (AGI), strong and narrow AI (NAI), explainable AI, trustworthy AI. The reasons for the "hype" around machine learning and its disadvantages are analyzed. Compares cloud and edge computing technologies. The concept of "smart" digital twin, which integrates mathematical, informational, ontological models and AI technologies, is defined. The ethical risks of AI and the prospects for the application of AI methods and technologies in the energy sector are considered.

Keywords: Artificial intelligence (AI); power engineering; general, strong, narrow, explainable, trustworthy AI; smart digital twin; edge computing.

Acknowledgments. The research is carried out within the framework of the project under the state order of the MESI SB RAS, topic № FNEU-2021-007, project № AAAA-17-117030310444, with partial financial support from the Russian Foundation for Basic Research, grant № 19-07-00351

REFERENCES

1. Prohorov A., Konik L. Cifrovaja transformacija. Analiz, trendy, mirovoj opyt. [Digital transformation. Analysis, trends, world experience.] M.: ООО "Al'jansPrint" = "AlliancePrint". 2019. 368 p.(in Russian).
2. Izmerenie i ocenka rezul'tatov i jeffektov cifrovoj transformacii toplivno-jenergeticheskogo kompleksa. [Measurement and assessment of the results and effects of digital transformation of the fuel and energy complex] // Materialy Instituta jenergeticheskikh issledovanij RAN (INJeI RAN) po rezul'tatam NIR "Razrabotka nauchno obosnovannyh predlozhenij po izmereniju i ocenke rezul'tatov i jeffektov cifrovoj transformacii toplivno-jenergeticheskogo kompleksa". = Materials of the Energy Research Institute of the Russian Academy of Sciences (ERI RAS) based on the results of research "Development of scientifically based proposals for measuring and evaluating the results and effects of digital transformation of the fuel and energy complex." Available at: <https://in.minenergo.gov.ru/upoad/iblock/29a/29a0484ea0e4bd272252a486a80f2c32.pdf> (accessed 17.11.2021) (in Russian).
3. Pjat' otlichij avtomatizacii ot cifrovizacii [Five differences between automation and digitalization]. Available at: <https://www.bigdataschool.ru/blog/> (accessed 13.12.2021) (in Russian).
4. Voropaj N.I., Stennikov V.A. Integrirovannye intellektual'nye jenergeticheskie sistemy (Integrated intelligent energy systems) // Izvestija RAN. Energetika = News of the RAS. Energy. 2014. № 1. Pp. 64-73 (in Russian).
5. Voropaj N.I., Stennikov V.A. Integrirovannye energeticheskie sistemy [Integrated energy systems] // Innovacionnaja elektrojenergetika-21 = Innovative power industry-21. Edited by Batenin V.M., Bushuev V.V., Voropaj N.I. M.: PC "Energy". 2017. Pp. 181-193. ISBN 978-5-98908-457-9 (in Russian).

6. Bushuev V.V., Kamenev A.S., Kobec B.B. Jenergetika kak infrastrukturnaja «sistema sistem» [Energy as an infrastructure “system of systems”] // Jenergeticheskaja politika = Energy policy. 2012. Is. 5. Pp. 3-14 (in Russian).
7. Voropaj N.I., Stennikov V.A., Senderov S.M., Barakhtenko E.A. and etc. Integrirovannye infrastrukturnye energeticheskie sistemy regional'nogo i mezhregional'nogo urovnja [Integrated infrastructure energy systems of the regional and interregional level] // Energeticheskaja politika = Energy policy. 2015. Vol. 3. Pp. 24-32 (in Russian).
8. Voropaj N.I., Stennikov V.A., Senderov S.M. Integrirovannye intellektual'nye sistemy v energetike Rossii [Integrated intelligent systems in the energy sector of Russia] // Sistemnye issledovaniya v jenergetike: metodologija i rezul'taty = Systems Research in Energy: Methodology and Results Edited by Makarov A.A. and Voropaj N.I. M.: ERI RAS. 2018. Pp. 87-101 (in Russian).
9. Veselov F.V., Dorofeev V.V. Intellektual'naja energosistema Rossii kak novyj etap razvitija elektrojenergetiki v uslovijah cifrovoj ekonomiki [Intelligent energy system of Russia as a new stage in the development of the electric power industry in the digital economy] // Energeticheskaja politika = Energy policy. 2018. Vol. 23. № 5. Pp. 43-52 (in Russian).
10. Berdnikov R.N., Bushuev V.V., Voropaj N.I. and etc. Konceptija intellektual'noj elektrojenergeticheskoy sistemy Rossii s aktivno-adaptivnoj set'ju. [The concept of an intelligent electric power system in Russia with an active-adaptive grid] M.: OAO «NTC FSK EES». 2012. 235 p. (in Russian).
11. Voropaj N.I., Gubko M.V., Kovalev S.P., Massel' L.V., Novikov D.A., Rajkov A.N., Senderov S.M., Stennikov V.A. Problemy razvitija cifrovoj jenergetiki v Rossii [Problems of digital energy development in Russia] // Problemy upravlenija = Management Problems. №1. 2019. S. 2-14. DOI: <http://doi.org/10.25728/pu.2019.1.1> (in Russian).
12. Rassel S., Norvig P. Iskusstvennyj intellekt: sovremennyy podhod.[Artificial Intelligence: a Modern Approach]. 2nd edit. M.: OOO “P. H. Vil'jams”. 2016. 1408 p. (in Russian).
13. Iskusstvennyj intellekt: mezhdu mifom i real'nost'yu [Artificial intelligence: between myth and reality]. Available at: <https://ru.unesco.org/courier/2018-3/iskusstvennyy-intellekt-mezhdu-mifom-i-realnostyu>. (accessed 14.12.2021).
14. Finn V.K. Chertova dyuzhina iskusstvennogo intellekta [Finn V.K. A damn dozen of artificial intelligence]. Available at: <https://stimul.online/articles/science-and-technology/chertova-dyuzhina-idealnogo-intellekta-beseda-vtoraya/> (accessed 13.12. 2021) (in Russian).
15. Samaya mnogoobeshchayushchaya tekhnologiya. Chem vyzvano vseobshchee pomeshatel'stvo na mashinnom obuchenii? [Most Promising Technology. What is the cause of the general obsession with machine learning?]. Available at: [https://www.tadviser.ru/index.php/Статья:Машинное_обучение_\(Machine_Learning\)](https://www.tadviser.ru/index.php/Статья:Машинное_обучение_(Machine_Learning)) (accessed 13.12.2021) (in Russian).
16. Bushuev V.V. Intellektual'noe (kognitivnoe) prognozirovanie i upravlenie v energetike [Intelligent (cognitive) forecasting and management in energy]. V kn.: Sistemnye issledovaniya v energetike: metodologiya i rezul'taty = In the book: Systems Research in Energy: Methodology and Results. Pod red. A.A. Makarova i N.I. Voropaya. M.: INEI RAN. 2018. Pp. 102-112. (in Russian)
17. Lyubarskij YU.YA. Operativnyj dispetcherskij analiz neshtatnyh situacij v elektricheskikh setyah promyshlennyh predpriyatij – komp'yuternaya podderzhka na osnove tekhnologii ekspertnyh system [Operational dispatch analysis of emergency situations in electrical networks of industrial enterprises - computer support based on the technology of expert

- systems] // Promyshlennaya energetika = Industrial energy. 2017. № 9. Pp. 2-6. (in Russian).
18. Hrennikov A.YU., Lyubarskij YU.A. Ispol'zovanie elementov iskusstvennogo intellekta: komp'yuternaya podderzhka operativnyh reshenij v intellektual'nyh energeticheskikh setyah [Using elements of artificial intelligence: computer support for operational decisions in smart energy grids]. M.: Litres, 2021. 140 p. (in Russian).
 19. Horoshevskij V.F. Semanticheskie tekhnologii: ozhidaniya i trendy [Semantic technologies: expectations and trends] // Otkrytye semanticheskie tekhnologii proektirovaniya intellektual'nyh sistem = Open semantic technologies for the design of intelligent systems (OSTIS - 2012) // Materialy II Mezhdunarodnoj nauchno-tekhnicheskoj konferencii.= Proceeding of the II International Scientific and Technical Conference. BSUIR. Minsk. 2012. Pp.143-158. (in Russian).
 20. Massel L.V. Primenenie ontologicheskogo, kognitivnogo i sobytijnogo modelirovaniya dlya analiza razvitiya i posledstvij chrezvychajnyh situacij v energetike [Application of ontological, cognitive and event modeling to analyze the development and consequences of emergency situations in the energy sector] // Problemy bezopasnosti i chrezvychajnyh situacij = Safety and emergencies problems. № 2. 2010. Pp. 34-43. (in Russian).
 21. Massel L.V., Massel A.G. Intellektual'nye vychisleniya v issledovaniyah napravlenij razvitiya energetiki [Intelligent computing in energy research] // Izvestiya Tomskogo politekhnicheskogo universiteta = News of the Tomsk Polytechnic University. 2012. Vol. 321. № 5. Upravlenie, vychislitel'naya tekhnika i informatika = Management, computer technology and informatics. Pp. 135-141. (in Russian).
 22. Konceptiya granichnyh vychislenij [Edge computing concept]. Available at: <https://2g3g4g5g.ru/mec-edge-computing-iot/> (accessed 08.12.2021) (in Russian).
 23. Massel L.V., Gribova V.V., Kopajgorodskij A.N. «Oblachnaya» struktura energoinformacionnyh system [«Cloud» structure of energy information systems] // V kn.: Innovacionnaya elektroenergetika-21 = In book : Innovative power industry-21 / Pod red. Batenina V.M., Bushueva V.V., Voropaya N.I. M.: PC «Energiya»= Energy. 2017. Pp. 556-577 (in Russian).
 24. Kurganova N.V., Filin M.A., CHernyaev D.S., SHaklein A.G., Namiot D.E. Vnedrenie cifrovyyh dvojnikov kak odno iz klyuchevyyh napravlenij cifrovizacii proizvodstva [Digital twins' introduction as one of the major directions of industrial digitalization] // International Journal of Open Information Technologies. ISSN: 2307-8162. 2019. Vol. 7. № 5. Pp. 105-115. (in Russian).
 25. Kolosok I. N., Korkina E.S. Primenenie tekhnologii granichnoj analitiki (Edge Analytics) pri sozdanii cifrovyyh dvojnikov ob"ektov EES Rossii [Application of edge analytics technology to develop digital twins of Russia's united electric power system facilities] // Informacionnye i matematicheskie tekhnologii v nauke i upravlenii = Information and mathematical technologies in science and management. 2021. № 3 (23). Pp. 27-38. DOI: 10.38028/ESI.2021.23.3.003 (in Russian).
 26. Prohorov A., Lysachev M. Nauchnyj redaktor professor Borovkov A. Cifrovoy dvojn timer. Analiz, trendy, mirovoj opyt [Digital twin. Analysis, trends, global experience]. M.: OOO «Al'yansPrint». 2020. 401 p. (in Russian).
 27. Stennikov V.A. Cifrovye dvojniki v energetike [Digital twins in energy] // Doklad asociacii «Global'naya energiya»: «10 proryvnyh idej v energetike na sleduyushchie 10 let. 2021» = Global Energy Association Report: «10 Breakthrough Ideas in Energy for the Next 10 Years. 2021». Pp. 14-29. Available at: <https://globalenergyprize.org/ru/> (accessed 7.12.2021) (in Russian).

28. Voropaj N.I., Massel L.V., Kolosok I.N., Massel A.G. IT-infrastruktura dlya postroeniya intellektual'nyh sistem upravleniya razvitiem i funkcionirovaniem sistem energetiki na osnove cifrovyyh dvoynikov i cifrovyyh obrazov [IT-infrastructure for construction of intelligent management systems of development and functioning of energy systems based on digital twins and digital images] // Izvestiya RAN. Energetika = News of the Russian Academy of Sciences. Energy. 2021. №1. Pp. 3-13. DOI: 10.31857/S0002331021010180 (in Russian).
29. Massel L., Massel A. Development of Digital Twins and Digital Shadows of Energy Objects and Systems Using Scientific Tools for Energy Research // ENERGY-21 – Sustainable Development & Smart Management: proceedings. E3S Web of Conferences, 2020. Volume 209. DOI: 10.1051/e3sconf/202020902019.
30. Steindl G, Stagl M, Kasper L, Kastner W, Hofmann R. Generic Digital Twin Architecture for Industrial Energy Systems // Applied Sciences. 2020. 10(24):8903. DOI: 10.3390/app10248903.
31. Lim K.Y.H., Zheng P., Chen C. A state-of-the-art survey of Digital Twin: techniques, engineering product lifecycle management and business innovation perspectives // Journal of Intelligent Manufacturing. 2020. Vol. 31. 1313–1337. DOI: 10.1007/s10845-019-01512-w.
32. Massel L.V., Vorozhova T.N. Ontologicheskij podhod k postroeniyu cifrovyyh dvoynikov ob"ektov i sistem energetiki [Ontological approach to the construction of digital twins of objects and energy systems] // Ontologiya proektirovaniya = Ontology of designing. 2020. Vol. 10. № 3 (37). Pp. 327-337 (in Russian).
33. Andriushkevich S.K., Kovalev S.P., Nefedov E. Podhody k razrabotke i primeneniyu cifrovyyh dvoynikov jenergeticheskikh sistem [Approaches to the development and application of digital twins of energy systems] // Cifrovaya podstancija= Digital substation. № 12. 2019. Pp. 38-43 (in Russian).
34. Koval'ov S.P. Proektirovanie informacionnogo obespecheniya cifrovyyh dvoynikov jenergeticheskikh sistem [Designing information support for digital twins of energy systems]. Sistemy i sredstva informatiki = Systems and means of informatics. T. 30. №1. 2020. Pp. 66-81 (in Russian).
35. Massel A.G., Shchukin N.I., Cybikov A.R. Razrabotka CD solnechnoj elektrostancii s icpol'zovaniem tekhnologii BigData [Digital twin development of a solar power plant using Big Data technology] // Trudy Mezhdunarodnogo nauchno-tekhnicheskogo kongressa «Intellektual'nye sistemy i informacionnye tekhnologii - 2021» = Proceedings of the International Scientific and Technical Congress "Intelligent Systems and Information Technologies - 2021" («IS&IT'21»). Nauchnoe izdanie. Taganrog: Izd-vo Stupina S.A. 2021. Pp. 598-605. (in Russian).
36. Sil'nyj II [Strong AI]. Available at: <https://nauka.tass.ru/nauka/12769989> (accessed 8.12.2021) (in Russian).

Статья поступила в редакцию 06.12.2021; одобрена после рецензирования 15.12.2021; принята к публикации 20.12.2021.

The article was submitted 06.12.2021; approved after reviewing 15.12.2021; accepted for publication 20.12.2021.

УДК 004.89

РЕАЛИЗАЦИЯ КОМПОНЕНТНО-ОРИЕНТИРОВАННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ В ПЛАТФОРМЕ СОЗДАНИЯ СИСТЕМ, ОСНОВАННЫХ НА ЗНАНИЯХ

Столбов Александр Борисович

к.т.н., м.н.с., e-mail: stolboff@icc.ru

Лемперт Анна Ананьевна

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

Павлов Александр Иннокентьевич

к.т.н., с.н.с., e-mail: asd@icc.ru

Институт динамики систем и теории управления имени В.М. Матросова СО РАН
664033, Иркутск, ул. Лермонтова, 134.

Аннотация. В статье исследуются проблемы автоматизации и интеллектуальной поддержки процесса математического и имитационного моделирования сложных объектов за счёт комбинации компонентно-ориентированного и онтологического подходов. В качестве основной прикладной области для применения обсуждаемых методов и средств предполагается использовать такое направление, как комплексное моделирование окружающей среды. В контексте изучаемых вопросов рассмотрены современные подходы к автоматизации компонентно-ориентированного моделирования. При интеграции компонентов-моделей в единую результирующую комплексную модель разработчику необходимо не только обеспечить формальное согласование со стандартами используемого каркаса моделирования, но и учитывать различные типы семантической и синтаксической неоднородности компонентов. В связи с этим выполнена классификация типов интеграции комплексных моделей, обсуждаются особенности реализации компонентно-ориентированного моделирования в авторской платформе создания систем, основанных на знаниях. В качестве иллюстративного примера рассматривается гидролого-экологическая балансовая модель.

Ключевые слова: компонентно-ориентированное моделирование, комплексная модель, сценарный анализ, онтологии, системы на основе знаний.

Цитирование Столбов А.Б., Лемперт А.А., Павлов А.И. Реализация компонентно-ориентированного моделирования в платформе создания систем, основанных на знаниях // Информационные и математические технологии в науке и управлении. 2021. № 4 (24). С. 21-30. DOI: 10.38028/ESI.2021.24.4.002.

Введение. За последние годы разработчики и пользователи математических и имитационных моделей получили доступ к новым возможностям, которые предоставляют современные информационно-коммуникационные технологии (ИКТ). Помимо наблюдаемой длительной устойчивой тенденции к увеличению вычислительной мощности и пропускной способности программно-аппаратных средств, новые ИКТ развивают и изменяют сам подход к разработке моделей. В области работы с данными появились новые средства сбора и хранения информации. С одной стороны, можно организовать автономный, удалённый, относительно дешёвый мониторинг за объектом (беспроводные технологии, беспилотные системы). С другой стороны данные размещаются в открытых электронных ресурсах вместе с их семантическим описанием, что резко увеличивает уровень их доступности, как для анализа человеком, так и для средств компьютерной обработки. В области исследовательского инструментария современные системы лицензирования и стандартизации стимулируют обмен результатами научной деятельности: позволяют легально использовать и внедрять в своих разработках разнообразные электронные информационные ресурсы, данные вычислений и программные библиотеки. В области коммуникации современные средства позволяют преодолеть территориальную разобщённость и языковые различия. Таким образом, в настоящее

время возможности ИКТ вносят существенный вклад в традиционный процесс создания и внедрения моделей, расширяют область их использования, обогащают опыт их применения.

Новые возможности современных ИКТ позволяют изначально организовать процесс разработки модели с учётом необходимости взаимодействия между субъектами и объектами моделирования. В этом направлении активно развивается подход компонентно-ориентированного моделирования. Под компонентом понимается программный модуль, реализующий алгоритм вычислений в определенном каркасе (фреймворке) моделирования. Как правило, каркас моделирования создаётся и поддерживается небольшой группой разработчиков, а заинтересованным исследователям предоставляется возможность формировать предметные модели в соответствии со стандартом этого каркаса. Методы и средства компонентно-ориентированного моделирования применяются для решения задач совместимости как на этапе проектирования, так и на этапе вычислений.

В этих условиях задача поддержки процесса моделирования приобретает новое и важное значение. Одним из ключевых этапов здесь является интеграция моделей в единую результирующую комплексную модель. При этом в решении задач, непосредственно связанных с техническими вопросами интеграции моделей, достигнуты серьёзные теоретические и практические успехи, которые, как правило, зависят от соответствующих достижений в области программной инженерии. Более интересным и перспективным направлением научного поиска в настоящее время является задача автоматизации и интеллектуализации процесса связывания (coupling) моделей, учитывающая предметный смысл компонентов моделей и комплексной модели, контекст проектирования и особенности эксплуатации. Для решения этой задачи авторами используется онтологический подход, который хорошо зарекомендовал себя в случаях, когда необходимо формализовать и структурировать знания для последующей автоматической (или полуавтоматической) компьютерной обработки.

Статья является логическим развитием работы [1] и продолжает анализ методов и средств компонентно-ориентированного моделирования для создания комплексных моделей окружающей среды. Особое внимание уделяется типам интеграции моделей и особенностям их реализации в авторской платформе создания систем, основанных на знаниях.

Компонентно-ориентированное моделирование и комплексное моделирование окружающей среды. Идеи компонентного моделирования и проектирования широко востребованы в разных областях знаний и основаны на общефилософских понятиях анализа, синтеза, декомпозиции и т.п. В данной статье компонентное моделирование рассматривается применительно к задачам математического и имитационного моделирования, возникающих при комплексном моделировании окружающей среды. Тем не менее основные выводы и предложения могут быть применимы и к другим предметным и проблемным областям.

Комплексное моделирование окружающей среды (IEM – Integrated Environmental Modeling) [2, 3] – относительно новая (активно развивается последние 20 лет) научная дисциплина, изучающая взаимосвязь основных характеристик общества и экономики с биосферой и атмосферой в рамках единой модельной структуры. Отличительной особенностью IEM является направленность на достижение практических результатов и получение готовых к использованию рекомендаций, которые могли бы быть реализованы специалистами из государственных органов для решения проблем окружающей среды. В связи с этим важно найти баланс между вычислительной возможностью проведения многовариантных расчётов с интерпретируемыми результатами и комплексным охватом проблемы, по возможности учитывающий всё многообразие взаимодействующих объектов и субъектов. Именно необходимость вовлечения групп локальных коллективов с компетенциями из разных сфер научной и практической деятельности стимулирует активное использование компонентного подхода при решении задач IEM.

Комплексная модель состоит из двух или более отдельных и разделяемых моделей, связанных общим вычислительным каркасом, чтобы обеспечить автоматическое взаимодействие между моделями. С учётом такого определения комплексная модель может быть монодисциплинарной, т.е. охватывать лишь несколько процессов из одной области. Практико-ориентированный подход ИЕМ неизбежно требует всесторонней оценки изучаемого явления, использования множества дополняющих друг друга моделей. Таким образом, в конечном итоге ИЕМ занимается изучением *системы систем* (system of systems) [4] – иерархической структуры с разными уровнями абстракции, где системы и индикаторы на более низких уровнях могут масштабироваться до более высоких уровней.

Существующие в настоящее время стандарты каркасов моделирования [5, 6] основаны на принципах программной инженерии и созданы с целью обеспечить взаимодействие модулей во время выполнения расчётов. При этом, чем дальше комплексная модель от монодисциплинарной, тем больше возникает факторов семантической неопределенности. Эти факторы напрямую не связаны с автоматизацией вычислений, но их необходимо учитывать при интеграции компонентов. Далее рассмотрим эту проблему более подробно.

Типы интеграции в компонентно-ориентированном моделировании и проблемы связывания. Наиболее проработанный тип интеграции моделей – *техническое связывание*. Здесь необходимо обеспечить возможность запуска комплексной модели, т.е. организовать вычисления на основе цепочки моделей. К типовым проблемам, которые решаются при техническом связывании, относятся: автоматический обмен данными между моделями; регулярная повторяемость и воспроизводимость прогонов цепочки моделей; оптимизация исполнения моделей на разных вычислительных устройствах и архитектурах. Техническое связывание может быть реализовано различными способами.

- Без автоматизации. Информация между моделями передаётся через файлы, которые в ручном режиме подвергаются переформатированию и другой обработке, в т.ч. с использованием внешних редакторов (текстовых, табличных, XML и т.п.). Запуск различных моделей также осуществляется пользователями.
- Программа-сценарий (скрипт) автоматизирует преобразование входных файлов и запуск вычислений.
- Модель-программа осуществляет встроенное жёсткое связывание моделей в одну неделимую модель. Передача входных файлов и переменных происходит с использованием единого пространства памяти. Обеспечивается возможность обратной связи между моделями.
- Закрытый каркас моделирования обеспечивает встроенный механизм слабого связывания. Модели взаимозаменяемы, а механизм соединения специфичен для множества объединяемых моделей и/или для группы разработчиков.
- Открытый каркас моделирования, ориентированный на стандарты. Модели связаны как независимые компоненты, обмениваются данными стандартизированным способом.

Наибольший интерес и перспективу в настоящее время представляют открытые каркасы, которые изначально разрабатывались с целью применения большим сообществом разработчиков моделей. Можно выделить два основных типа каркасов моделирования:

- сервисно-ориентированные каркасы, в которых модели оформляются в виде веб-сервисов и для их связывания используются стандартные текстовые протоколы;
- компонентно-ориентированные каркасы, в которых каждая модель запускается как независимый компонент, обмен данными между моделями осуществляется на основе стандартного интерфейса.

В качестве примера, иллюстрирующего возможности компонентно-ориентированных каркасов для технического связывания, рассмотрим стандарт OpenMI (Open Modeling Interface) [5]. Этот стандарт активно используется в области моделирования водных ресурсов и поддерживается множеством программных средств моделирования и поддержки принятия решений (SOBEK 2: гидродинамические модели, Delft3D: гидродинамика на поверхности, Wanda 4: трубопроводная гидродинамика, MASCARET: гидродинамика потоков 1D, RF5M-EDA: 2D гидродинамика на поверхности, Impact Calculator: оценка потерь от наводнения, ISIS: моделирование рек и риска наводнений, InfoWorks: гидрологическое моделирование городского водного цикла). К ключевым характеристикам OpenMI относятся:

- два типа реализации модели-компонента: оболочка/фасад или поддержка программного интерфейса OpenMI непосредственно из модели;
- однонаправленные и двунаправленные связи между компонентами: различные варианты функций запроса и возврата данных;
- два типа событий: изменение статуса компонента, изменение значения элемента, участвующего в обмене информацией между компонентами.

Таким образом, при техническом связывании вся ответственность за согласование понятийного и методологического аппарата перекладывается на разработчика моделей. Для того, чтобы повысить уровень интеллектуализации процесса проектирования комплексной модели, введём ещё два типа интеграции: концептуальное (понятийное) и методологическое связывание.

Концептуальное связывание обеспечивает формирование единого расширяемого понятийного пространства, интерпретируемого как исследователями, так и компьютерными программами. К типовым проблемам, которые решаются при концептуальном связывании относятся:

- согласование понятий между дисциплинами, используемыми в моделях, для описания: уравнений, переменных, параметров, единиц измерения;
- формирование цепочки моделей, обеспечивающей содержательные связи между моделями и соответствующую проверку ограничений;
- масштабирование по единицам измерения;
- создание простых преобразователей для устранения несоответствия ввода/вывода.

Методологическое связывание направлено на согласование используемых методологий и соответствующее изменение моделей. Методологическое связывание развивает результаты концептуального связывания и добавляет в рассмотрение знания, связанные со свойствами моделей-компонентов в целом (а не только входы/выходы) и свойствами групп моделей. Реализуя методологическое связывание, разработчик рассматривает комплексную модель с точки зрения подхода *системы систем*, учитывая особенности методов моделирования и контекста внедрения моделей. К типовым проблемам, которые решаются при семантическом связывании относятся:

- пространственное масштабирование;
- масштабирование по времени;
- организационное (индивид, группа) масштабирование;
- создание сложных преобразователей для разрешения неопределенностей, как на уровне входов и выходов, так и на уровне компонентов-модели в целом.

Таким образом, при проектировании современного средства компонентно-ориентированного моделирования необходимо учитывать, что для реализации последних двух рассмотренных типов интеграции требуется явным образом обрабатывать знания предметной и проблемной областей. Поэтому в качестве инструментального средства разработки

комплексных моделей предлагается развить и дополнить авторскую платформу [7] создания систем, основанных на знаниях.

Реализация связывания моделей в платформе создания систем, основанных на знаниях. Ключевыми характеристиками используемой платформы являются: веб-ориентированная компонентная открытая клиент-серверная архитектура [7]; возможность интеграции внешних проблемно-ориентированных инструментов в прикладную систему, основанную на знаниях (СОЗ); центральная роль концептуальной модели в процессе разработки; использование потока работ для интеграции и сборки компонентов в прикладную СОЗ [8]. К настоящему времени разрабатываются более 10 системных, базовых, прикладных и вспомогательных компонентов. Системные компоненты обеспечивают общую функциональность программного обеспечения: компонент управления данными предоставляет операции для унифицированной обработки данных и в настоящее время реализован для базы данных PostgreSQL; компонент коммуникации выполняет двунаправленное взаимодействие в архитектуре клиент-сервер; компонент графического пользовательского веб-интерфейса [9] содержит расширяемую библиотеку элементов управления с предопределенными шаблонами взаимодействия клиент-сервер; компонент потока работ может использоваться либо для создания схемы сборки компонентов платформы, либо для описания некоторого императивного поведения, используемого в блоках принятия решений. На основе функциональности системных компонентов базовые компоненты решают задачи, связанные с обработкой знаний. Так, редактор онтологий берёт на себя всю основную работу с концептуальными моделями (концепция, отношение, атрибут, экземпляр): хранение данных, редактирование, визуальное представление и т.п. Компонент рассуждений на основе правил реализует задачи, связанные с созданием баз знаний. При этом концептуальная модель выступает в качестве исходного источника информации для разработки шаблонов фактов. Этот компонент предоставляет оригинальный визуальный инструмент для разработки правил, генерации кода и выполнения рассуждений на основе систем логического вывода Drools и Clips. Вспомогательные компоненты разработаны для обработки специальных типов информации: геоанных и многомерных наборов данных.

В предыдущей работе авторов [1] был представлен прототип концептуальной модели компонентно-ориентированного сценарного моделирования (КМ КОСМ), адаптирующий информацию из нескольких тематических онтологий [10-13]. При этом в качестве базовой модели использовалась онтология водных ресурсов [10]. КМ КОСМ представляет собой многослойную расширяемую онтологию и включает: ресурсный уровень (информация о компоненте и его разработчиках); технический уровень (информацию о требованиях компонента к вычислительной среде и программному обеспечению); связующий уровень (описание входов и выходов компонента, поддерживаемого интерфейса и архитектуры каркаса); математический уровень (онтология математических структур и методов); предметный уровень (модель предметной области на примере водных ресурсов).

На основе информации из КМ КОСМ возможны несколько вариантов реализации интеграции моделей в платформу.

Во-первых, пользователь может осуществлять запросы к онтологии для выбора соответствующих моделей для формируемой ситуации. Описанный способ подойдёт для анализа принципиальной возможности концептуального и методологического связывания без непосредственного технического, что является существенным недостатком. Ещё одним ограничением этого варианта является низкий уровень автоматизации, поскольку сами запросы будут слабо формально связаны, и именно пользователь должен организовать цепочки запросов и понять, какой запрос является наиболее подходящим.

Во-вторых, спецификация технического связывания может формироваться в редакторе онтологий платформы, а концептуальное и методологическое связывание будет выполняться с использованием специальной базы знаний, содержащей правила проверки условий интеграции и предоставления рекомендаций по выбору правильных элементов. Идеи применения платформы для сценарного моделирования с использованием баз знаний рассмотрены в предыдущей публикации авторов [14]. Недостатком этого варианта является низкий уровень интерактивности и сложности в разработке самой базы знаний для комплексных моделей типа система систем.

Третьим вариантом является использование компонента потока работ (workflow). По сравнению с предыдущими способами этот вариант ориентирован на обеспечение технического связывания. Модели регистрируются в платформе как внешние программные модули, а комплексная модель формируется из них в редакторе потока с использованием связей, отражающих потоки данных и управления. Поддержка процесса вычислений осуществляется компонентом потока работ. Недостатком этого варианта является лишь частичная поддержка концептуального связывания и отсутствие методологического связывания. Так, в рамках базовой функциональности компонента потока работ возможно накладывать ограничения только на типы связи: понятие, отношение или экземпляр онтологии, а также литеральные данные (число, текст), а содержательный смысл передается только названиями элементов. Для устранения указанного недостатка в ближайшем будущем планируется создание новой функциональности – семантического связывания, реализующего концептуальное и методологическое связывание за счёт комбинации методов онтологического подхода и потока работ. В рамках данной статьи далее приводится пример технического и концептуального связывания, использующего доступные к настоящему времени возможности потока работ.

Пример компонентов комплексной модели. В качестве иллюстративного примера рассмотрим упомянутую в предыдущей публикации [1] широко известную комплексную модель для расчета изменения гидролого-экологических характеристик устьев рек [15]. Фрагмент потока работ, отражающий взаимосвязь компонентов комплексной модели, представлен на рис. 1.

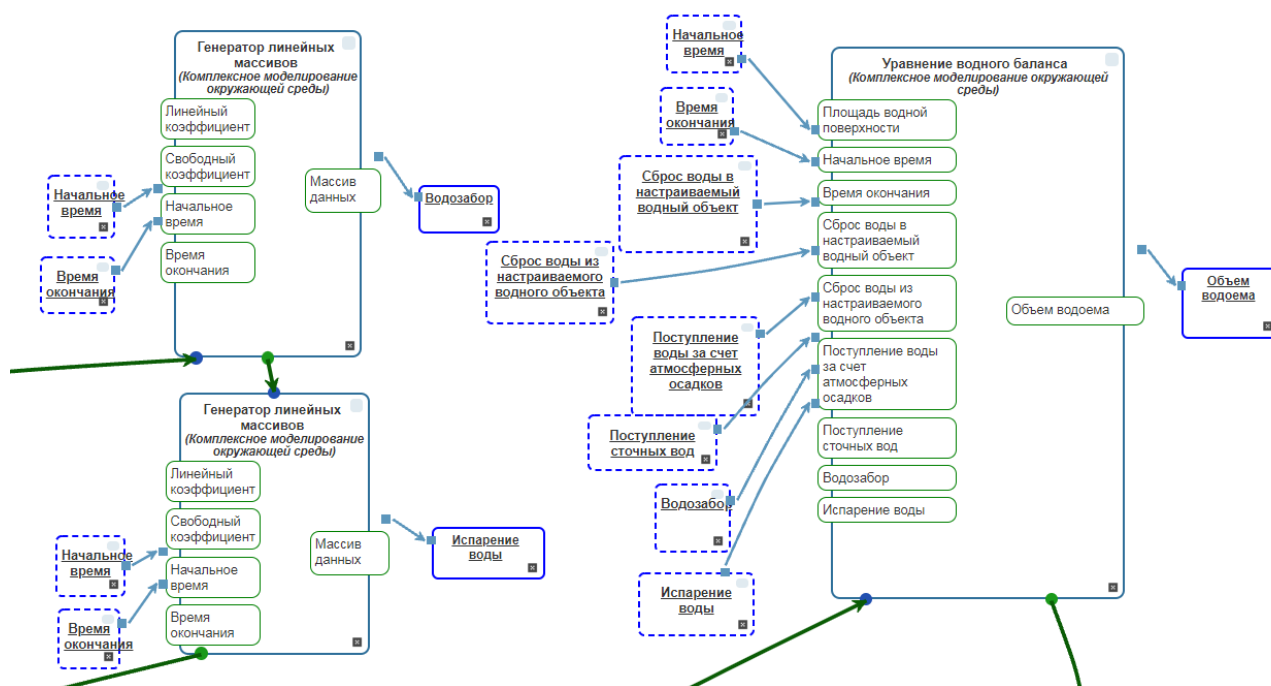


Рис. 1. Поток работ для комплексной балансовой модели (фрагмент).

С математической точки зрения эта модель представляет собой систему линейных

обыкновенных дифференциальных уравнений, что позволяет представить слагаемые каждого уравнения как экземпляры компонента-модели, спецификация которого описывается в терминах КМ КОСМ. С точки зрения проведения расчётов компонент-модель – это программный модуль, реализующий алгоритм вычислений в определенном каркасе моделирования. Для тестирования технического связывания программные модули, соответствующие элементам комплексной гидролого-экологической модели, были запрограммированы на языке Java и добавлены в платформу, как внешние модули.

Согласно структуре модели [15], разработаны следующие компоненты-модели: расход воды источника, питающий водный объект; расход воды притоков; расход воды от сбросов сточных вод; поступления воды с атмосферными осадками на поверхность водного объекта; расход искусственно забираемой воды из водного объекта при водозаборе; потери воды на испарения с поверхности водного объекта; расход воды в смежных водоёмах; расходование вещества вследствие его разложения; расходование вещества вследствие его потребления организмами; убыль вещества на дне; поступление вещества со дна; поступление вещества как преобразование других веществ; поступление вещества как продукт биохимических процессов; группа компонентов для моделирования поступления/убыли характерного вещества вместе с расходом воды. Перечисленные компоненты-модели описаны в КМ КОСМ: экземпляры этих компонентов в своих свойствах и через отношения с другими экземплярами описывают ситуации для конкретного водного объекта, предприятия, организма и т.п.

Для выполнения вычислительных экспериментов в дополнение к описанным балансовым компонентам-моделям были разработаны компоненты-модели, генерирующие необходимые для вычислений входные данные. В свою очередь, в качестве входных данных для выполнения генерации использовались общедоступная статистическая информация о гидрологических характеристиках водного объекта и экспертные оценки.

Процесс тестирования, связанный с проектированием комплексной модели и выполнением расчётов, подтвердил имеющиеся предположения: с одной стороны, была продемонстрирована принципиальная осуществимость технического связывания, с другой стороны, были выявлены недостатки, связанные с реализацией концептуального связывания в компоненте потока работа.

Заключение. Статья посвящена проблеме автоматизации и интеллектуальной поддержки процесса математического и имитационного моделирования сложных объектов за счёт комбинации компонентно-ориентированного и онтологического подходов. Проведён аналитический обзор методов и средств компонентно-ориентированного моделирования, использующихся в области комплексного моделирования окружающей среды. Выделены три класса задач интеграции моделей-компонентов: техническое связывание (согласование по данным для запуска цепочки моделей), концептуальное связывание (согласование понятийного аппарата при связывании моделей), методологическое связывание (согласование методов моделирования; пространственное, временное и организационное масштабирование). В контексте изучаемых вопросов проанализированы варианты реализации связывания моделей в авторской платформе создания систем, основанных на знаниях. В тестовом режиме реализована техническая интеграция комплексной модели для расчета изменения гидролого-экологических характеристик устьев рек.

Благодарности. Результаты получены в рамках госзадания Минобрнауки России по проекту «Теоретические основы, методы и высокопроизводительные алгоритмы непрерывной и дискретной оптимизации для поддержки междисциплинарных научных исследований» (№ гос. регистрации: 121041300065-9), «Методы и технологии облачной сервис-ориентированной цифровой платформы сбора, хранения и обработки больших объёмов разноразмерных междисциплинарных данных и знаний, основанные на применении искус-

ственного интеллекта, модельно-управляемого подхода и машинного обучения» (№ гос регистрации: 121030500071-2), а также при частичной финансовой поддержке РФФИ и Правительства Иркутской области в рамках научного проекта № 20-47-380001.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Лемперт А.А., Столбов А.Б., 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.
2. Argent R. An overview of model integration for environmental applications – Components, frameworks and semantics // Environmental Modelling & Software. 2004. Vol. 19. №3. P. 219-234. DOI: 10.1016/S1364-8152(03)00150-6.
3. Moore R., Hughes A. Integrated environmental modelling: Achieving the vision // Geological Society, London, Special Publications. 2016. Vol. 408. P. 17-34. DOI: 10.1144/SP408.12.
4. Iwanaga T., Wang H.H., Hamilton S.H., Grimm V., Koralewski T.E., Salado A., Elsayah S., Razavi S., Yang J., Glynn P., Badham J., Voinov A., Chen M., Grant W.E., Peterson T.R., Frank K., Shenk G., Barton C.M., Jakeman A.J., Little J.C. Socio-technical scales in socio-environmental modeling: Managing a system-of-systems modeling approach // Environmental Modelling & Software. 2021. Vol. 135. P. 104885. DOI: 10.1016/j.envsoft.2020.104885.
5. Harpham Q., Hughes A., Moore R.V. Introductory Overview: The OpenMI 2.0 Standard for Integrating Numerical Models // Environmental Modelling & Software. 2019. Vol. 122. P. 104549. DOI: 10.1016/j.envsoft.2019.104549.
6. Syvitski J., Hutton E., Peckham S., Slingerland R. CSDMS – A modeling system to aid sedimentary research // Sedimentary Geology. 2011. Vol. 9. №1. P. 4–9. DOI: 10.2110/sedred.2011.1.4.
7. 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. P. 1234-1239.
8. Pavlov A.I., Stolbov A.B., Dorofeev A.S. The workflow component of the knowledge-based systems development platform // CEUR Workshop Proceedings, 2nd Scientific-Practical Workshop Information Technologies: Algorithms, Models, Systems, ITAMS 2019. Vol. 2463. P. 47-58.
9. Pavlov A.I., Stolbov A.B. Domain-oriented specialization tools for knowledge-based systems development platform // CEUR Workshop Proceedings, 3rd Scientific-Practical Workshop Information Technologies: Algorithms, Models, Systems, ITAMS 2020. Vol. 2677. P. 59-69.
10. Elag M., Goodall J.L. An ontology for component-based models of water resource systems // Water Resources Research. 2013. Vol. 49. P. 5077–5091. DOI: 10.1002/wrcr.20401.
11. Horsburgh J., Tarboton D., Maidment D., Zaslavsky I. A relational model for environmental and water resources data // Water Resources Research. 2008. Vol. 44. №5. P. W05406. DOI: 10.1029/2007WR006392.
12. 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. P. 105-119. DOI: 10.1007/978-3-319-11716-4_9.

13. Raskin R., Pan M. Knowledge representation in the Semantic Web for Earth and Environmental Terminology (SWEET) // Computers & Geosciences. 2005. Vol. 31. №9. P. 1119-1125. DOI: 10.1016/j.cageo.2004.12.004.
14. Pavlov A.I., Stolbov A.B. The Application of the Knowledge-Based Systems Development Platform for Creating Scenario Analysis Support Tools // Proceedings of the VIth International Workshop 'Critical Infrastructures: Contingency Management, Intelligent, Agent-Based, Cloud Computing and Cyber Security (IWCI 2019). Advances in Intelligent Systems Research. 2019. Vol. 169. P. 43-48.
15. Михайлов В.Н. Гидрология устьев рек. М.: Изд-во МГУ. 1998. 176 с.

UDC 004.89

TOWARDS IMPLEMENTATION OF COMPONENT-BASED MODELING IN THE PLATFORM FOR CREATING KNOWLEDGE-BASED SYSTEMS

Alexander B. Stolbov

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

Anna A. Lempert

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

Alexander I. Pavlov

Ph. D., senior senior, e-mail: asd@icc.ru

Matrosov Institute for System Dynamics and Control Theory

Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences

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

Abstract. The article considers the problems of automation and intellectual support of the mathematical and simulation modeling process of complex objects via a combination of component-based and ontological approaches. As the main application area for the discussed methods and tools, it is proposed to use the integrated environmental modeling domain. In this context, modern approaches to the automation of component-based modeling are considered. To couple model components into a final complex model, the developer needs not only to ensure formal agreement with the standards of the modeling framework but also to take into account various types of semantic and syntactic heterogeneity of components. In this regard, the classification of the integration types for complex modeling is carried out, the related implementation features in the author's platform for creating knowledge-based systems are discussed. The hydrological-ecological balance model is considered an illustrative example.

Keywords: component-based modeling, coupling problems, scenario analysis, ontologies, knowledge-based systems

REFERENCES

1. Lempert A.A., Stolbov A.B., Kozlov V.V. Ispol'zovanie ontologicheskogo podhoda dlya intellektual'noj podderzhki scenariy modelirovaniya vodnykh ob'ektov Priangar'ya [The ontological approach application for intellectual support of scenario modeling of water objects in the angara region] // Informacionnye i matematicheskie tekhnologii v nauke i upravlenii = Information and mathematical technologies in science and management. 2020. № 3 (19). P. 14-24. (in Russian)
2. Argent R. An overview of model integration for environmental applications—Components, frameworks and semantics // Environmental Modelling & Software. 2004. Vol. 19. №3. P. 219-234. DOI: 10.1016/S1364-8152(03)00150-6.
3. Moore R., Hughes A. Integrated environmental modelling: Achieving the vision // Geological Society, London, Special Publications. 2016. Vol. 408. P. 17-34. DOI: 10.1144/SP408.12.

4. Iwanaga T., Wang H.H., Hamilton S.H., Grimm V., Koralewski T.E., Salado A., Elsayah S., Razavi S., Yang J., Glynn P., Badham J., Voinov A., Chen M., Grant W.E., Peterson T.R., Frank K., Shenk G., Barton C.M., Jakeman A.J., Little J.C. 2021. Socio-technical scales in socio-environmental modeling: Managing a system-of-systems modeling approach // *Environmental Modelling & Software*. 2021. Vol. 135. P. 104885. DOI: 10.1016/j.envsoft.2020.104885.
5. 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. P. 1-13. DOI: 10.1016/j.envsoft.2019.104549.
6. Syvitski J., Hutton E., Peckham S., Slingerland R. CSDMS - A modeling system to aid sedimentary research // *Sedimentary Geology*. 2011. Vol. 9. №1. P. 4-9. DOI: 10.2110/sedred.2011.1.4.
7. 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. P. 1234-1239.
8. Pavlov A.I., Stolbov A.B., Dorofeev A.S. The workflow component of the knowledge-based systems development platform // *CEUR Workshop Proceedings, 2nd Scientific-Practical Workshop Information Technologies: Algorithms, Models, Systems, ITAMS 2019*. Vol. 2463. P. 47-58.
9. Pavlov A.I., Stolbov A.B. Domain-oriented specialization tools for knowledge-based systems development platform // *CEUR Workshop Proceedings, 3rd Scientific-Practical Workshop Information Technologies: Algorithms, Models, Systems, ITAMS 2020*. Vol. 2677. P. 59-69.
10. Elag M., Goodall J.L. An ontology for component-based models of water resource systems // *Water Resour. Res.* 2013. №49. P. 5077-5091. DOI: 10.1002/wrcr.20401.
11. Horsburgh J., Tarboton D., Maidment D., Zaslavsky I. A relational model for environmental and water resources data // *Water Resources Research*. 2008. Vol. 44. №5. P. W05406. DOI: 10.1029/2007WR006392.
12. 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. P. 105-119.
13. Raskin R., Pan M. Knowledge representation in the Semantic Web for Earth and Environmental Terminology (SWEET) // *Computers & Geosciences*. 2005. Vol. 31. №9. P. 1119-1125. DOI: 10.1016/j.cageo.2004.12.004.
14. Pavlov A.I., Stolbov A.B. The Application of the Knowledge-Based Systems Development Platform for Creating Scenario Analysis Support Tools // *Proceedings of the VIth International Workshop 'Critical Infrastructures: Contingency Management, Intelligent, Agent-Based, Cloud Computing and Cyber Security (IWCI 2019)*. *Advances in Intelligent Systems Research*. 2019. Vol. 169. P. 43-48.
15. Mihajlov V.N. *Gidrologiya ust'ev rek [Hydrology of river mouths]*. M.: Izd-vo MGU. 1998. 176 p. (in Russian)

Статья поступила в редакцию 13.12.2021; одобрена после рецензирования 16.12.2021; принята к публикации 21.12.2021.

The article was submitted 13.12.2021; approved after reviewing 16.12.2021; accepted for publication 21.12.2021.

УДК 004.822: (620.9+504.03)

СЕМАНТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ В ИССЛЕДОВАНИЯХ УСТОЙЧИВОСТИ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ И СОЦИО-ЭКОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Ворожцова Татьяна Николаевна

к.т.н., вед. инж.-исследователь отдела «Системы искусственного интеллекта в энергетике»

e-mail: tnn@isem.irk.ru

Пестерев Дмитрий Вячеславович

ст. инж.-исследователь отдела «Системы искусственного интеллекта в энергетике»

e-mail: pesterev.dmitriy@gmail.com

Кузьмин Владимир Русланович

м.н.с. отдела «Системы искусственного интеллекта в энергетике»

e-mail: rulisp@vigo.su

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

664033 г. Иркутск, ул. Лермонтова, 130.

Аннотация. В статье рассматриваются возможности применения семантического моделирования, включающего, в частности, онтологическое и когнитивное моделирование для поддержки совместных исследований энергетических и социо-экологических систем. Работа посвящена использованию онтологического инжиниринга для структурирования знаний предметных областей и когнитивного моделирования в исследованиях влияния функционирования энергетических объектов на природную среду и человека. Онтологическое моделирование используется для выявления, описания и согласования базовых понятий предметных областей исследований и позволяет систематизировать и наглядно представить взаимосвязи между элементами природной среды, объектами энергетики и их характеристиками, факторами воздействия и методами их расчета. Когнитивное моделирование используется для выявления структуры причинно-следственных связей между факторами, влияющими на устойчивость системы.

Ключевые слова: онтологический инжиниринг, когнитивное моделирование, устойчивость, энергетические системы, социо-экологические системы, качество жизни, базы данных.

Цитирование: Ворожцова Т. Н., Пестерев Д. В., Кузьмин В.Р. Семантическое моделирование в исследованиях устойчивости энергетических и социо-экологических систем // Информационные и математические технологии в науке и управлении. 2021. № 4 (24). С. 31-43. DOI: 10.38028/ESI.2021.24.4.003.

Введение. Исследования проблемы устойчивости энергетических систем в настоящее время являются актуальными как в России, так и за рубежом и требуют рассмотрения аспектов в разных предметных областях - технической, экологической, социальной и других [1-4]. При этом все большее внимание уделяется экологическим и социальным аспектам таких исследований. Для выполнения междисциплинарных исследований, требующих системного анализа множества факторов, необходима разработка и интеграция соответствующих методов и применение современных интеллектуальных информационных технологий, в частности, онтологического и когнитивного моделирования [5].

Постановка задачи интеграции исследований устойчивости энергетических и социо-экологических систем была ранее выполнена совместно с коллегами из Международного института прикладного системного анализа (International Institute of Application System Analysis) - МИПСА или IIASA (Лаксенбург, Австрия) [6].

В Институте систем энергетики им. Л.А. Мелентьева СО РАН ведутся исследования оценки влияния объектов энергетики на экологию, разрабатываются Web-ориентированная информационная система (WIS), интегрирующая математические и семантические методы и инструментальные средства оценки такого влияния, базы данных, базы знаний, геоинформационная система. В рамках проекта «Методы построения онтологического пространства знаний для интеллектуальной поддержки принятия решений в энергетике и экологии с учетом качества жизни», поддержанного грантом РФФИ № 20-07-00195, формируется онтологическое пространство знаний.

Основными направлениями семантического моделирования в исследованиях устойчивости являются разработка онтологических и когнитивных моделей. Онтологические описания используются для выявления и формулирования базовых понятий, систематизации и структурирования знаний предметных областей. Когнитивное моделирование используется как один из инструментов анализа и сопоставления отрицательных и положительных факторов влияния объектов энергетики на природную среду и человека. Кроме этого, онтологии, описывающие состав и структуру необходимых для исследования данных, являются основой при разработке баз данных и баз знаний выполняемых исследований.

1. Базовые понятия исследований устойчивости энергетических и социо-экологических систем. Разрабатываемая в мировом масштабе концепция устойчивого развития общества объединяет три составляющие: экономическую, включающую оптимальное использование ограниченных ресурсов; экологическую, как обеспечение жизнеспособности экосистем, от которых зависит стабильность всей биосферы и социальную, ориентированную на человека, как главную ценность. Необходимость рассмотрения устойчивости энергетических объектов и систем в комплексе с устойчивым развитием общества связана с решением экологических проблем, здоровьем человека и обеспечением качества жизни.

Определение понятия «устойчивость» зависит от предметной области и акцентов рассмотрения – технические, экологические, социальные. Некоторые базовые определения понятий «система» и «устойчивость», связанные с эколого-социальными аспектами были даны Николаем Федоровичем Реймерсом в словаре-справочнике по природопользованию [7]:

Система – это саморазвивающаяся и саморегулирующаяся упорядоченная материально-энергетическая совокупность имеющихся, поступающих извне и продуцируемых этой совокупностью веществ, энергии, информации, обеспечивающая преобладание внутренних связей над внешними.

Устойчивость системы – это ее способность оставаться относительно неизменной в течение определенного периода вопреки внешним и внутренним возмущениям.

Система социо-экологическая (геосоциальная) – это система, составленная всей биосферой, человечеством как социально-экономической совокупностью (со всем его хозяйством) и человечеством как биосоциальной видовой разновидностью.

Устойчивость экологическая – способность экосистемы сохранять свою структуру и функциональные особенности при воздействии внешних и внутренних факторов (нередко рассматривается как синоним стабильности).

Экосистема – сообщество живых существ и его среда обитания, объединенные в единое функциональное целое, возникающее на основе взаимозависимости и причинно-следственных связей между отдельными экологическими компонентами.

Устойчивость экосистемы – ее способность к реакциям, пропорциональным по величине силе воздействия.

В исследованиях энергетики понятия «энергетическая система» и «устойчивость», как правило, связано с понятием энергетической безопасности [8]:

Энергетическая система – открытая человеко-машинная производственная система, предназначенная для добычи (производства, получения), переработки (преобразования), транспортирования, хранения и распределения энергоресурсов и снабжения потребителей этой продукцией.

Устойчивость энергосистемы – это способность возвращаться в исходное состояние при малых или значительных возмущениях.

Как видно из приведенных определений, во всех случаях устойчивость – это способность любой системы переносить, приспосабливаться и восстанавливаться после возмущающих воздействий.

Социальная устойчивость тесно связана как с экологическими вопросами, так и с вопросами жизнеобеспечения населения необходимыми благами, в том числе теплом и электроэнергией. Этим обусловлена необходимость совместных экологических и социальных исследований, а также энергетической безопасности, как «состояния защищенности граждан, общества, государства, экономики от угроз дефицита в обеспечении их потребностей в энергии экономически доступными энергетическими ресурсами приемлемого качества и угроз нарушений бесперебойности энергоснабжения» [8].

Поскольку энергетика обеспечивает потребности населения в тепловой и электрической энергии, но, с другой стороны, отрицательно влияет на природную среду и может сказываться на здоровье населения и качестве его жизни, понятие «качество жизни» используется в исследованиях для сопоставления положительного и отрицательного влияния функционирования объектов энергетики [9, 10].

2. Компоненты онтологического пространства знаний. Задачами онтологического инжиниринга являются согласование понятий предметных областей, обеспечение доступности и восприятия неструктурированной информации, описание и представление знаний, работа со смыслом информации, интеграция систем и приложений [11, 12]. В выполняемых исследованиях требуется согласование исследований сложных систем энергетики и экологии. Для оценки степени влияния энергетики на природную среду и человека авторами используется понятие «качество жизни» (показатель социологических исследований), позволяющее учесть множество объективных и субъективных факторов, отражающих благосостояние, здоровье, удовлетворенность условиями жизни и другие социально-личностные аспекты.

Система разрабатываемых онтологий предполагает онтологическое описание метауровней и их дальнейшее расслоение, предусматривающее все большую степень детализации на каждом следующем уровне. Метаонтологии являются основой для описания структуры онтологического пространства и включают базовые понятия предметных областей, имеющие отношение к совместным исследованиям.

Для интеграции выполняемых исследований влияния энергетики на природную среду метаонтология включает следующие базовые понятия, являющиеся классами – *энергетический объект, энергетический ресурс, элемент природной среды, антропогенный фактор*. Каждое из этих понятий может иметь тип или подкласс в терминах онтологического представления, а также, набор свойств. При этом имеет значение не только тип энергетического объекта, но и его технологические характеристики, а также тип используемого энергетического ресурса, его качественные и количественные свойства [13].

Наиболее важным базовым понятием с точки зрения экологических аспектов исследований является понятие *Антропогенный фактор*. По определению Реймерса Н.Ф., это фактор, косвенно обязанный своим происхождением деятельности человека (планируемой или случайной, настоящей или прошлой) [7]. Применительно к энергетическим объектам под антропогенными факторами понимаются эмиссии, отходы,

излучение, шум, вибрация, радиация и т.п. Антропогенный фактор зависит от типа и вида энергоресурса, типа технологий энергетического объекта, измеряется количеством выбросов, сбросов, отходов.

В результате более детального исследования антропогенных факторов в сочетании с методическим инструментарием для их количественной оценки нашими коллегами по экологическим исследованиям предложено рассмотрение следующих понятий:

Антропогенное воздействие – процесс влияния хозяйственной или иной деятельности человека на элементы природной среды, измеряется показателями состава загрязняющих веществ, классом их опасности, климатическими и орографическими характеристиками территории (путем оценки фонового состояния элементов природной среды и информации об их свойствах); климатическими «поведенческими» моделями, описывающими физические, термодинамические, химические процессы в элементах природной среды.

Антропогенное загрязнение – результат изменения в элементах природной среды, вызываемый антропогенным воздействием. Степень загрязнения зависит от антропогенной нагрузки и обуславливает концентрацию вредных веществ в элементах природной среды, определяется составом вредных веществ, способностью адаптироваться к антропогенному воздействию и его продолжительностью, измеряется концентрацией загрязняющих веществ, плотностью выпадения (с использованием моделей распространения загрязняющих веществ в различных средах).

Антропогенное последствие – результат антропогенного загрязнения (изъятие территории, истощение земель, нарушение ландшафта, уничтожение растительного покрова, закисление почвы, заболевание животных и человека, высыхание водных объектов и т.п.), измеряется кратностью превышения норм ПДК для различных сред, превышения нормативов допустимых выбросов/сбросов и др. (путем систематизации существующих норм качества по каждому элементу природной среды).

Понятие *Качество жизни* определяется как совокупная характеристика уровня объективных и субъективных условий жизни населения, определяющих физическое, ментальное, социально-культурное развитие человека, группы или сообщества людей [14].

Наиболее часто качество жизни характеризуется индикаторами – показателями здравоохранения, образования, экономических условий, экологической обстановки, условий жизни, занятости и др. Состав индикаторов зависит от целей выполняемых исследований, от уровня экономического развития стран и других факторов. Часто индикаторы подразделяются на объективные и субъективные. Кроме этого существуют интегральные индикаторы, отражающие такие группы показателей, как характеристики социальной сферы, качество природно-климатических условий, качество экологии, благосостояние населения и демографические показатели.

Основными разделами разрабатываемого онтологического пространства знаний являются энергетика, экология и качество жизни. Соответственно онтологии разделов исследований содержат следующие описания:

- энергетика – описание характеристик и параметров объектов энергетики и производственных процессов для оценки их влияния на экологию;
- экология – описание существующих методов оценки выбросов загрязняющих веществ, моделей распространения загрязнений, показателей антропогенного воздействия от объектов энергетики.
- качество жизни – описание методических подходов к исследованиям, критериев и индикаторов качества жизни.

Пример описания базовых классов онтологического пространства приведен на рис. 1.

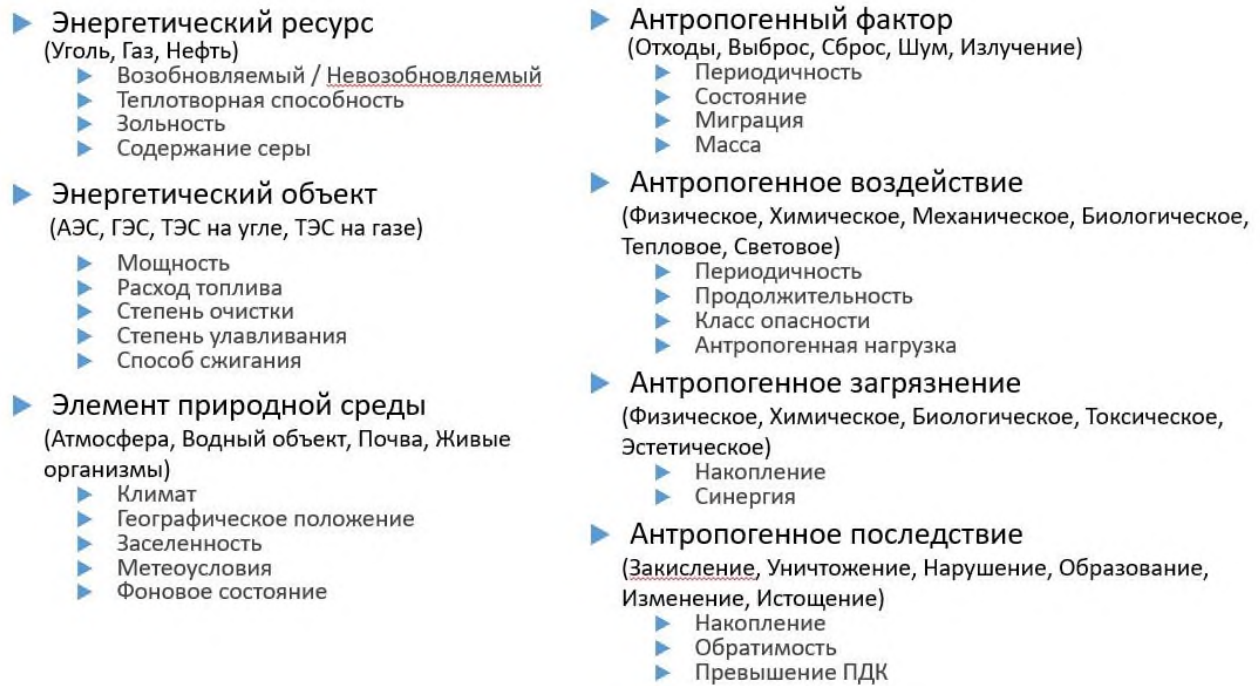


Рис. 1. Структура базовых классов онтологического пространства.

3. Когнитивное моделирование. Когнитивное моделирование – процесс построения когнитивных моделей. Когнитивная модель описывается ориентированным графом, где вершины графа – концепты (факторы) предметной области, а дуги – связи между концептами. Связи могут быть положительными или отрицательными в зависимости от характера взаимовлияния факторов. Также связь может иметь весовой коэффициент, который определяется экспертным путем и отражает степень этого влияния. Графическое представление когнитивной модели называется когнитивной картой.

Когнитивное моделирование в исследовании устойчивости используется для определения взаимного влияния между факторами исследуемых систем. Эти факторы можно определить как при построении когнитивной карты, так и использовать уже существующие, описанные в онтологическом пространстве исследуемой области.

«Когнитивная карта» как термин впервые предложил Э. Толмен. в работе [15]. Использование когнитивных карт для анализа и принятия решений в плохо определённых ситуациях предложил Р. Аксельрод. Большое распространение получила когнитивная карта Робертса-Аксельрода. Она была предложена Робертсом [16] как знаковый оргграф и приведена впоследствии в книге Аксельрода [17] как когнитивная карта, поэтому в некоторых источниках она приводится как когнитивная карта Аксельрода. Для нашего исследования она примечательна тем, что в этой когнитивной карте авторы показали взаимовлияние энергетических, экологических и социальных факторов. Эта карта является хорошей основой, в которую можно внести дополнительные факторы из области энергетических и социо-экологических систем значительно увеличив ее размерность и расширить применимость при исследованиях устойчивости этих систем. Небольшой пример модификации представлен на рис. 2. Введен дополнительный фактор «Уровень заболеваемости», а также добавлены дополнительные связи между существующими факторами «Энергетические мощности» – «Состояние окружающей среды», «Численность населения» – «Число рабочих мест», «Число предприятий» – «Состояние окружающей среды».

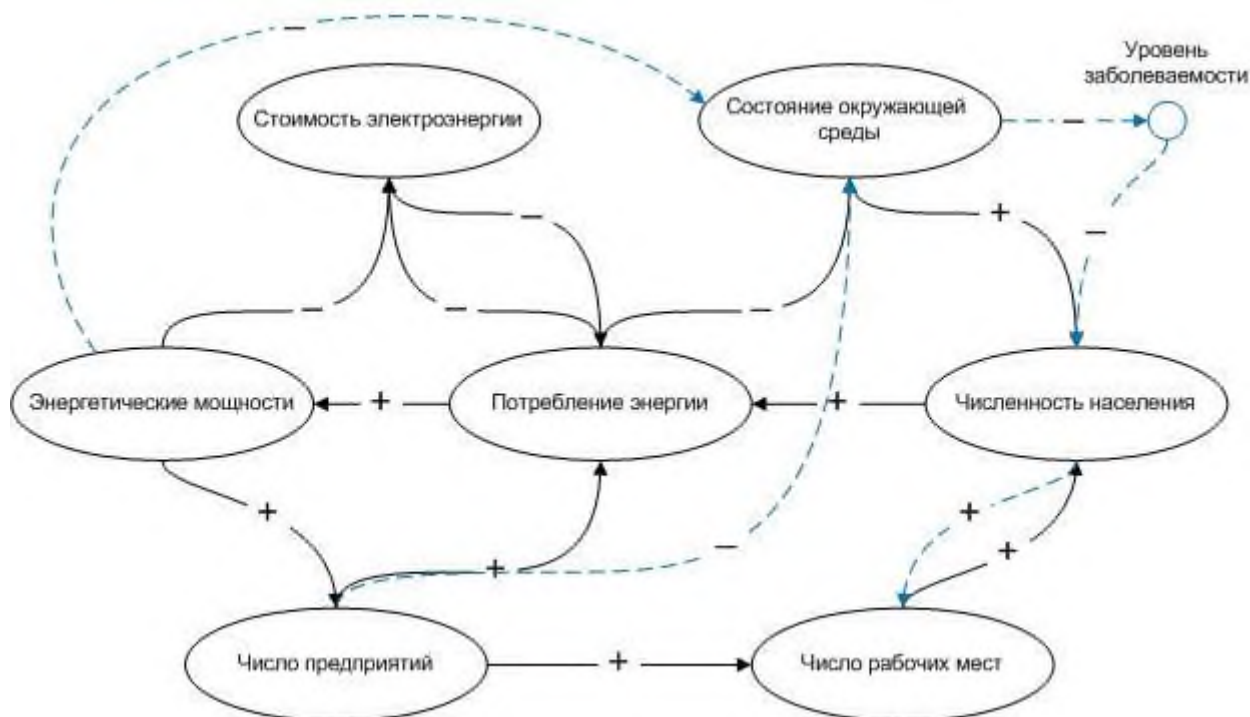


Рис. 2. Модифицированная когнитивная карта Робертса-Аксельрода.

Для построения когнитивных моделей предлагается следующая модифицированная методика, основанная на методике когнитивного моделирования угроз энергетической безопасности, предложенной в работе [18]:

1. Выявление основных факторов – концептов, влияющих на развитие и/или функционирование исследуемой системы.
2. Установление причинно-следственных связей между факторами, расстановка весов этих связей и построение когнитивной модели исследуемой системы. В простейшем случае, веса могут иметь значения «+1» или «-1».
3. Выявление факторов, негативно влияющих на развитие и/или функционирование системы/систем.
4. Определение факторов, нейтрализующих возмущения в системе и положительно влияющих на развитие и/или функционирование системы.
5. Изменение весов (или знаков) причинно-следственных связей, в зависимости от влияния угроз и мероприятий на факторы развития и/или функционирования системы.

Как уже было отмечено, понятие «качество жизни» используется в наших исследованиях для сопоставления положительного и отрицательного влияния функционирования объектов энергетики на природную среду и человека. Оно характеризует максимальное количество сторон жизни человека и определяется совокупностью объективных и субъективных параметров. Показатель качества жизни учитывает состояние защищенности, положение человека в обществе и, главное, его собственную оценку всех этих факторов. Интегральный показатель качества жизни обобщает показатели здоровья, социального самочувствия, субъективного социального благополучия и благосостояния [19].

Для определения интегрального показателя качества жизни также предлагается использовать когнитивное моделирование. В качестве основы для когнитивной модели интегральной оценки качества жизни предлагается использовать применяемую социологами методику SF-36. Ранее в работах [20, 21] описывалась попытка включения в когнитивную карту внешнего фактора «Обеспеченность энергетическими ресурсами». Для исследований устойчивости эту когнитивную модель предлагается расширить добавлением внешних

факторов, характеризующих энергетические и социо-экологические системы, как представлено на рис. 3.

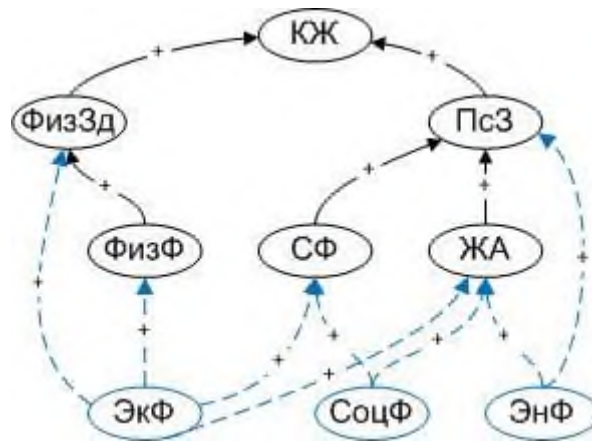


Рис. 3. Когнитивная карта интегрального показателя жизни по методике SF-36 с включением групп внешних факторов.

Комментарии в карте: КЖ – интегральный показатель качества жизни; ФизЗд – физическое здоровье; ПсЗ – психическое здоровье; ФизФ – физическое функционирование; СФ – социальное функционирование; ЖА – жизненная активность;

Кроме показателей, содержащихся в методике SF-36, в эту карту включены группы факторов энергетических (ЭнФ) и социо-экологических (СоцФ и ЭкФ, соответственно) систем.

Определение весов субъективных факторов производится на основе результатов анкетирования населения в соответствии с методикой SF-36. Определение весов внешних факторов производится на основе экспертных оценок.

Использование объективно-субъективных связей между факторами в когнитивных моделях можно дополнять количественными весовыми оценками для дальнейшего математического моделирования ситуаций.

4. Проектирование баз данных на основе онтологий. Учитывая объём выполняемых исследований, целесообразным является применение информационных систем для проведения вычислительных экспериментов и выработки рекомендаций, для которых требуется разработка баз данных для хранения как результатов исследований, так и различной дополнительной информации, например, технологических характеристик энергетических объектов или справочной информации для выработки рекомендаций. Однако, как уже было отмечено, проводимые исследования являются междисциплинарными и включают в себя различные предметные области, что в свою очередь требует рассмотрения множества различных факторов, терминов и их взаимосвязей.

Разработанная система онтологий обеспечивает информационную поддержку исследований, проектирования и разработки баз данных на основе онтологического описания. Онтологическое моделирование целесообразно применять на этапе концептуального проектирования базы данных – описания важнейших сущностей (таблиц) и связей между ними. На рис. 4 приведена онтология дизельной электростанции, отражающая состав технических характеристик и производственных показателей ее функционирования. На основе этой онтологии, с применением методики, описанной в работе [22] была построена следующая модель данных, приведённая на рис. 5.

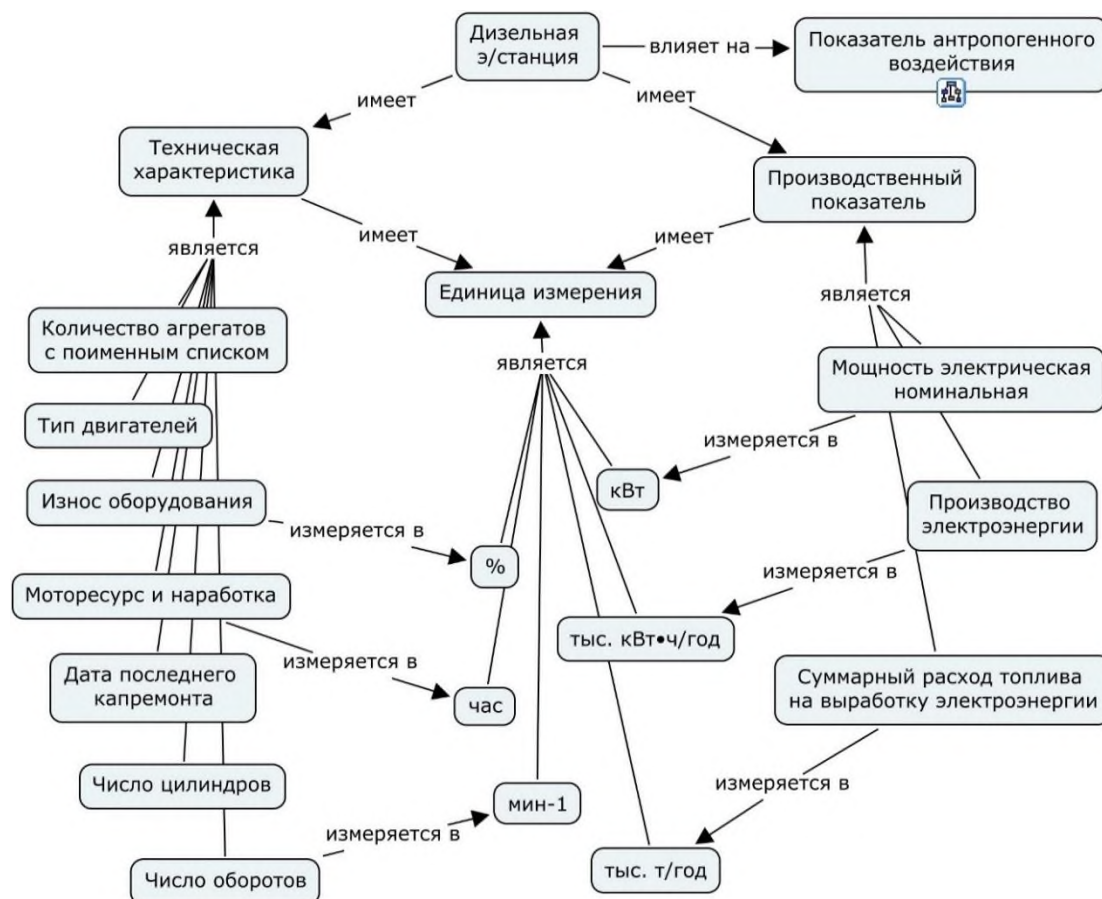


Рис. 4. Онтология дизельной электростанции.

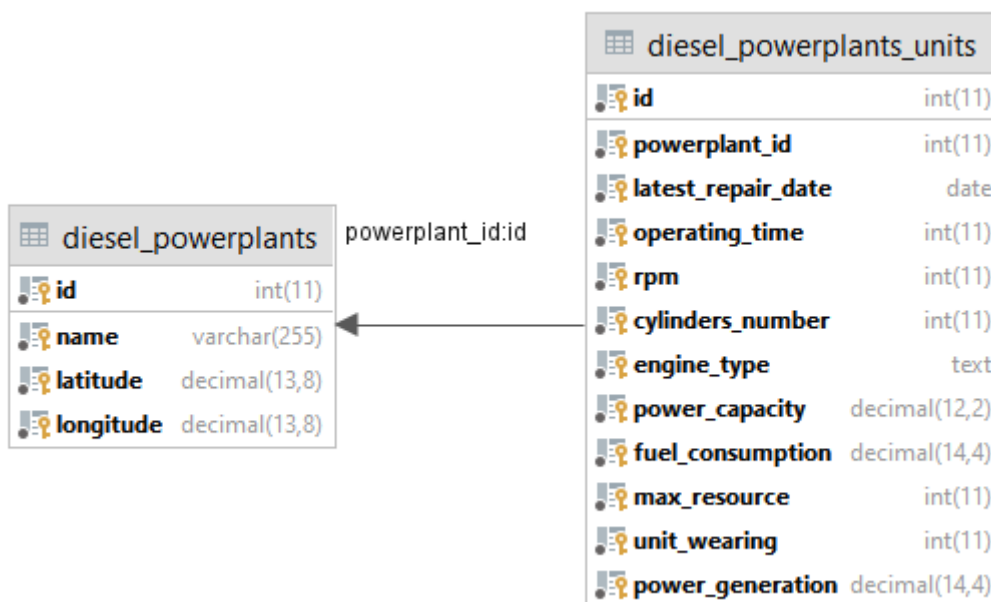


Рис. 5. Модель данных дизельной электростанции.

Спроектированная модель данных включает в себя две таблицы: таблицу, содержащую сведения о дизельной электростанции (*diesel_powerplants*) и таблицу, содержащую сведения об её агрегатах (*diesel_powerplants_units*). Таблица *diesel_powerplants* содержит небольшой набор сведений об электростанции: её наименование и местоположение (широту и долготу). Таблица *diesel_powerplants_units* содержит перечисление агрегатов дизельной электростанции с их техническими характеристиками, а также в неё включены

производственные показатели. Производственные показатели перенесены в таблицу агрегатов в связи с тем, что на электростанции может быть установлено несколько агрегатов, обладающих различными характеристиками. Также такое разделение может быть полезно при проведении экспериментов, связанных с выработкой решений по снижению вредного воздействия от энергетического объекта, например, путём замены существующих агрегатов на новые. Связь электростанции с её агрегатами осуществляется при помощи дополнительного поля *powerplant_id* в таблице *diesel_powerplants_units*.

Использование онтологического подхода обеспечивает значительное преимущество с точки зрения корректной подготовки информационных компонентов, т.к. позволяет наладить обмен и сопоставление данных, выявление коллизий и согласование противоречий.

Заключение.

В работе рассматривается применение семантического подхода, включающего онтологическое и когнитивное моделирование подхода для интеграции исследований энергетических систем с учетом их взаимовлияния на социо-экологические системы. Выполненные исследования направлены на разработку онтологических и когнитивных моделей для междисциплинарных исследований в области энергетики и экологии. Структура разрабатываемого комплекса онтологий позволяет переходить от рассмотрения понятий более общего уровня ко все более детальному, позволяющему формулировать постановки задач.

Предлагается рассматривать понятие качества жизни, как показатель, учитывающий положительные и отрицательные факторы взаимовлияния экологических и энергетических аспектов исследований.

Онтологические модели являются каркасом исследований с использованием технологий когнитивного моделирования для выявления взаимовлияния и обеспечения устойчивости энергетических и социо-экологических систем. Также онтологические модели являются основой для разработки моделей данных, которые позволяют хранить как результаты исследований, так и различную дополнительную информацию, такую как, технологические характеристики энергетических объектов или справочную информацию для выработки рекомендаций. Представленные когнитивные модели, отражают общие факторы взаимного влияния исследуемых систем, что в дальнейших исследованиях будет использовано для интеллектуальной поддержки принятия решений в энергетике.

Благодарности. Работа выполнена в рамках проекта по госзаданию ИСЭМ СО РАН АААА-А21-121012090007-7 (проект № FWEU-2021-0007) и при частичной финансовой поддержке гранта РФФИ № 20-07-00195 с использованием ресурсов ЦКП "Высокотемпературный контур" (Минобрнауки России, проект № 13.ЦКП.21.0038).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Davoudi, S. Resilience: A Bridging Concept or a Dead End / Planning Theory and Practice. 2012. № 13 (2). P. 299-307.
2. Wang Y., Chen C., Wang J., Baldick R. Research on resilience of power systems under natural disasters – A review // IEEE Trans. Power Syst. 2016. Vol. 31. № 2. Pp. 1604-1612.
3. Бобылев С.Н., Зубаревич Н.В., Соловьева С.В. и др. Устойчивое развитие: методология и методики измерения. М.: Экономика. 2011.
4. Стрекалова А.С., Фролов Д.П. Социально-экологическая система как объект экологического маркетинга. Вестн. Волгогр. гос. ун-та. Сер. 3. Экон. Экол. 2015. № 4 (33) DOI: <http://dx.doi.org/10.15688/jvolsu3.2015.4.19>.

5. Massel L.V., Massel A.G. Intelligent system of semiotic type for decision-making support in Russia energy sector based on situational management conception // Proceedings of IV International scientific conference «Information technologies in science, management, social sphere and medicine» (ITSMSSM 2017): Advances in Computer Science Research (ACSR). Tomsk. 2017. Vol. 72. P. 423-429.
6. Massel L.V., Zorina T.G., Massel A.G. Methodological Approaches to Modeling the Assessment of the Impact of Energy on Geo-Ecology and Quality of Life (on the Example of the Russian and Belarusian Regions) // Energy Systems Research. 2019. Vol. 2 № 3. P. 63-72.
7. Реймерс Н.Ф. Природопользование: Словарь-справочник. М.: Мысль. 1990. 637 с.
8. Энергетическая безопасность. Термины и определения / отв. редактор чл.-корр. РАН Воропай Н.И. М.: «ИАЦ Энергия» 2005. 60 с.
9. Массель Л.В., Иванова И.Ю., Ворожцова Т.Н., Майсюк Е.П., Ижбулдин А.К., Зорина Т.Г., Барсегян А.Р. Онтологические аспекты исследования взаимовлияния энергетики и геоэкологии // Онтология проектирования. 2018. Т.8. № 4(30). С. 550-561. DOI: 10.18287/2223-9537-2018-8-4-550-561.
10. Массель Л.В., Комендантова Н.П. Оценка рисков природных и техногенных угроз устойчивости энергетических, экологических и социальных систем на основе интеллектуальных информационных технологий // Информационные и математические технологии в науке и управлении. 2019. № 4(16). С. 31-45. DOI: 10.25729/2413-0133-2019-4-03.
11. Онтологический инжиниринг. Режим доступа: https://cs.hse.ru/ai/issa/Field_Ontology_Engineering (дата обращения: 02.09.2021).
12. Салтыков С.А., Русяева Е.Ю. Онтологический инжиниринг и философия теории управления / Материалы XIII Всероссийского совещания по проблемам управления ВСПУ-2019. Москва 17-20 июня 2019. С. 1584-1588. Режим доступа: <https://vspu2019.ipu.ru/proceedings/1584.pdf> (дата обращения: 02.03.2021).
13. Ворожцова Т.Н., Майсюк Е.П., Иванова И.Ю. Система онтологий для исследования антропогенного влияния объектов энергетики на окружающую среду. // Информационные и математические технологии в науке и управлении. 2020. № 1 (17). С. 89-104. DOI: 10/38028/ESI.2020.17.1.007.
14. Большая Российская энциклопедия Режим доступа: <https://bigenc.ru/economics/text/2054276> (дата обращения: 02.12.2021).
15. Tolman E.C. Cognitive maps in rats and men. Psychological Review. 1948. 55(4). 189-208. DOI: 10.1037/h0061626.
16. Roberts F. S. Discrete Mathematical Models with Applications to Social, Biological, and Environmental Problems. Englewood Cliffs, N.J.: Prentice-Hall. 1976. 559 p.
17. Axelrod R. Structure of Decision: The Cognitive Maps of Political Elites. Princeton: Princeton University Press. 1976. 422 p.
18. Массель А.Г. Когнитивное моделирование угроз энергетической безопасности // Горный информационно-аналитический бюллетень. Отд. вып. № 17. М.: Изд-во: «Горная книга». 2009. С. 194–199.
19. Финогенко И.А., Дьякович М.П., Блохин А.А. Методология оценивания качества жизни, связанного со здоровьем // Вестник Тамбовского университета. Серия: Естественные и технические науки. 2016. Т. 21. № 1. С. 121-130.

20. Массель Л.В., Блохин А.А. Когнитивное моделирование индикаторов качества жизни: предлагаемый подход и пример использования // Вестник НГУ. Серия: Информационные технологии. Т.14. №2. 2016. С. 72-79.
 21. Массель Л.В., Блохин А.А. Метод когнитивного моделирования индикаторов качества жизни с учетом внешних факторов // Наука и образование. Научное издание МГТУ им. Баумана. № 4. 2016. С. 65-75. DOI: 10.7463/0416.0839061.
 22. Ворожцова Т.Н., Макагонова Н.Н., Массель Л.В. Онтологический подход к проектированию базы данных для оценки влияния энергетики на окружающую среду // Информационные и математические технологии в науке и управлении. 2019. № 3 (15). С. 31-41. DOI: 10.25729/2413-0133-2019-3-03.
-

UDC 004.822: (620.9+504.03)

SEMANTIC MODELING IN RESILIENCE RESEARCH OF ENERGY AND SOCIO-ECOLOGICAL SYSTEMS

Tatyana N. Vorozhtsova

Ph.D, lead engineer-researcher of Department of Artificial Intelligence Systems in Energy
e-mail: tnn@isem.irk.ru

Dmitriy V. Pesterev

engineer-researcher of Department of Artificial Intelligence Systems in Energy
e-mail: pesterev.dmitriy@gmail.com

Vladimir R. Kuzmin

Junior researcher of Department of Artificial Intelligence Systems in Energy
e-mail: rulisp@vigo.su

Melentiev Energy Systems Institute of SB RAS,
664033 Irkutsk, Lermontov st., 130.

Abstract. The article discusses the possibilities of applying semantic modeling, including, in particular, ontological and cognitive modeling to support joint research of energy and socio-ecological systems. The work is devoted to the use of ontological engineering for structuring knowledge of subject areas and cognitive modeling in studies of the impact of the functioning of energy facilities on the natural environment and humans. Ontological modeling is used to identify, describe and coordinate the basic concepts of subject areas of research and allows you to systematize and visualize the relationship between elements of the natural environment, energy facilities and their characteristics, impact factors and methods of their calculation. Cognitive modeling is used to identify the structure of causal relationships between factors affecting the stability of the system.

Keywords: ontological engineering, cognitive modeling, sustainability, energy systems, socio-ecological systems, quality of life, databases.

Acknowledgements. The results were obtained as part of the project under the state assignment to the Melentiev ESI, SB RAS, № AAAA-A21-121012090007-7, and were supported in part by an RFBR grant №. 20-07-00195, using the resources of the High-Temperature Circuit Multi-Access Research Center (Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation, project no 13.CKP.21.0038).

REFERENCES

1. Davoudi, S. Resilience: A Bridging Concept or a Dead End / Planning Theory and Practice. 2012. № 13 (2). Pp. 299-307.

2. Wang Y., Chen C., Wang J., Baldick R. Research on resilience of power systems under natural disasters – A review // IEEE Trans. Power Syst. 2016. Vol. 31. № 2. Pp. 1604-1612.
3. Bobylev S.N., Zubarevich N.V., Solov'eva S.V. Ustojchivoe razvitie: metodologiya i metodiki izmereniya [Sustainable development: methodology and measurement techniques]. M.: Ekonomika = Economy. 2011. (in Russian).
4. Strekalova A.S, Frolov D.P. Social'no-ekologicheskaya sistema kak ob"ekt ekologicheskogo marketinga [Socio-ecological system as an object of environmental marketing]. Vestn. Volgogr. gos. un-ta. Ser. 3. Ekon. Ekol. = Bulletin of the Volgograd State University. Series. 3. Economy. Ecology 2015. № 4 (33) DOI: 10.15688/jvolsu3.2015.4.19 (in Russian).
5. Massel L.V., Massel A.G. Intelligent system of semiotic type for decision-making support in Russia energy sector based on situational management conception // Proceedings of IV International scientific conference «Information technologies in science, management, social sphere and medicine» (ITSMSSM 2017): Advances in Computer Science Research (ACSR). Tomsk. 2017. Vol. 72. P. 423-429.
6. Massel L.V., Zorina T.G., Massel A.G. Methodological Approaches to Modeling the Assessment of the Impact of Energy on Geo-Ecology and Quality of Life (on the Example of the Russian and Belarusian Regions) // Energy Systems Research. 2019. Vol. 2. № 3. P. 63-72.
7. Rejmers N.F. Prirodopol'zovanie: Slovar'-spravochnik [Nature management: Dictionary-reference]. M.: Mysl' = Thought. 1990. 637 p. (in Russian).
8. Energeticheskaya bezopasnost. Terminy i opredeleniya [Energy security. Terms and definitions] / otv. redaktor chl.-korr. RAN Voropaj = editor-in-chief N.I. M.: "IAC Energiya" = IAC Energy 2005. 60 p. (in Russian).
9. Massel' L.V., Ivanova I.Yu., Vorozhcova T.N., Majsyuk E.P., Izhibuldin A.K., Zorina T.G., Barsegyan A.R. Ontologicheskie aspekty issledovaniya vzaimovliyaniya energetiki i geoekologii [Ontological aspects of the study of the mutual influence of energy and geoecology] // Ontologiya proektirovaniya = Design Ontology. 2018. T.8. № 4(30). Pp. 550-561. DOI: 10.18287/2223-9537-2018-8-4-550-561. (in Russian).
10. Massel' L.V., Komendantova N.P. Ocenka riskov prirodnyh i tekhnogennyh ugroz ustojchivosti energeticheskikh, ekologicheskikh i social'nyh sistem na osnove intellektual'nyh informacionnyh tekhnologij [Risk assessment of natural and man-made threats to the sustainability of energy, environmental and social systems based on intelligent information technologies] // Informacionnye i matematicheskie tekhnologii v nauke i upravlenii. = Information and mathematical technologies in science and management. 2019. № 4(16). Pp. 31-45. DOI: 10.25729/2413-0133-2019-4-03. (in Russian).
11. Ontologicheskij inzhiniring [Ontological engineering]. Available at: https://cs.hse.ru/ai/issa/Field_Ontology_Engineering (accessed 02.09.2021).
12. Saltykov S.A., Rusyaeva E.Yu. Ontologicheskij inzhiniring i filosofiya teorii upravleniya [Ontological engineering and philosophy of Management theory] / Materialy XIII Vserossijskogo soveshchaniya po problemam upravleniya VSPU-2019 = Materials of the XIII All-Russian Meeting on Management Problems of VSPU-2019. Moscow. Pp. 1584-1588. Available at: <https://vspu2019.ipu.ru/proceedings/1584.pdf> (accessed 02.03.2021) (in Russian).
13. Vorozhcova T.N., Majsyuk E.P., Ivanova I.Yu. Sistema ontologij dlya issledovaniya antropogennogo vliyaniya ob"ektov energetiki na okruzhayushchuyu sredu [A system of ontologies for the study of the anthropogenic impact of energy facilities on the environment]. // Informacionnye i matematicheskie tekhnologii v nauke i upravlenii =

- Information and mathematical technologies in science and Management 2020. № 1 (17). Pp. 89-104. DOI: 10/38028/ESI.2020.17.1.007 (in Russian).
14. Bol'shaya Rossijskaya enciklopediya [The Great Russian Encyclopedia]. Available at: <https://bigenc.ru/economics/text/2054276> (in Russian).
 15. Tolman E.C. Cognitive maps in rats and men. Psychological Review. 1948. 55(4). 189-208. DOI: 10.1037/h0061626.
 16. Roberts F.S. Discrete Mathematical Models with Applications to Social, Biological, and Environmental Problems. Englewood Cliffs, N.J.: Prentice-Hall. 1976. 559 p.
 17. Axelrod R. Structure of Decision: The Cognitive Maps of Political Elites. Princeton: Princeton University Press. 1976. 422 p.
 18. Massel' A.G. Kognitivnoe modelirovanie ugroz energeticheskoy bezopasnosti [Cognitive modeling of energy security threats] // Gornyj informacionno-analiticheskij byulleten' = Mining information and analytical bulletin. «Gornaya kniga» = Publishing house "Mountain Book". Ed. Issue 17. 2009. Pp. 194-199. (in Russian).
 19. Finogenko I.A., D'yakovich M.P., Blohin A.A. Metodologiya ocenivaniya kachestva zhizni, svyazannogo so zdorov'em [Methodology for assessing the quality of life related to health] // Vestnik Tambovskogo universiteta. Seriya: Estestvennye i tekhnicheskie nauki = Bulletin of the Tambov University. Series: Natural and Technical Sciences. 2016. T. 21. No. 1. Pp. 121-130. (in Russian).
 20. Massel' L.V., Blohin A.A. Kognitivnoe modelirovanie indikatorov kachestva zhizni: predlagaemyj podhod i primer ispol'zovaniya [Cognitive modeling of quality of life indicators: proposed approach and use case] // Vestnik NGU. Seriya: Informacionnye tekhnologii = Bulletin of the NSU. Series: Information Technology. T.14. No. 2. 2016. Pp. 72-79. (in Russian).
 21. Massel' L.V., Blohin A.A. Metod kognitivnogo modelirovaniya indikatorov kachestva zhizni s uchetom vneshnih faktorov [The method of cognitive modeling of indicators of quality of life taking into account external factors] // Nauka i obrazovanie. Nauchnoe izdanie MGTU im. Baumana. = Science and Education. Scientific publication of the Bauman Moscow State Technical University. No. 4. 2016. Pp. 65-75. DOI: 10.7463/0416.0839061. (in Russian).
 22. Vorozhcova T.N., Makagonova N.N., Massel' L.V. Ontologicheskij podhod k proektirovaniyu bazy dannyh dlya ocenki vliyaniya energetiki na okruzhayushchuyu sredu [An ontological approach to database design for assessing the impact of energy on the environment] // Information and mathematical technologies in science and management. 2019. № 3 (15). P. 31-41. DOI: 10.25729/2413-0133-2019-3-03 (in Russian).

Статья поступила в редакцию 15.12.2021; одобрена после рецензирования 16.12.2021; принята к публикации 20.12.2021.

The article was submitted 15.12.2021; approved after reviewing 16.12.2021; accepted for publication 20.12.2021.

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЧ-ПЛАЗМЫ ПОНИЖЕННОГО ДАВЛЕНИЯ ДЛЯ ЦИЛИНДРИЧЕСКОЙ ВАКУУМНОЙ КАМЕРЫ С ЗАРЯЖЕННЫМ ОБРАЗЦОМ

Шемахин Александр Юрьевич

к. ф.-м. н, доцент кафедры радиофизики Института физики,
Казанский (Приволжский) федеральный университет,
e-mail: shemakhin@gmail.com

Желтухин Виктор Семенович

д. ф.-м. н, в.н.с. НИЛ ПРАЛ Института физики,
Казанский (Приволжский) федеральный университет,
профессор кафедры ПНТВМ,
Казанский национальный исследовательский технологический университет,
420015 г. Казань, ул. Карла Маркса, 68
e-mail: vzheltukhin@gmail.com

Шемахин Евгений Юрьевич

к. т. н, с.н.с., НИЛ ПРАЛ Института физики,
Казанский (Приволжский) федеральный университет,
e-mail: shupachet@gmail.com
420008 г. Казань, ул. Кремлевская 18.

Аннотация. Для моделирования процессов в ВЧ-плазме пониженного давления с продувом газа разработана гибридная математическая модель при числах Кнудсена $8 \cdot 10^{-3} - 7 \cdot 10^{-2}$ для несущего газа. Модель включает начально-краевую задачу для кинетического уравнения Больцмана, описывающего функцию распределения несущего нейтрального газа, краевые задачи для уравнения неразрывности электронной, ионной и метастабильной компонент, уравнения сохранения энергии электронов, для ВЧ-уравнений Максвелла в форме телеграфных уравнений и уравнения Пуассона для потенциальной составляющей поля. Приводятся результаты расчета электрической напряженности, концентрации электронов, ионов и метастабилей, потенциальной составляющей электромагнитного поля в цилиндрической вакуумной камере.

Ключевые слова: ВЧ-плазма, пониженное давление, численное моделирование, уравнение баланса электронов, уравнения Максвелла, концентрация электронов, напряженность электрического поля, математическое моделирование, пониженное давление.

Цитирование Шемахин А.Ю., Желтухин В.С., Шемахин Е.Ю. Математическое моделирование ВЧ-плазмы пониженного давления для цилиндрической вакуумной камеры с заряженным образцом // Информационные и математические технологии в науке и управлении. 2021. № 4 (24). С. 44-49. DOI:10.38028/ESI.2021.24.4.004.

Введение. Высокочастотная (ВЧ) плазма пониженного давления (13.3 – 133 Па) применяется для модификации различных материалов: диэлектриков, проводящих, полупроводниковых [1, 2]. Образованная данным видом разряда плазма, характеризуется следующими параметрами: концентрация электронов $n_e = 10^{15} - 10^{18} \text{ м}^{-3}$, степень ионизации $10^{-6} - 10^{-3}$, электронная температура $T_e = 1 - 4 \text{ эВ}$, температура атомов и ионов в плазменном сгустке $T_a = (3 - 4) \cdot 10^3 \text{ К}$, в струе $T_a = (3.2 - 10) \cdot 10^2 \text{ К}$.

ВЧ-плазма пониженного давления имеет ряд особенностей [1]. Экспериментальные результаты [1] показали, что плазменная струя является одновременно индуктивным и емкостным ВЧ-разрядом, потому что плотность электронов в плазменной струе на несколько

порядков выше, чем в околоструйном пространстве, при этом обнаружены как аксиальная, так и азимутальная компоненты напряженностей магнитного поля и тока в плазме.

Постановка задачи. Для исследования параметров ВЧ-плазмы пониженного давления разработана математическая модель на основе кинетической модели для несущего газа, уравнений неразрывности и сохранения энергии для электронов, уравнения неразрывности для ионов, преобразованных уравнений Максвелла в форме телеграфных уравнений для вихревой компоненты и уравнения Пуассона для постоянной компоненты электромагнитного поля.

Модель включает в себя следующие уравнения:

$$\frac{\partial f}{\partial t} + \mathbf{c} \cdot \frac{\partial f}{\partial \mathbf{r}} + \frac{\tilde{\mathbf{F}}}{m_a} \cdot \frac{\partial f}{\partial \mathbf{c}} = S(f), \quad (1)$$

$$-\text{div} \left(\lambda_e \text{grad} T_e - \frac{5}{2} k_B T_e n_e \mathbf{v}_e \right) + \frac{3}{2} k_B \delta \nu_c n_e (T_e - T_a) = \sigma E^2 - \nu_i E_i n_e - E_{im} R_3 n_m n_e, \quad (2)$$

$$\left(\Delta - \mu_0 \varepsilon_0 \varepsilon \frac{\partial^2}{\partial t^2} \right) \mathbf{E}(\mathbf{r}, t) = \mu_0 \frac{\partial}{\partial t} \mathbf{j}(\mathbf{r}, t), \quad (3)$$

$$\Delta \phi = \frac{e}{\varepsilon_0} (n_i - n_e), E_{cap} = -\nabla \phi, \quad (4)$$

$$-\nabla \cdot (D_e \nabla n_e - \mathbf{v}_a n_e + \mu_e \mathbf{E}_{cap} n_e) = R_1 n_e n_a + R_2 n_m^2 + R_3 n_m n_e - R_4 n_e n_i - R_5 n_e^2 n_i, \quad (5)$$

$$-\nabla \cdot (D_i \nabla n_i + \mathbf{v}_a n_i - \mu_i \mathbf{E}_{cap} n_i) = R_1 n_e n_a + R_2 n_m^2 + R_3 n_m n_e - R_4 n_e n_i - R_5 n_e^2 n_i, \quad (6)$$

$$-\nabla \cdot (D_m \nabla n_m - \mathbf{v}_a n_m) = R_6 n_e n_a - R_2 n_m^2 - R_3 n_m n_e - R_7 n_m - R_8 n_m n_a - R_9 n_m. \quad (7)$$

Здесь $\mathbf{c}$ и $\mathbf{r}$ – вектора скорости и координат атомов газа, соответственно, $f(\mathbf{c}, \mathbf{r}, t)$ – функция распределения нейтральной компоненты плазмы по скоростям, $S(f)$ – интеграл столкновений, $\tilde{\mathbf{F}}$ – приведенная сила, воздействующая на нейтральные атомы за счет упругих столкновений с электронами, n_e – концентрация электронов, n_i – концентрация ионов, n_m – концентрация метастабилей, T_e – электронная температура, D_e – коэффициент диффузии электронов, D_i – коэффициент диффузии ионов, D_m – коэффициент диффузии метастабилей, μ_e – подвижность электронов, $\mathbf{v}_a$ – скорость нейтрального газа, ν_c – частота упругих столкновений электронов с атомами, σ – проводимость плазмы, $\mathbf{E}$ – напряженность ВЧ составляющей электрического поля, E_i – потенциал ионизации, μ_0 – магнитная постоянная, ε_0 – электрическая постоянная, ϕ – потенциал электрического поля, k_B – постоянная Больцмана, $\delta = m_e/2m_a$, m_e , m_a – массы электронов и атомов, ν_i – частота ионизации.

К системе уравнений (1)-(3) устанавливаются следующие граничные условия:

$$f(\mathbf{c}, \mathbf{r}, 0) = f_0(\mathbf{c}, \mathbf{r}), f(\mathbf{c}, \mathbf{r}_{sides}, t) = f_0(\mathbf{c}, \mathbf{r}_{sides}), \quad (8)$$

$$n_e|_{inlet} = n_{e0}, n_e|_{outlet} = n_e|_{sides} = 0, \frac{\partial n_e|_{body}}{\partial \bar{n}} = 0, \quad (9)$$

$$n_i|_{inlet} = n_{i0} = n_{e0}, \frac{\partial n_i|_{sides, outlet, body}}{\partial \bar{n}} = 0, \quad (10)$$

$$n_m|_{inlet} = n_{m0}, \frac{\partial n_m|_{sides, outlet, body}}{\partial \bar{n}} = 0, \quad (11)$$

$$T_e|_{inlet, outlet, sides} = T_{e, room}, \frac{\partial T_e|_{inlet}}{\partial \bar{n}} = 0, \quad (12)$$

$$\phi|_{body} = \phi_0, \phi|_{outlet, sides} = 0, \frac{\partial \phi|_{inlet}}{\partial \bar{n}} = 0, \quad (13)$$

$$\mathbf{E}|_{inlet, outlet, sides} = -i\omega \left(\frac{\mu_0}{4\pi} \right) \int \frac{\mathbf{j}(\mathbf{s})_{el}}{|\mathbf{r}-\mathbf{s}|} d^3 \mathbf{s}. \quad (14)$$

Здесь индексом *inlet* обозначено входное отверстие вакуумной камеры, *outlet* – выходное отверстие вакуумной камеры.

Для решения системы задач (1)-(7) разработан гибридный численный метод, который включает в себя модифицированный метод Г. Бёрда для несущего газа и метод конечных объемов для расчета распределений электронной температуры и концентрации, преобразованных уравнений Максвелла. Для реализации метода разработана программа на языке C++, использующая библиотеки пакета OpenFOAM [3]. Коэффициенты D_e , ν_c , ν_i , λ_e предполагаются зависящими от электронной температуры T_e , которые берутся из пакета BOLSIG+ [4, 5, 6, 7].

Расчеты проведены для потока ВЧ-плазмы аргона, генерируемого в камере радиусом входного отверстия $R = 12$ мм, радиусом $R = 48$ мм и длиной $L = 128$ мм. На входном сечении вакуумной камеры задавались давление 60 Па, температура 450 К, и скорость 10 м/с. Получены результаты расчетов концентрации заряженных частиц и потенциала электрического поля.

Концентрации электронов и ионов в вакуумной камере при давлении 40 Па убывают от максимальных значений на входе в вакуумную камеру на порядок при приближении к образцу, что видно по рис. 1. Концентрация метастабильных частиц убывает с $5.5 \cdot 10^{15}$ до $1.9 \cdot 10^{15}$.

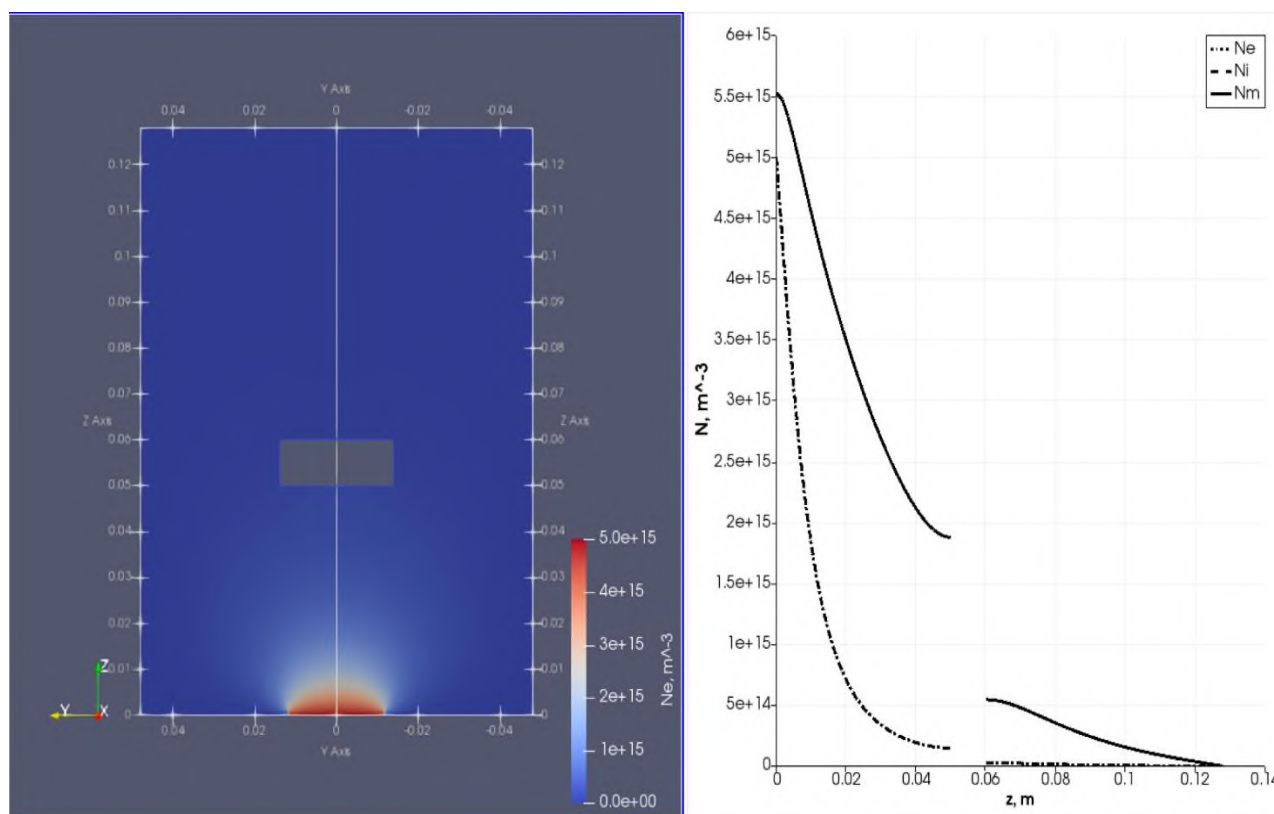


Рис. 1. Концентрации электронов, ионов и метастабильных частиц вдоль вакуумной камеры по оси. Разрыв кривой на правом графике соответствует положению образца в струе.

При мощности 1 кВт образец приобретает потенциал -30 В относительно струи, что видно по рис. 2.

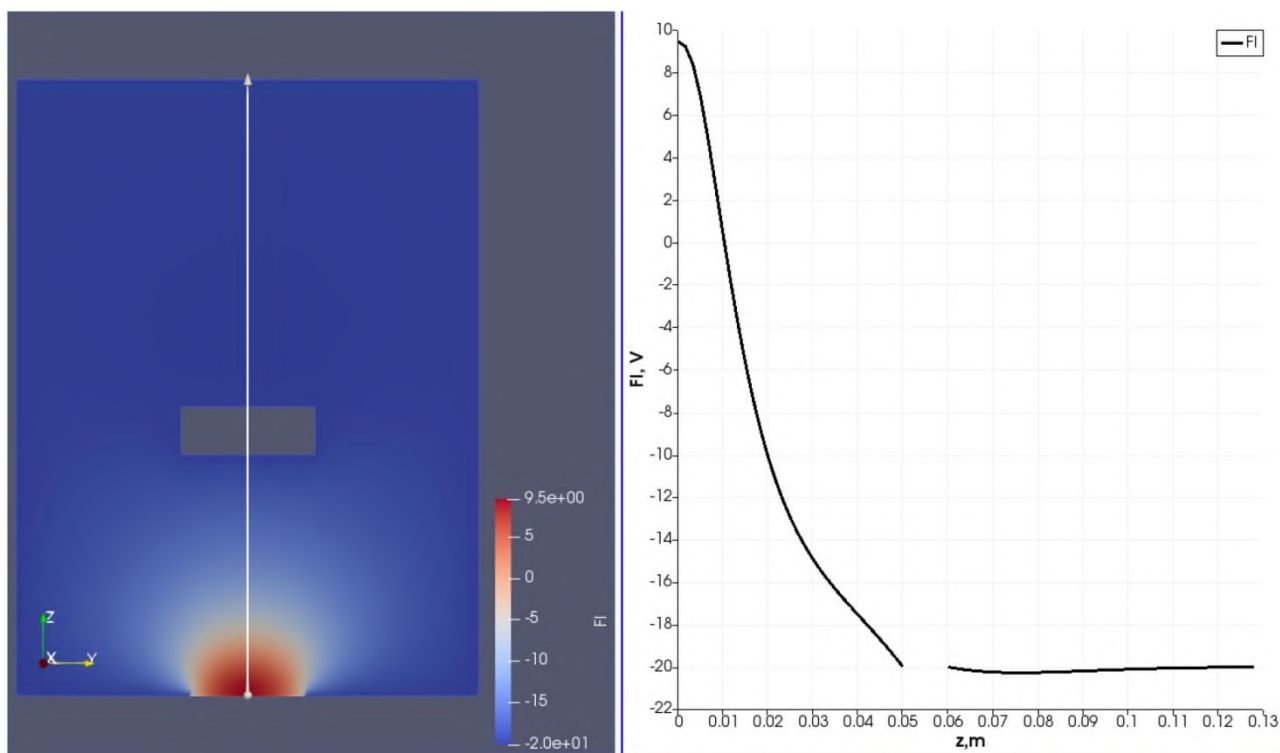


Рис. 2. Распределение потенциальной компоненты электромагнитного поля в ВЧ плазме вдоль оси по центру образца для мощности 1,0 кВт. Вертикальная белая линия показывает сечение, вдоль которого взято распределение. Разрыв кривой на правом графике соответствует положению образца в струе.

Заключение. Проведены расчеты, позволяющие определить концентрации электронов, ионов и метастабильных частиц, распределение потенциальной компоненты электрического поля при мощности разряда 0.5 – 1.5 кВт. С помощью расчета определен потенциал образца в вакуумной камере. В результате расчетов выявлено, что образец заряжается отрицательно относительно струи, а модуль потенциала зависит от мощности разряда и возрастает с увеличением мощности. Кроме того, концентрация метастабильных атомов в струе превышает концентрации электронов и ионов в 2-4 раза, то есть оказывает существенное влияние на баланс частиц и энергий в вакуумной камере.

Благодарности. Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект № 19-71-10055).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Абдуллин И.Ш., Желтухин В.С., Кашапов Н.Ф. Высоочастотная плазменно-струйная обработка материалов при пониженных давлениях: Теория и практика применения. Казань: Изд-во Казан. ун-та. 2000. 348 с.
2. Shemakhin A.Yu, Zheltukhin V. S. Mathematical modelling of RF plasma flow at Low Pressures with 3D Electromagnetic Field // Advances in Materials Science and Engineering. 2019. No. 7120217. DOI: 10.1155/2019/7120217.
3. Пакет OpenFOAM. Режим доступа: <https://openfoam.org/> (дата обращения: 01.10.2021).
4. BOLSIG+. Electron Boltzmann equation solver. Режим доступа: <http://www.bolsig.laplace.univ-tlse.fr/> (дата обращения: 01.10.2021).

5. Boeuf J.P., Pitchford L.C. Two-dimensional model of a capacitively coupled RF discharge and comparisons with experiments in the Gaseous Electronics Conference reference reactor // Phys. Rev. E. 1995. Vol. 51. № 2. Pp. 1376-1390. DOI: 10.1103/PhysRevE.51.1376.
6. Hagelaar G.J.M., Pitchford L.C. Solving the Boltzmann equation to obtain electron transport coefficients and rate coefficients for fluid models // Plasma Sources Sci. Technol. 2005. Vol. 14. p. 722-733. DOI: 10.1088/0963-0252/14/4/011.
7. UBC database, Database of scattering cross sections. Режим доступа: www.lxcat.net (дата обращения: 01.12.2019).

UDC 537.52:519.624

MATHEMATICAL MODELLING OF RF PLASMA AT LOW PRESSURES FOR CYLINDRIC VACUUM CHAMBER WITH CHARGED SPECIMAN

A. Yu. Shemakhin

Cand. Sci., Assoc. Prof. of Department of Radiophysics of Institute of Physics,
e-mail: shemakhin@gmail.com

V. S. Zheltukhin

D.Sc., Senior Fellow of Institute of Physics,
Kazan Federal University,
420008 Kazan, Kremlyovskaya st., 18,
Professor of Department of Technical Physics,
Kazan State Technical University,
420015 Kazan, Karl Marx st., 68
e-mail: vzheltukhin@gmail.com

E. Yu. Shemakhin

Cand. Sci., Senior Researcher of Institute of Physics,
e-mail: shupachet@gmail.com
Kazan Federal University
420008, Kazan, Kremlyovskaya st., 18

Abstract. A hybrid mathematical model for the Knudsen numbers $8 \cdot 10^{-3} - 7 \cdot 10^{-2}$ for the carrier gas has been developed to simulate processes in a low pressure RF plasma with gas flow. The model includes an initial boundary value problem for the kinetic Boltzmann equation describing the distribution function of the carrier neutral gas, boundary value problems for the continuity equation of the electronic, ionic and metastable components, the electron energy conservation equations, for Maxwell's RF equations in the form of telegraphic equations and the Poisson equation for the potential part of field. The results of the calculation of the electric intensity, the concentration of electrons, ions and metastables, the potential component of the electromagnetic field in a cylindrical vacuum chamber are presented.

Keywords: ICRF plasma, jet stream, low pressure, metastables, hybrid model.

Acknowledgments. The research was carried out with the financial support of the Russian Science Foundation (project No. 19-71-10055).

REFERENCES

1. Abdullin I.Sh., Zheltukhin V.S., Kashapov N.F. Vysokochastotnaya plazmenno-struynaya obrabotka materialov pri ponizhennykh davleniyakh: Teoriya i praktika primeneniya [High-frequency plasma jet treatment of materials at reduced pressures: Theory and practice of

- application]. Kazan': Izd-vo Kazan. tekhnol. un-ta= Kazan Publishing House. un-that. 2000. 348 p. (in Russian).
2. Shemakhin A.Yu, Zheltukhin V.S. Mathematical modelling of RF plasma flow at Low Pressures with 3D Electromagnetic Field // *Advances in Materials Science and Engineering*. 2019. No. 7120217. DOI: 10.1155/2019/7120217.
 3. OpenFOAM [Package OpenFOAM]. Available at: <https://openfoam.org/> (accessed 01.10.2021) (in Russian).
 4. BOLSIG+. Electron Boltzmann equation solver. Available at: <http://www.bolsig.laplace.univ-tlse.fr/> Latest version: 12/2019 (beta) (accessed 01.10.2021).
 5. Boeuf J.P., Pitchford L.C. Two-dimensional model of a capacitively coupled RF discharge and comparisons with experiments in the Gaseous Electronics Conference reference reactor // *Phys. Rev. E*, 1995. Vol. 51. №. 2. Pp. 1376–1390. DOI: 10.1103/PhysRevE.51.1376.
 6. Hagelaar G.J.M., Pitchford L.C. Solving the Boltzmann equation to obtain electron transport coefficients and rate coefficients for fluid models // *Plasma Sources Sci. Technol.* 2005. Vol. 14. Pp. 722-733. DOI: 10.1088/0963-0252/14/4/011.
 7. UBC database, Database of scattering cross sections. Available at: www.lxcat.net (accessed 01.12.2019).

Статья поступила в редакцию 03.12.2021; одобрена после рецензирования 15.12.2021; принята к публикации 20.12.2021.

The article was submitted 03.12.2021; approved after reviewing 15.12.2021; accepted for publication 20.12.2021.

АВТОМАТИЗАЦИЯ ПОСТРОЕНИЯ СХЕМЫ РЕШЕНИЯ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНО СЛОЖНЫХ ЗАДАЧ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ ФИЗИКИ НА СУПЕРКОМПЬЮТЕРАХ

Глинский Борис Михайлович

д.т.н., г.н.с., e-mail: gbm@sscc.ru

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.

Снытников Алексей Владимирович

д.т.н., ведущий инженер-программист, e-mail: snytav@gmail.com

Институт автоматики и электрометрии СО РАН,

630090 г. Новосибирск, проспект Академика Коптюга, 1

Загорулько Галина Борисовна

к.т.н., н.с., e-mail: gal@iis.nsk.su

Загорулько Юрий Алексеевич

к.т.н., зав. лабораторией искусственного интеллекта, e-mail: zagor@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 статье представлен подход к разработке информационно-аналитической системы, помогающей исследователю решать вычислительно сложные задачи математической физики на суперкомпьютерах. Система автоматически строит схему решения задачи по спецификации пользователя, введенной им в режиме диалога. Схема включает наиболее подходящие математические модели для решения задачи, численные методы, алгоритмы и параллельные архитектуры, ссылки на доступные фрагменты параллельного кода, которые пользователь может использовать при разработке собственного кода. Построение схемы осуществляется на основе онтологии проблемной области «Решение вычислительно сложных задач математической физики», онтологии заданной предметной области и экспертных правил, построенных с использованием технологии Semantic Web.

Ключевые слова: решение вычислительно сложных задач на суперкомпьютерах, информационно-аналитическая система, схема решения задачи, экспертная система, база знаний, онтология, экспертные правила.

Цитирование: Глинский Б.М., Сапетина А.Ф., Снытников А.В., Загорулько Г.Б., Загорулько Ю.А., Шестаков В.К. Автоматизация построения схемы решения вычислительно сложных задач математической физики на суперкомпьютерах // Информационные и математические технологии в науке и управлении. 2021. № 4 (24). С. 50-59. DOI: 10.38028/ESI.2021.24.4.005.

Введение. Решение вычислительно сложных задач на суперкомпьютерах – актуальная задача, предъявляющая исследователям высокие квалификационные требования как в области их основных научных и практических интересов, так и в области параллельных вычислений, суперкомпьютерных технологий и архитектур. Для решения этой задачи разрабатываются различные средства, предназначенные для поддержки взаимодействия пользователей с суперкомпьютерами – информационно-справочные системы, системы генерации параллельного кода, системы поддержки распараллеливания программного кода, системы решения ограниченного (определенного) класса задач на суперкомпьютерах.

В статье описываются программные и методические средства, предназначенные для оказания помощи исследователям при разработке параллельного кода. Данные средства разрабатываются в рамках информационно-аналитической системы (ИАС) [1], предназначенной для поддержки решения вычислительно сложных задач математической физики на суперкомпьютерах. Основным результатом работы этой системы является схема решения задачи математической физики на суперкомпьютере, построенная по предоставленной пользователем спецификации задачи. Схема включает наиболее подходящие для решения задачи математические модели, численные методы, алгоритмы, параллельные технологии и архитектуры, ссылки на доступные фрагменты параллельного кода, которые пользователь может использовать при разработке собственного кода. Построение схемы осуществляется на основе онтологии проблемной области «Решение вычислительно сложных задач математической физики», онтологии заданной предметной области и экспертных правил. Для разработки онтологий и экспертных правил использовались технологии Semantic Web.

1. Близкие работы. Рассмотрим работы, имеющие сходство по общей постановке задачи (упрощение или автоматизация разработки параллельных программ), по основному используемому методу (использование набора экспертных компетенций для поддержки пользователя при разработке параллельной программы), либо по реализации действий, выполняемых на одном из уровней онтологического подхода (архитектурном, программном, уровне математической модели).

Система фрагментированного программирования LuNA [2] основана на концепции активных знаний, т.е. автоматического или полуавтоматического конвертирования набора экспертных знаний о предметной области в корректно работающую программу для суперЭВМ. Именно концепция активных знаний позволяет считать систему LuNA на концептуальном уровне аналогом подхода на основе онтологий, представленного в данной статье.

Проект LuNA направлен на исключение параллельного программирования из процесса разработки крупномасштабных численных моделей, и с этой точки зрения проект LuNA решает лишь часть задач, которые ставятся и решаются в рамках предлагаемого онтологического подхода, а именно: система LuNA работает на уровне программной реализации, и отчасти – на уровне привязки к архитектуре суперЭВМ [3], но не затрагивает уровень построения математической модели, что является особенностью и основным преимуществом предлагаемого подхода.

Аналогом онтологического подхода не с концептуальной точки зрения, а по наличию согласованного подхода к реализации основных этапов крупномасштабного вычислительно-эксперимента, является методология базовой системы моделирования (БСМ [4, 5, 6]). Вычислительный эксперимент с использованием методологии БСМ состоит из следующих этапов: геометрическое и функциональное моделирование, построение сеток, аппроксимация исходных уравнений, решение алгебраических задач. Некоторые из перечисленных этапов реализуются с помощью внешнего программного обеспечения (генерация сеток, решение систем алгебраических уравнений), но все это выполняется на основе единого подхода, обеспечивающего качество итогового решения.

Задачу повышения надежности параллельных программ также решает система DVM [7,8], которая позволяет естественным образом реализовывать различные виды параллелизма и позволяет создавать легко переносимые программы в силу того, что системно-зависимые особенности программы генерируются автоматически. В основе пользовательского интерфейса системы находится язык разметки, подобный OpenMP, но в значительно большей степени адаптированный к решению научных задач. Система поддерживает все основные коммуникационные библиотеки, позволяет работать как на однородных, так и на гетерогенных вычислительных системах, в том числе с графическими ускорителями. Также реализована

возможность динамической балансировки нагрузки. Сравнивая подход, реализованный в системе DVM с онтологическим подходом, следует отметить, что DVM выходит за пределы исключительно программной реализации, затрагивая также уровень математических моделей, но никак не включает вопросы построения математических моделей. Более того, в силу определенным образом реализованного интерфейса, DVM позволяет реализовывать только сеточные модели с детерминированным и постоянным объемом вычислений.

Приведенный краткий список инструментов, нацеленных на упрощение разработки приложений для решения больших вычислительных задач и повышение надежности параллельных программ, является дополнительным подтверждением актуальности разрабатываемого онтологического подхода к созданию программ для математического моделирования на суперЭВМ.

2. Концептуальная схема интеллектуальной поддержки решения вычислительно сложных задач. Основная идея интеллектуальной поддержки решения вычислительно сложных задач математической физики на суперкомпьютерах заключается в использовании знаний о данной проблемной области, представленных в форме онтологий [9], и опыте решения таких задач, овеществленном в виде методик (учебных пособий, мануалов), экспертных правил и реализованных программных компонентов (фрагментов параллельного кода).

На рис.1 показана концептуальная схема интеллектуальной поддержки решения вычислительно сложных задач, ориентированная на архитектуру «клиент-сервер».

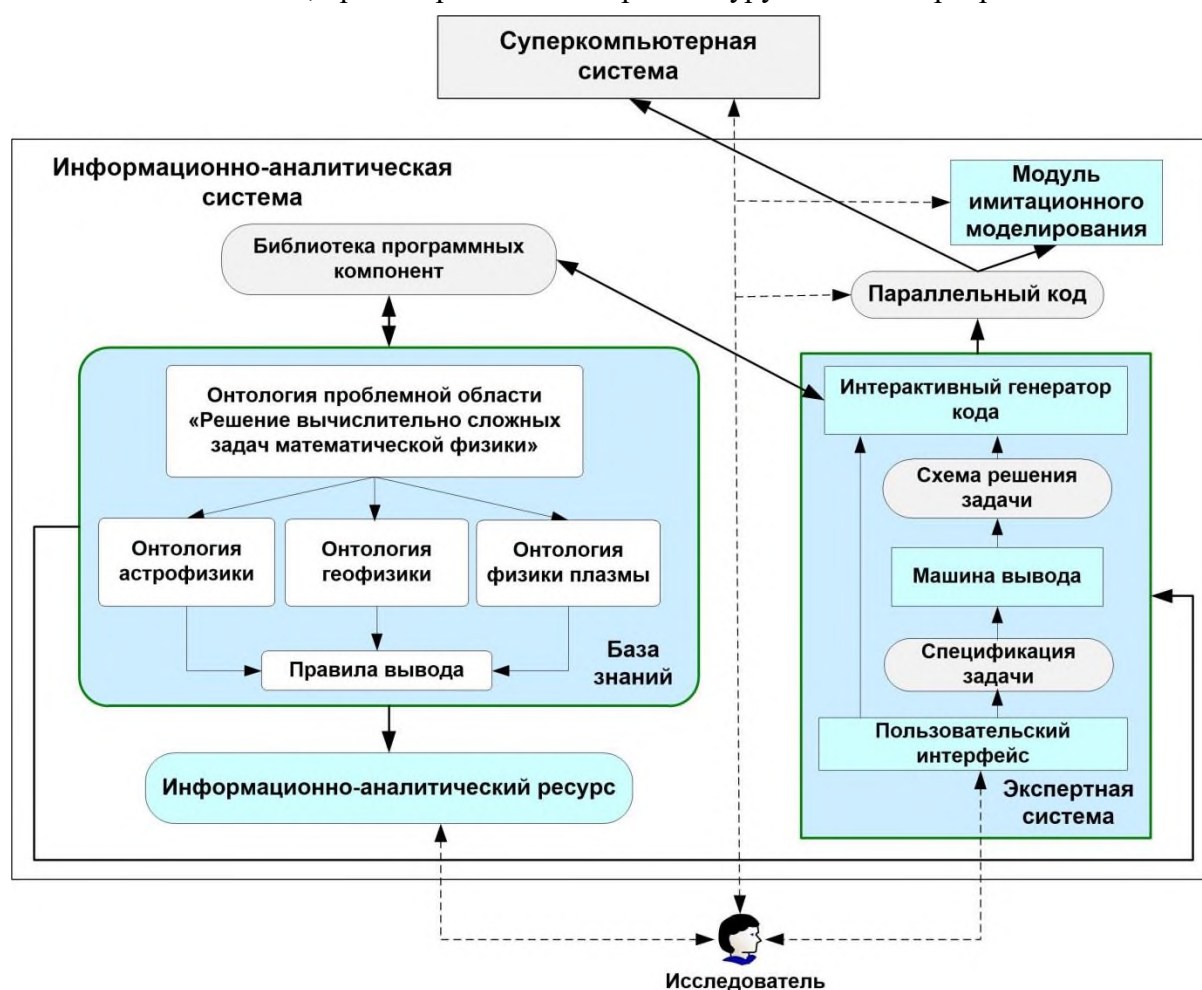


Рис.1. Архитектура информационно-аналитической системы.

В нижней части рисунка представлена информационно-аналитическая система, реализованная в клиентской части, в верхней – выполняющая роль сервера суперкомпьютерная

система, в которой решается задача. (Заметим, что в качестве клиента в этой схеме могут использоваться обычные персональные компьютеры.)

Информационно-аналитическая система (ИАС) включает следующие компоненты (см. рис.1): базу знаний (БЗ), информационно-аналитический интернет-ресурс (ИАИР) по поддержке решения вычислительно сложных задач на суперкомпьютерах (ПРВСЗС) и экспертную систему (ЭС), помогающую пользователю строить параллельный код, решающий его задачу на суперкомпьютере.

База знаний включает онтологию проблемной области «Решение вычислительно сложных задач математической физики», содержащую, в частности, описания вычислительных методов, параллельных алгоритмов, параллельных архитектур и технологий, а также онтологии следующих предметных областей: Астрофизика, Геофизика и Физики плазмы. Предметные онтологии построены на основе онтологии проблемной области и дополняют ее специфичными для них сущностями. Помимо онтологий, база знаний содержит набор правил вывода, отражающих опыт экспертов, полученный при решении задач на суперкомпьютерах.

Все онтологии формализованы на языке OWL (Web Ontology Language) [10], а правила вывода – на языке SWRL [11]. Для построения онтологий и правил вывода (экспертных правил) использовался редактор онтологий Protégé 5.2 [12]. Логический вывод в онтологиях OWL осуществляется на основе аксиом, представленных в онтологии, и правил вывода с помощью одной из доступных машин вывода (Pellet, FaCT ++, HermiT).

База знаний является центральным компонентом ИАС, поскольку ее используют информационно-аналитический интернет-ресурс и экспертная система.

ИАИР ПРВСЗС, базирующийся на онтологии, предназначен для оказания пользователю информационной поддержки при решении вычислительно сложных задач. Он предоставляет полную информацию об имеющихся методах и алгоритмах, о возможностях и ограничениях каждого из них, о характеристиках их реализаций. Этот ресурс снабжен развитым пользовательским web-интерфейсом, предоставляющим содержательный доступ к такого рода информации.

Пользователь ресурса имеет возможность получить всю необходимую для решения его задачи информацию: список доступных методов и алгоритмов, описание особенностей их численной реализации; описание доступных средств для создания параллельного кода; описание доступных архитектур суперкомпьютеров и особенностей программирования для этих архитектур. Благодаря таким возможностям ИАИР ПРВСЗС пользователь может существенно сократить время, требуемое для глубокого ознакомления с проблемной областью, поскольку вся необходимая информация структурирована и собрана в одном месте.

Экспертная система предназначена для оказания помощи пользователю в построении параллельного кода, решающего его задачу на суперкомпьютере. В состав экспертной системы, кроме базы знаний, входят машина вывода (решатель), модуль интерактивной генерации кода и пользовательский интерфейс, обеспечивающий взаимодействие пользователя с перечисленными выше компонентами ЭС.

Машина вывода, используя базу знаний и спецификацию вычислительно сложной задачи, составленную пользователем в ходе диалога, поддержанного пользовательским интерфейсом ЭС, строит оптимальную схему решения задачи.

Модуль интерактивной генерации кода поддерживает создание параллельного кода, решающего поставленную задачу. Данный модуль подставляет в схему решения задачи соответствующие фрагменты кода из библиотеки программных компонентов (ПК). Если в библиотеке ПК нет подходящего компонента, пользователь может подставить необходимый компонент сам, взяв ее из стандартной библиотеки или написав новый.

Библиотека программных компонент и модуль имитационного моделирования реализуются в рамках суперкомпьютерной системы.

Библиотека программных компонентов включает фрагменты кода, реализующие необходимые алгоритмы, исполняемые на суперкомпьютере. Программные компоненты снабжены унифицированными спецификациями, на основе которых может выполняться их интеграция в общий код.

Модуль имитационного моделирования [13] выполняет оценку масштабируемости полученного кода, т.е. оценивает зависимость производительности кода от выбранной параллельной архитектуры. В частности, этот модуль позволяет выбрать оптимальное количество вычислительных ядер для реализации кода, исходя из результатов исследования его поведения при различных количествах ядер в модельном времени.

3. Построение схемы решения задачи. Схема решения задачи (СРЗ) является одним из основных результатов работы ИАС ПРВСЗС. Рассмотрим процесс её построения, исходя из стандартного подхода, принятого в области математической физики.



Рис. 2. Схема взаимосвязей между основными блоками пользовательского интерфейса, элементами схемы решения задачи и группами правил.

Для начала важно определить свойства задачи, которую хочет решить исследователь. Поэтому пользователь ИАС в общем случае должен указать, какой Объект исследования (Физический объект, процесс или явление) он хочет промоделировать, интересующую его размерность задачи и точность решения, статическую или динамическую задачу он будет рассматривать, и какие геометрия и тип расчетной области его интересуют. Эти параметры являются наиболее важными для построения СРЗ. Они могут быть дополнены параметрами, зависящими от конкретного раздела математической физики. Например, для физики плазмы важно понимать, возможно ли излучение плазмы за пределами расчетной области. На этом этапе необходимо также задать свойства моделируемого Объекта исследования. Для спецификации свойств Задачи и Объекта пользовательский интерфейс автоматически строит форму, в которой пользователь может задать значения их свойств и указать их связи. Эта ин-

формация записывается в онтологию. На рис. 2 основные элементы онтологии, которые будут задаваться в редактируемой интернет-форме, выделены голубым цветом. Далее в проблемной онтологии автоматически создаются объекты, соответствующие элементам схемы. На рис. 2 синим цветом выделены классы, объектами которых являются эти элементы. Они будут определяться в процессе логического вывода на основе экспертных правил (представлены на рис. 2 серыми прямоугольниками).

Таким образом, в результате работы ИАС ПРВСЗС пользователь получит СРЗ, которая будет включать Систему уравнений и граничные условия, описывающие решаемую Задачу и моделируемый Объект исследования; Численные методы, с помощью которых будут решаться эти уравнения; Параллельные алгоритмы, реализующие Численные методы; Элементы архитектуры и Технологии параллельного программирования, которые будут учитывать особенности определенных ранее элементов схемы. Если в онтологии будут описаны фрагменты программного кода, реализующие необходимые алгоритмы, то они также будут включены в СРЗ.

4. Правила вывода. Правила вывода разрабатывались в тесном взаимодействии экспертов в предметной области и специалистов по представлению знаний. База знаний рассматриваемой ИАС ПРВСЗС содержит правила двух типов – правила общего вида, служащие для пополнения базы знаний системы, и правила, предназначенные для построения схемы решения конкретной задачи по её спецификации, предоставленной пользователем.

Общие правила позволяют представить в системе знания экспертов о предметной области в целом. Например, правило (1) говорит о том, что для низкотемпературной плазмы с низкой плотностью требуется кинетическая модель.

Плазма(?р), Плазма_Температура(?р, низкая), Плазма_Плотность(?р, низкая) -> моделируется_ОбъектИсследования_ФизическаяМодель(?р, КинетическаяМодель) (1)

Правила для построения схемы решения задачи учитывают особенности конкретной задачи и позволяют выбрать наиболее подходящие для её решения физические и математические модели, численные методы, алгоритмы, параллельные технологии и архитектуры с учетом особенностей параллельной реализации. Так, правило (2) указывает, что для задачи моделирования плазмы с неизвестным видом функции распределения должно использоваться уравнение Власова, а правило (3) предписывает использовать в случае плазмы с одномерной динамикой уравнение Пуассона.

имеетСхему_Задача_Схема(?t, ?s), связанаС_Задача_ОбъектИсследования(?t, ?p), Плазма_ВидФункцииРаспределения(?р, неизвестен), включает_Схема_МатематическуюМодель(?s, ?mm) -> является_Thing_Thing(?mm, УравнениеВласова) (2)

имеетСхему_Задача_Схема(?t, ?s), связанаС_Задача_ОбъектИсследования(?t, ?p), Плазма_Динамика(?р, одномерная), включает_Схема_МатематическуюМодель(?s, ?mm) -> является_Thing_Thing(?mm, УравнениеПуассона) (3)

Правило (4) выражает экспертное знание о том, что для решения уравнения Власова должен применяться конечно-разностный метод, который может быть эффективно реализован на графических ускорителях GPU с применением технологии параллельного программирования CUDA.

имеетСхему_Задача_Схема(?t, ?s),
 включает_Схема_МатематическуюМодель(?s, ?mm),
 является_Thing_Thing(?mm, УравнениеВласова),
 включает_Схема_Технология(?s, ?tech),
 включает_Схема_ЭлементАрхитектуры(?s, ?arel) ->
 является_Thing_Thing(?tech, CUDA), является_Thing_Thing(?arel, GPU_объект) (4)

На рис. 3 показан скриншот окна редактора Protégé, в левой области которого показаны экспертные правила, а в правой области представлен результат работы этих правил: элемент схемы решения упомянутой выше задачи («Система уравнений»), включающий Уравнение Власова и Уравнение Пуассона.

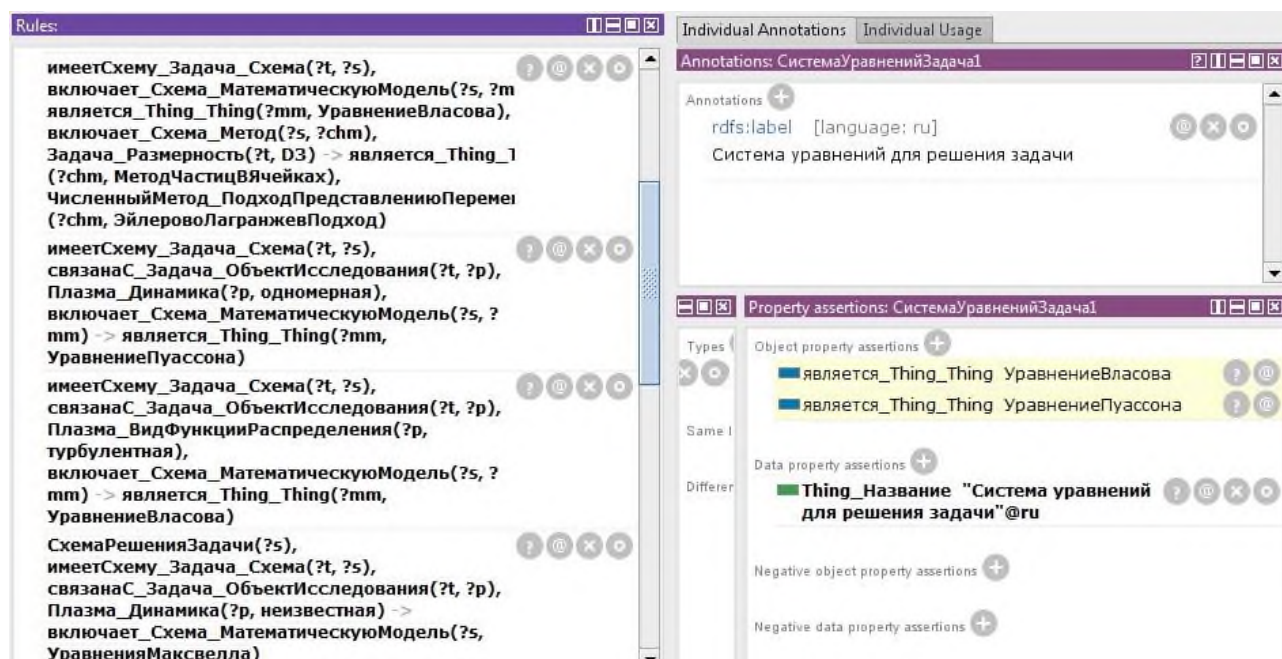


Рис. 3. Правила вывода и результат их работы в окне редактора Protégé.

Заключение. В статье рассмотрена информационно-аналитическая система, предназначенная для поддержки исследователей, разрабатывающих параллельный код. В основе предоставляемых системой средств лежит онтология проблемной области «Поддержка решения вычислительно сложных задач математической физики на суперкомпьютерах». Основным результатом работы системы является схема решения задачи, построенная по спецификации пользователя. Схема включает наиболее подходящие для решения задачи математические модели, численные методы, алгоритмы и параллельные архитектуры, ссылки на доступные фрагменты параллельного кода, которые пользователь может использовать при разработке собственного кода. Построение схемы выполняется на основе онтологий и экспертных правил, построенных с использованием технологии Semantic Web.

В качестве предмета дальнейших исследований планируется автоматизация процесса сборки параллельного кода по построенной схеме решения задачи.

Отличительными особенностями рассматриваемой системы в сравнении с близкими по назначению системами/пакетами являются следующие:

- Доступ к хорошо структурированной информации по решению задач моделирования физических процессов.
- Открытость доступа: возможность посмотреть, что находится «под капотом» предлагаемого решения и при необходимости заменить тот или иной компонент.

- Возможность рассматривать задачи/методы/архитектуры, не представленные в существующих пакетах.
- Возможность использования системы для обучения пользователей.
- Бесплатный доступ и отсутствие специфических условий лицензии по сравнению с платными пакетами.

Благодарности. Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (грант № 19-07-00085).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. 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. RCAI 2019. Communications in Computer and Information Science. Vol. 1093. 2019. Pp. 363-375. DOI: 10.1007/978-3-030-30763-9_30.
2. Malyshkin V. Active Knowledge, LuNA and Literacy for Oncoming Centuries. // Springer, LNCS. Vol. 9465. 2015. Pp. 292-303. DOI: 10.1007/978-3-319-25527-9_19.
3. Malyshkin V.E., Perepelkin V.A. LuNA Fragmented Programming System, Main Functions and Peculiarities of Run-Time Subsystem. In: Malyshkin V. (eds) Parallel Computing Technologies. PaCT 2011. Lecture Notes in Computer Science. Vol. 6873. Springer, Berlin, Heidelberg. 2011. DOI: 10.1007/978-3-642-23178-0_5.
4. Ильин В.П. О производительности и интеллектуальности суперкомпьютерного моделирования // Программирование. № 1. 2016. С. 10-25.
5. Ильин В.П. Фундаментальные вопросы математического моделирования // Вестник РАН. Том 86. № 4. 2016. С. 26-36.
6. Il'in V.P. The Conception, Requirements and Structure of the Integrated Computational Environment. In: Voevodin V., Sobolev S. (eds) Supercomputing. RuSCDays 2018. Communications in Computer and Information Science. Vol. 965. Springer, Cham. 2019. DOI: 10.1007/978-3-030-05807-4_56.
7. Коновалов Н.А., Крюков В.А., Михайлов С.Н., Погребцов А.А. FORTRAN DVM – язык разработки мобильных параллельных программ // Программирование. №1. 1995. С. 49-54.
8. Бахтин В.А., Клинов М.С., Крюков В.А. и др. Расширение DVM-модели параллельного программирования для кластеров с гетерогенными узлами // Доклады академии наук. Том 441. № 6. 2011. С. 734-736.
9. Glinskiy B.M., Zagorulko Yu.A., Zagorulko G.B., Kulikov I.M., Sapetina A.F., Titov P.A., Zhernyak G.F. Building ontologies for solving compute-intensive problems // MSR2020. Journal of Physics: Conference Series. Vol. 1715. 2021. P. 012071. DOI: 10.1088/1742-6596/1715/1/012071.
10. Antoniou G., Harmelen F. Web Ontology Language: OWL // Handbook on Ontologies. Berlin: Springer Verlag. 2004. Pp. 67-92.
11. SWRL: A Semantic Web Rule Language Combining OWL and RuleML. W3C Member Submission 21 May 2004. Available at: <http://www.w3.org/Submission/SWRL/> (accessed 11.11.2021).
12. Protégé. Available at: <https://protege.stanford.edu> (last accessed 11.11.2021).
13. Podkorytov D., Rodionov A., Choo H. Agent-based simulation system AGNES for networks modeling: review and researching // Proceedings of the 6th International Conference on Ubiquitous Information Management and Communication (ACM ICUIMC 2012). Paper 115. ACM, New York. 2012. DOI: 10.1145/2184751.2184883.

AUTOMATION OF CONSTRUCTION OF A SCHEME FOR SOLVING COMPUTE-INTENSIVE PROBLEMS OF MATHEMATICAL PHYSICS ON SUPERCOMPUTERS

Boris V. Glinskiy

Doctor of Technical Sciences, Chief Researcher, e-mail: gbm@sscc.ru

Anna F. Sapetina

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

Institute of Computational Mathematics and Mathematical Geophysics of SB RAS,
630090 Novosibirsk, Russia, Acad. Lavrentjev pr., 6.

Alexey V. Snytnikov

Doctor of Technical Sciences, Lead Software Engineer, e-mail: snytav@gmail.com

Institute of Automation and Electrometry of SB RAS,
630090 Novosibirsk, Russia, Acad. Koptug pr., 1

Galina B. Zagorulko

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

Yury A. Zagorulko

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

Vladimir K. Shestakov

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

A.P. Ershov Institute of Informatics Systems of SB RAS,
630090 Novosibirsk, Russia, Acad. Lavrentjev pr., 6.

Abstract. The paper presents an approach to the development of an information-analytical system that helps a researcher to solve compute-intensive problems of mathematical physics on supercomputers. The system automatically builds a scheme for solving the problem according to the user's specification entered by him in the dialogue mode. The scheme includes the most suitable mathematical models for solving the problem, numerical methods, algorithms and parallel architectures, links to available fragments of parallel code that the user can use when developing their own code. The construction of the scheme is carried out on the basis of the ontology of the problem area "Solving compute-intensive problems of mathematical physics", the ontology of a given subject area and expert rules built using the Semantic Web technology.

Keywords: solving compute-intensive problems on supercomputers, information-analytical system, scheme for solving the problem, expert system, knowledge base, ontology, expert rules

Acknowledgements. This work was supported by the Russian Foundation for Basic Research (project № 19-07-00085).

REFERENCES

1. 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. RCAI 2019. Communications in Computer and Information Science. Vol. 1093. 2019. Pp. 363-375. DOI: 10.1007/978-3-030-30763-9_30.
2. Malyshkin V. Active Knowledge, LuNA and Literacy for Oncoming Centuries // Springer, LNCS. Vol. 9465. 2015. Pp. 292-303. DOI: 10.1007/978-3-319-25527-9_19.
3. Malyshkin V.E., Perepelkin V.A. LuNA Fragmented Programming System, Main Functions and Peculiarities of Run-Time Subsystem. In: Malyshkin V. (eds) Parallel Computing Technologies. PaCT 2011. Lecture Notes in Computer Science. Vol. 6873. Springer, Berlin, Heidelberg. 2011. DOI: 10.1007/978-3-642-23178-0_5.

4. Il'in V.P. O proizvoditel'nosti i intellektual'nosti superkomp'yuternogo modelirovaniya [On the performance and intelligence of supercomputer modeling] // Programmirovaniye = Programming and Computer Software. No. 1. 2016. Pp. 10-25. (in Russian).
5. Il'in V.P. Fundamental'nye voprosy matematicheskogo modelirovaniya [Fundamental questions of mathematical modeling] // Vestnik RAN=RAS Bulletin. Vol. 86. No. 4. 2016. Pp. 26-36. (in Russian).
6. Il'in V.P. The Conception, Requirements and Structure of the Integrated Computational Environment. In: Voevodin V., Sobolev S. (eds) Supercomputing. RuSCDays 2018. Communications in Computer and Information Science. Vol. 965. Springer, Cham. 2019. DOI: 10.1007/978-3-030-05807-4_56.
7. Konovalov N.A., Kryukov V.A., Mihajlov S.N., Pogrebcev A.A. FORTRAN DVM – yazyk razrabotki mobil'nyh parallel'nyh programm [FORTRAN DVM - a language for the development of mobile parallel programs] // Programmirovaniye = Programming and Computer Software. No. 1. 1995. Pp. 49-54. (in Russian).
8. Bahtin V.A., Klinov M.S., Kryukov V.A. i dr. Rasshirenie DVM-modeli parallel'nogo programmirovaniya dlya klasterov s geterogennymi uzlami [Extension of the DVM parallel programming model for clusters with heterogeneous nodes] // Doklady akademii nauk = Academy of Sciences reports. Vol. 441. No. 6. 2011. Pp. 734-736. (in Russian).
9. Glinskiy B.M., Zagorulko Yu.A., Zagorulko G.B., Kulikov I.M., Sapetina A.F., Titov P.A., Zhernyak G.F. Building ontologies for solving compute-intensive problems // MSR2020. Journal of Physics: Conference Series. Vol. 1715. 2021. P. 012071. DOI:10.1088/1742-6596/1715/1/012071.
10. Antoniou G., Harmelen F. Web Ontology Language: OWL // Handbook on Ontologies. Berlin: Springer Verlag. 2004. Pp. 67-92.
11. SWRL: A Semantic Web Rule Language Combining OWL and RuleML. W3C Member Submission 21 May 2004. Available at: <http://www.w3.org/Submission/SWRL/> (accessed 11.11.2021).
12. Protégé. Available at: <https://protege.stanford.edu> (accessed 11.11.2021).
13. Podkorytov D., Rodionov A., Choo H. Agent-based simulation system AGNES for networks modeling: review and researching // Proceedings of the 6th International Conference on Ubiquitous Information Management and Communication (ACM ICUIMC 2012). Paper 115. ACM, New York. 2012. DOI: 10.1145/2184751.2184883.

Статья поступила в редакцию 04.12.2021; одобрена после рецензирования 21.12.2021; принята к публикации 23.12.2021.

The article was submitted 04.12.2021; approved after reviewing 21.12.2021; accepted for publication 23.12.2021.

ТЕХНОЛОГИЯ ПАРАЛЛЕЛЬНОЙ ОПТИМИЗАЦИИ ДЛЯ АТОМНО-МОЛЕКУЛЯРНЫХ КЛАСТЕРОВ МОРСА

Горнов Александр Юрьевич

д.т.н., главный научный сотрудник, e-mail: gornov@icc.ru

Аникин Антон Сергеевич

к.ф.-м.н., научный сотрудник, e-mail: anton.anikin@gmail.com

Сороковиков Павел Сергеевич

программист, e-mail: sorokovikov.p.s@gmail.com

Зароднюк Татьяна Сергеевна

к.т.н., старший научный сотрудник, e-mail: tz@icc.ru

Лаборатория «Оптимальное управление»,

Институт динамики систем и теории управления им. В.М. Матросова СО РАН,
664033 г. Иркутск, ул. Лермонтова 134.

Аннотация. В статье рассматриваются специализированные вычислительные технологии и алгоритмы, используемые для поиска низкопотенциальных атомно-молекулярных кластеров. Проведенные вычислительные эксперименты продемонстрировали достаточно высокую конкурентоспособность новых алгоритмов по сравнению с классическими для функций рассматриваемого типа. С использованием разработанного программного комплекса получены рекордные результаты оптимизации атомно-молекулярных кластеров Морса рекордных размерностей.

Ключевые слова: атомно-молекулярный кластер, задача глобальной оптимизации, невыпуклая функция.

Цитирование: Горнов А.Ю., Аникин А.С., Сороковиков П.С., Зароднюк Т.С. Технология параллельной оптимизации для атомно-молекулярных кластеров Морса // Информационные и математические технологии в науке и управлении. 2021. № 4 (24). С. 60-67. DOI: 10.38028/ESI.2021.24.4.006.

Введение. Современные экспериментальные методы молекулярной физики позволяют исследователям получать достаточно большой объем содержательной информации о структуре различных веществ [1], что дает возможность формировать соответствующие математические модели. Проблема поиска атомно-молекулярных кластеров с низким потенциалом также является одной из классических задач вычислительной химии (см., напр., [2]). Эта задача сводится к поиску минимума потенциальных функций в виде специальных математических моделей, которые уже созданы для нескольких сотен структур [3]. В Кембриджской базе данных (the Cambridge Energy Landscape Database, <http://www.wales.ch.cam.ac.uk/CCD.html>) представлены результаты глобальной оптимизации для различного типа моделей: кластеров инертных газов, кластеров металлов, ионных кластеров, кластеров кремния и германия и других. Основная трудность задач этого класса – их невыпуклость, что выражается в огромном количестве локальных экстремумов потенциальных функций. Эксперты дают оценки, которые в некоторых случаях доказывают экспоненциальный рост количества локальных экстремумов от количества атомов или оптимизированных переменных. Наиболее известными и часто рассматриваемыми в научной литературе потенциальными функциями являются модели Леннарда-Джонса, Морса, Китинга, Дзугутова, Гупты и др. Поскольку точное значение глобального минимума в большинстве случаев неизвестно, в работах этого направления используется принцип предъявления «лучшего из известных» решений. Это означает, что представленное решение «вероятно оптимально» до тех пор, пока один из экспертов не обнаружит меньшее значение.

Регулярные исследования задач оптимизации, сформулированных для потенциалов атомно-молекулярных кластеров, начались в 90-х годах XX века специалистами из Великобритании и США. На этом этапе рекордными показателями размерности задач были, например, для потенциала Морса всего 147 атомов, чему соответствует 441 переменная оптимизируемой функции, но количество локальных экстремумов в рекордных задачах уже оценивалось астрономическим показателем – 10^{60} . Поиск решения задач оптимизации низкопотенциальных кластеров все возрастающих размерностей продолжает оставаться актуальной проблемой в связи с возникновением подобных постановок в химии, физике, материаловедении, нанoeлектронике, нанобиологии, фармацевтике, военных технологиях и других областях [4].

1. Постановка задачи оптимизации потенциала Морса. Взаимодействие между элементами кластеров, как структур, состоящих из конечного числа атомов или молекул, описывается, как уже упоминалось, функциями потенциалов, задающих поверхности потенциальной энергии. Нахождение минимумов или стационарных точек таких потенциалов позволяет получать устойчивые атомно-молекулярные конфигурации. Подобное моделирование в ряде ситуаций заменяет натурные (физические) эксперименты. К одной из самых популярных задач данного класса, несомненно, стоит отнести оптимизацию атомно-молекулярных кластеров Морса (см., например, [5]), как классического объекта вычислительной химии. Задача поиска низкопотенциальных кластеров заключается в глобальной минимизации невыпуклой функции при выполнении заданных ограничений:

$$f(x) \rightarrow \min, x \in B,$$

$$B = \{x \mid x = (x_1, x_2, \dots, x_n), \alpha_i \leq x_i \leq \beta_i, i = \overline{1, n}\}, \text{ где } f(x) = \sum_{i=1}^N \sum_{j=i+1}^N e^{\rho(1-r_{ij})} (e^{\rho(1-r_{ij})} - 2),$$

а расстояние между i -й и j -й частицами вычисляется по формуле:

$$r_{ij} = \sqrt{(x_{3(i-1)+1} - x_{3(j-1)+1})^2 + (x_{3(i-1)+2} - x_{3(j-1)+2})^2 + (x_{3(i-1)+3} - x_{3(j-1)+3})^2}.$$

Здесь N – число атомов, $n = 3N$ – размерность вектора x , ρ – параметр модели, равный 3. Вид потенциальной функции Морса зависит от значений параметра ρ (рис. 1).

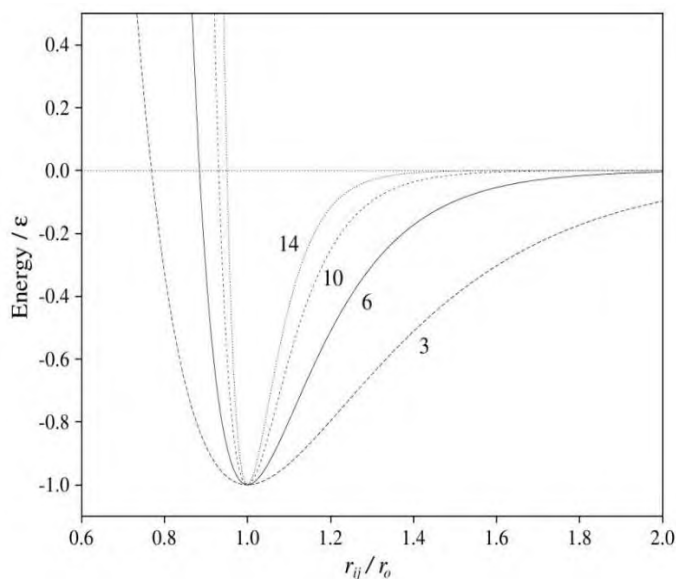


Рис. 1. Потенциальная функция атомно-молекулярного кластера Морса при разных значениях параметра ρ .

Задачи оптимизации атомно-молекулярных кластеров относят к задачам глобальной оптимизации. Для них характерно наличие астрономического числа локальных экстремумов. Современные постановки таких задач включают «большие кластеры», состоящие более чем из 200 атомов или 600 переменных. Для исследования задач оптимизации данного класса требуется использование специализированных подходов, учитывающих специфику исследуемых структур.

2. Трехкомпонентная вычислительная технология. Предложенная идея исследования атомно-молекулярных кластеров опирается на использование трехкомпонентной вычислительной технологии. На первом этапе предлагается использовать «быстрые» эвристические алгоритмы, работающие с заданным временным ограничением (метод Б.Т. Поляка, «Рейдер»-метод, алгоритм Дж. Барзилай – Дж. Борвейна, градиентный метод «криволинейного поиска» и др. [6, 7]), позволяющие быстро спуститься на дно оврага, наличие которых обычно характерно для потенциальных функций. Второй этап является наиболее затратным и заключается в реализации процедуры «перемещения по дну оврага». Для этого требуется использование алгоритмов со сверхлинейной скоростью сходимости – методов сопряженных градиентов и квазиньютоновских методов. На третьей стадии «уточнения экстремума» мы используем вычислительно устойчивые безградиентные методы – Partan-метод (метод Партана), алгоритм М.Д. Пауэлла и другие (см, например, [8]).

Алгоритмы постоптимизационного анализа используются для повышения эффективности вычислительных технологий поиска низкопотенциальных атомно-молекулярных кластеров. Основное внимание в этих алгоритмах уделяется поиску вычислительных характеристик конкретной модели и выявлению ресурсов для повышения производительности и надежности алгоритмических схем с несколькими методами. Реализованы алгоритмы проверки точности необходимых условий оптимальности, оценок вырожденности локальных экстремумов, обусловленности функционалов в окрестности экстремумов и размеров их областей притяжения.

Для организации параллельных вычислений предложена вычислительная технология Форест, опирающаяся на использование процедуры рестарта локальных спусков. Проверка нормы градиента осуществляется каждый раз, когда удастся достичь стационарной точки. Оценивается время работы каждого локального спуска и при необходимости осуществляется рестарт «слишком старых» ветвей. На перезапуск отдельной ветви также влияет близость к другому локальному спуску и сравнительно большое значение оптимизируемой функции, найденное как рекордное. Предложенная схема технологии Форест представлена на рисунке 2.

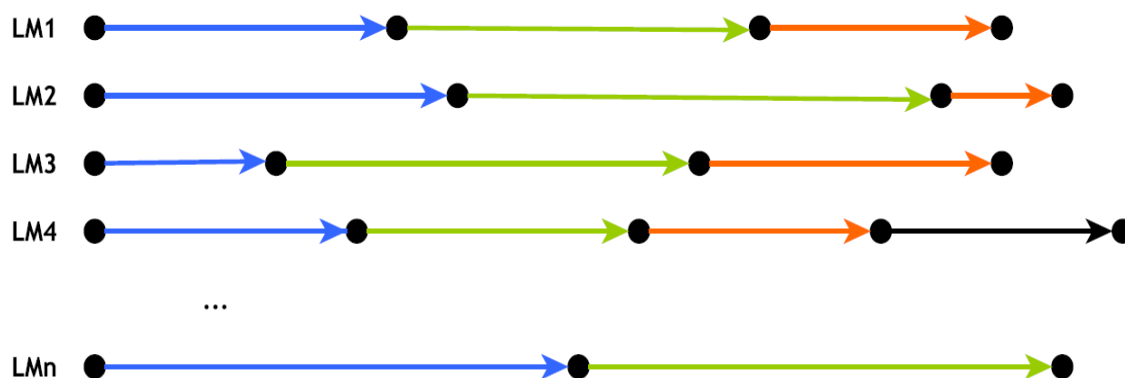


Рис. 2. Графическая интерпретация параллельных локальных спусков, реализованных в технологии Форест.

В результате запуска процедуры организации рестартов удается оптимизировать параллельный поиск решения, сократив время расчетов и оптимизировав использование вычислительных ресурсов (рис. 3).

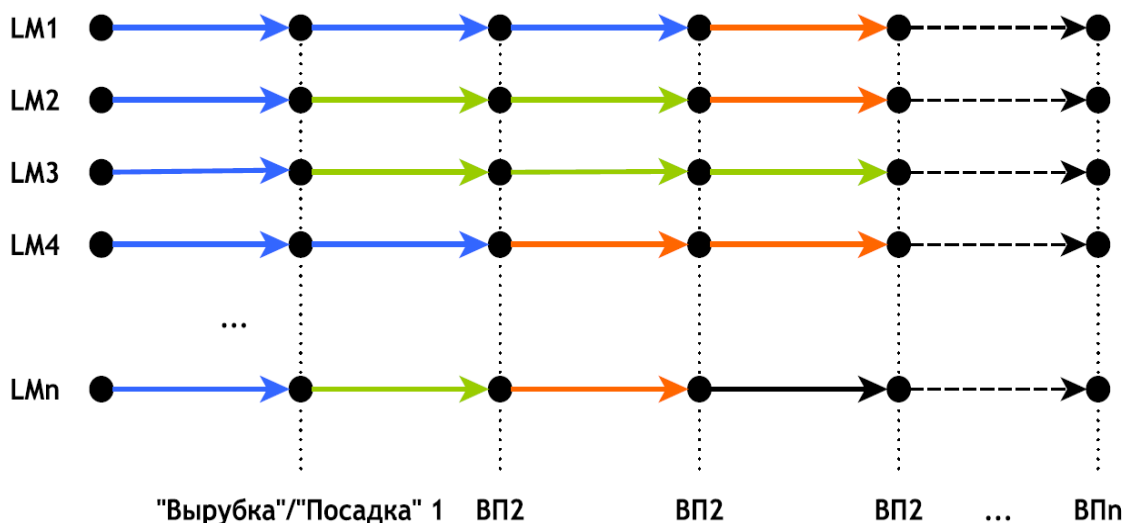


Рис. 3. Оптимизация потоков вычислительной технологии Форест в результате использования процедуры рестартов.

Программная реализация представленных алгоритмов выполнена на языке C в рамках программного комплекса OPTCON-M, работающего под ОС Linux, Mac OS X и Windows с использованием компиляторов GCC/MinGW, Clang, ICC. Технологии параллельного программирования OpenMP, MPI и CUDA позволили существенно ускорить получение решений за счет многократного запуска процедур поиска решения в параллельных потоках. Реализованы интерактивный и пакетный режимы работы программного комплекса, позволяющие как влиять на организацию вычислительного процесса путем изменения последовательности методов и значений алгоритмических параметров, так и быстро запускать программный комплекс со стандартными настройками.

3. Полученные результаты. Исследованиями подобных постановок активно занимаются в Великобритании: D.J. Wales, J.P.K. Doye, A. Dullweber, M.P. Hodges, F.Y. Naumkin F. Calvo, J. Hernández-Rojas and T.F. Middleton (The Cambridge Cluster Database, www.wales.ch.cam.ac.uk/CCD.html), в Китае: Hefei National Laboratory for Physical Sciences at the Microscale and School of Life Sciences, University of Science and Technology of China, в Португалии: Jorge Marques, Department of Chemistry Research in Computational Chemistry and Molecular Modeling University of Coimbra (apps.uc.pt/mypage/faculty/qtmarque/en/clusters). Опубликованы результаты расчетов для кластеров Морса размерностей от 5 до 147 атомов (в базе данных [9]), от 148 до 240 (в работах групп из Китая [10] и Португалии [11]).

Сравнение результатов, полученных с помощью ПК OPTCON-M, удалось провести для кластеров размерностей до 240 атомов (примеры кластеров от 150 до 200 атомов представлены на рисунке 4). Эти известные расчеты удалось повторить и убедиться в работоспособности предлагаемых алгоритмов для задач оптимизации атомно-молекулярных кластеров.

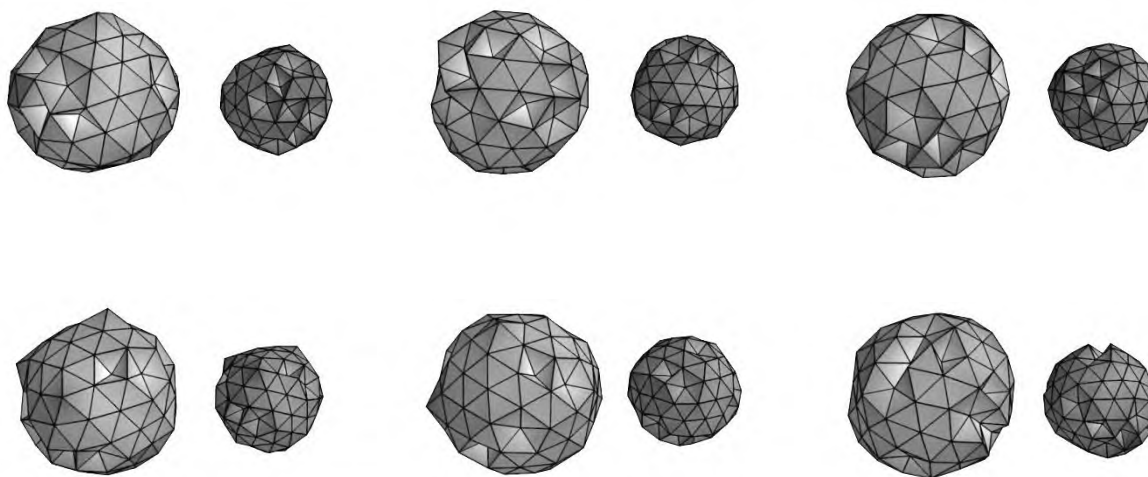


Рис. 4. Структуры кластеров из 150, 160 и 170 атомов (верхний ряд); из 180, 190 и 200 атомов (нижний ряд), полученные в Университете науки и технологии Китая (слева) и в Институте динамики систем и теории управления им. В.М. Матросова СО РАН (справа).

На рисунке 5 изображены кластеры, состоящие из 240 атомов. Результаты системных вычислительных экспериментов по поиску глобального экстремума в модели Морса со сверхбольшим числом атомов (от 300 до 680) приведены в таблице 1. Авторам неизвестно о других попытках проведения расчетов для кластеров Морса указанных размерностей.

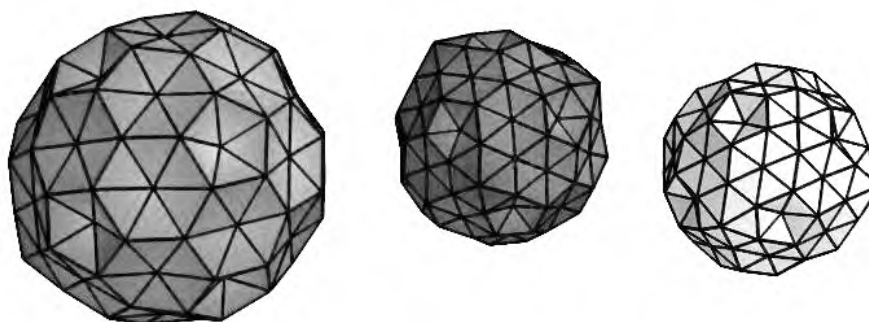


Рис. 5. Структуры кластеров из 240 атомов, полученные в Университете науки и технологии Китая (слева), ИДСТУ СО РАН (в центре) и Коимбрском университете Португалии (справа).

Таблица 1. Рекордные значения потенциальной функции Морса

N	$f^*(x)$	N	$f^*(x)$	N	$f^*(x)$
300	-3728.226966	430	-5771.164824	560	-7881.460360
310	-3879.968259	440	-5928.212283	570	-8034.433295
320	-4031.192528	450	-6086.447626	580	-8210.328570
330	-4185.823810	460	-6243.648248	590	-8374.874243
340	-4341.617312	470	-6403.362570	600	-8544.026103
350	-4495.258746	480	-6559.388537	610	-8704.551373
360	-4652.526830	490	-6718.903821	620	-8876.820224
370	-4808.833596	500	-6893.650168	630	-9046.997894

N	$f^*(x)$	N	$f^*(x)$	N	$f^*(x)$
380	-4963.857118	510	-7054.414052	640	-9208.003264
390	-5117.601743	520	-7216.954715	650	-9367.283286
400	-5280.028313	530	-7378.800085	660	-9549.828351
410	-5439.956025	540	-7548.160216	670	-9708.553979
420	-5605.374049	550	-7700.516816	680	-9882.546522

Заключение. Вычислительные эксперименты также проводились для потенциала Саттона-Чена [5], который часто используется при расчете свойств нанокластеров металлов, таких как серебро, родий, никель, медь, золото и платина. Рассмотрена проблема поиска низкопотенциальных кластеров беспрецедентных размеров для потенциала Гупта – типичного представителя класса задач молекулярной динамики. Используя параллельные версии предложенных алгоритмов, была реализована специализированная технология многометодной вычислительной оптимизации и решен ряд задач минимизации потенциала Китинга (Keating P.N., 1966) с размерностями более 100 переменных.

С помощью разработанного программного обеспечения решена прикладная задача молекулярного докинга. Задача заключалась в поиске структуры белка, способной выполнять заданную «фармацевтическую миссию». Процесс оптимизации геометрии синтезированной белковой молекулы соответствует минимизации функции, которая устанавливает потенциальную энергию значительной молекулы. Для упрощенной модели белковой молекулы биологи предложили многокомпонентную функцию, которая включает различные типы энергии взаимодействия как связанных, так и несвязанных атомов. Полученные результаты расчетов (структура белковой молекулы) были оценены биологами как правдоподобные и нашли содержательную интерпретацию.

Разработанная параллельная вычислительная технология позволяет эффективно решать задачи оптимизации атомно-молекулярных кластеров. В результате серии вычислительных экспериментов получены минимальные значения потенциальной функции для кластеров Морса рекордных размерностей.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Brooks R.L. The Fundamentals of Atomic and Molecular Physics. Springer. 2013.
2. Cheng L., Feng Y., Yang Jie, Yang Jinlong. Funnel hopping: searching the cluster potential energy surface over the funnels. The Journal of Chemical Physics. Vol. 130(21). 214112. 2009.
3. The Cambridge Energy Landscape Database. Режим доступа: <http://www-wales.ch.cam.ac.uk/CCD.html> (дата обращения: 01.12.2021).
4. Cruz S.M.A., Marques J.M.C. and Pereira F.B. Improved evolutionary algorithm for the global optimization of clusters with competing attractive and repulsive interactions // J. Chem. Phys. 145. 154109. 2016.
5. Doye J.P.K., Wales D.J. Structural consequences of the range of the interatomic potential a menagerie of clusters // Journal of the Chemical Society, Faraday Transactions. 1997. Vol. 93. No 24. Pp. 4233-4243.
6. Anikin A., Gornov A., Sorokovikov P. Algorithms for global minimum search of atomic-molecular clusters of extremely large dimensions // Системный анализ: моделирование и управление: Материалы Междунар. конф., посвященной памяти академика А.В. Кряжжиского. М.: МАКС Пресс. 2018. С. 9-10.

7. Gornov A.Yu., Zarodnyuk T.S., Anikin A.S., Finkelstein E.A. Extension technology and extrema selections in a stochastic multistart algorithm for optimal control problems // Journal of Global Optimization. 2020. Vol. 76. No 3. Pp. 533-543.
8. Gornov A., Sorokovikov P., Zarodnyuk T. Computational technology for global search based on modified algorithm of the univariate nonlocal optimization // Advances in Intelligent Systems Research. Atlantis Press. 2019. Pp. 189-193.
9. Wales D.J., Doye J.P.K. The Cambridge Energy Landscape Database. Режим доступа: <http://www-wales.ch.cam.ac.uk/CCD.html>. (дата обращения: 01.12.2021).
10. Feng Y., Cheng L., Liu H. Putative global minimum structures of Morse clusters as a function of the range of the potential: $161 \leq n \leq 240$ // The Journal of Physical Chemistry A. Vol. 113. No 49. 2009. Pp. 13651-13655.
11. Marques J.M.C., Pais A., Abreu P.E. On the use of big-bang method to generate low-energy structures of atomic clusters modeled with pair potentials of different ranges // Journal of Computational Chemistry, Vol. 33. No 4. 2012. Pp. 442-452.

UDC 519.711.2

PARALLEL OPTIMIZATION TECHNOLOGY FOR ATOMIC-MOLECULAR MORSE CLUSTERS

Alexander Yu. Gornov

Dr., Chief Researcher

e-mail: gornov@icc.ru

Anton S. Anikin

Dr., Researcher, e-mail: anton.anikin@gmail.com

Pavel S. Sorokovikov

Programmer, e-mail: sorokovikov.p.s@gmail.com

Tatyana S. Zarodnyuk

Dr., Senior Researcher, e-mail: tz@icc.ru

Laboratory "Optimal control",

Matrosov Institute for System Dynamics and Control Theory

Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences

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

Abstract. The paper deals with specialized computing technology and algorithms used for finding low-potential atomic-molecular clusters. The performed computational experiments demonstrated a rather high competitiveness of the new algorithms in comparison with the classical methods for the considerable functions. Using the developed software, the applied problem of molecular docking was solved. Using the developed software package, record results for optimization of atomic-molecular Morse clusters of large dimensions have been obtained.

Keywords: atomic-molecular cluster, global optimization problem, non-convex function.

REFERENCES

1. Brooks R.L. The Fundamentals of Atomic and Molecular Physics. Springer. 2013.
2. Cheng L., Feng Y., Yang Jie, Yang Jinlong. Funnel hopping: searching the cluster potential energy surface over the funnels. The Journal of Chemical Physics. Vol. 130(21). 214112. 2009.
3. The Cambridge Energy Landscape Database. Available at: <http://www-wales.ch.cam.ac.uk/CCD.html>. (accessed 01.12.2021).

4. Cruz S.M.A., Marques J.M.C. and Pereira F.B. Improved evolutionary algorithm for the global optimization of clusters with competing attractive and repulsive interactions // J. Chem. Phys. 145. 154109. 2016.
5. Doye J.P.K., Wales D.J. Structural consequences of the range of the interatomic potential a menagerie of clusters // Journal of the Chemical Society, Faraday Transactions. 1997. Vol. 93. No 24. Pp. 4233-4243.
6. Anikin A., Gornov A., Sorokovikov P. Algorithms for global minimum search of atomic-molecular clusters of extremely large dimensions // Sistemnyy analiz: modelirovaniye i upravleniye: Materialy Mezhdunar. konf., posvyashchennoy pamyati akademika A.V. Kryazhinskogo = Systems Analysis: Modeling and Management: Proceedings of the Intern. Conf., dedicated to the memory of Academician A.V. Kryazhinsky. M.: MAX Press. 2018. Pp. 9-10.
7. Gornov A.Yu., Zarodnyuk T.S., Anikin A.S., Finkelstein E.A. Extension technology and extrema selections in a stochastic multistart algorithm for optimal control problems // Journal of Global Optimization. 2020. Vol. 76. No 3. Pp. 533–543.
8. Gornov A., Sorokovikov P., Zarodnyuk T. Computational technology for global search based on modified algorithm of the univariate nonlocal optimization // Advances in Intelligent Systems Research. Atlantis Press. 2019. Pp. 189-193.
9. Wales D.J., Doye J.P.K. The Cambridge Energy Landscape Database. Available at: <http://www-wales.ch.cam.ac.uk/CCD.html>. (accessed 01.12.2021).
10. Feng Y., Cheng L., Liu H. Putative global minimum structures of Morse clusters as a function of the range of the potential: $161 \leq n \leq 240$ // The Journal of Physical Chemistry A. Vol. 113. No 49. 2009. Pp. 13651-13655.
11. Marques J.M.C., Pais A., Abreu P.E. On the use of big-bang method to generate low-energy structures of atomic clusters modeled with pair potentials of different ranges // Journal of Computational Chemistry, Vol. 33. No 4. 2012. Pp. 442-452.

Статья поступила в редакцию 12.12.2021; одобрена после рецензирования 20.12.2021; принята к публикации 24.12.2021.

The article was submitted 12.12.2021; approved after reviewing 20.12.2021; accepted for publication 24.12.2021.

ПОДХОД К ПОСТРОЕНИЮ ИНФОРМАЦИОННОЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ СРЕДЫ ДЛЯ АНАЛИЗА НАУЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ И СОЗДАНИЯ АННОТИРОВАННЫХ КОРПУСОВ

Серый Алексей Сергеевич

м.н.с., Институт систем информатики им. А.П. Ершова СО РАН,

e-mail: alexey.seryj@iis.nsk.su

630090 г. Новосибирск, проспект Академика Лаврентьева, 6

Гриневич Анна Александровна

к.ф.н., н.с., Институт филологии СО РАН,

e-mail: anngrinevich@gmail.com

630090 г. Новосибирск, ул. Николаева, 8

Лисин Владислав Александрович

Аспирант, Новосибирский Государственный Университет,

e-mail: vladlisin2@gmail.com

630090 г. Новосибирск, ул. Пирогова, 1.

Аннотация. В статье предложен подход к построению исследовательской среды для интеграции информационных ресурсов определенной области знаний и поддержки научных исследований. Особенностью подхода является комбинация в рамках единой информационной системы, основанных на онтологиях средств представления, систематизации и аннотирования интегрированных в систему ресурсов, а также ориентация на совместную работу специалистов над созданием размеченного корпуса. В статье приведен пример применения предложенного подхода для разработки информационной системы.

Ключевые слова: Semantic Web, онтология, информационный ресурс, аннотированный корпус.

Цитирование: Серый А.С., Гриневич А.А., Лисин В.А. Подход к построению информационной исследовательской среды для анализа научных материалов и создания аннотированных корпусов // Информационные и математические технологии в науке и управлении. 2021. № 4 (24). С. 68-76. DOI: 10.38028/ESI.2021.24.4.007.

Введение. В настоящее время имеется запрос на структурирование и формализацию данных в различных научных предметных областях и их представление в общем доступе. В одних областях размер имеющихся данных слишком велик, и аналитических способностей человека недостаточно для работы с ним. В других – большая часть материалов хранится в архивах или распределена по труднодоступным источникам. Кроме того, современная практика научных исследований, как правило, предполагает взаимодействие ученых, работающих в одной или смежных областях науки, обмен данными и результатами исследований. Соответственно, в обоих перечисленных выше случаях требуются систематизация и интеграция информационных ресурсов определенной области знаний в общее научное пространство.

В качестве средств представления знаний во многих случаях применяются онтологические модели предметной области. В последние годы онтологии все чаще применяются и при разработке информационных систем как основа модели данных [1]. В тех областях науки, где информационные ресурсы выступают предметом исследования, как, например, в набирающих популярность исследованиях аргументации [2, 3], помимо систематизации ресурсов требуются также средства их анализа и аннотирования. В рамках различных проектов разработаны инструменты для создания аннотированных корпусов, где размечаются вхождения сущностей и понятий соответствующей предметной области. При

этом предметная область, сущности которой применяются при аннотировании информационных ресурсов, также может быть формализована в виде онтологии. Размеченный корпус, сам по себе, являясь важным научным результатом, может быть использован в качестве обучающих данных в задачах машинного обучения для извлечения сущностей предметной области из неразмеченных материалов.

В статье предлагается подход к разработке информационной исследовательской среды, объединяющей средства формализации совокупности входящих в нее ресурсов и средства создания аннотированных корпусов на основе онтологий научных предметных областей.

Статья организована следующим образом. В разделе 1 приведено описание подхода к разработке информационной исследовательской среды (ИИС). Раздел 2 посвящен описанию данных ИИС и методам их хранения. В разделе 3 показан пример применения предлагаемого подхода при разработке информационной системы. В заключении подводятся итоги и намечаются дальнейшие перспективы исследования.

1. Подход к разработке ИИС. В соответствии с предлагаемым подходом, разработанная на его основе информационная система (ИС) должна решать следующие основные задачи: создание и поддержка репозитория информационных ресурсов, аннотирование – разметка вхождений элементов предметных онтологий в ресурсах ИС, создание и поддержка предметных онтологий на уровне простых операций, обеспечение доступа к ресурсам и данным, навигация.

Для решения поставленных задач в рамках ИС различаются два вида онтологий. Мета-онтология обеспечивает формальное описание коллекции информационных ресурсов и формирует основу модели данных для пользовательского интерфейса, навигации и поиска. Предметная онтология является основой для аннотирования содержащихся в ИС ресурсов. Чаще всего аннотируемыми ресурсами являются тексты, однако размеченный корпус может включать и другие материалы, такие, как аудио и видеозаписи. В зависимости от предметной области и стоящих перед исследователями задач, ИС может содержать одну или несколько предметных онтологий. При этом, мета-онтология всегда единственная.

В соответствии с основными задачами ИС ее архитектура предполагает разделение функциональности на четыре блока или модуля: Предметный блок (**ПБ**), Блок репозитория (**РБ**), Блок аннотирования (**АБ**) и Блок пользовательского интерфейса (**БИ**). На рис. 1 представлена общая архитектура ИС, разработанной в рамках предлагаемого подхода.

Архитектура ИС предполагает разделение пользователей на три группы. Обычные пользователи или *Гости* имеют доступ на чтение ко всем ресурсам системы. Гостям также доступны поисковые механизмы. Задача *Исследователей* состоит в пополнении и поддержке репозитория ресурсов, а также в создании размеченных корпусов. Третья группа пользователей – *Эксперты предметной области*, или просто *Эксперты*, занимаются разработкой и поддержкой предметных онтологий. Группы исследователей и экспертов могут пересекаться. Как показывает практика, пользователь-эксперт в большинстве случаев принимает участие и в создании аннотированных корпусов, т.е. является также исследователем.

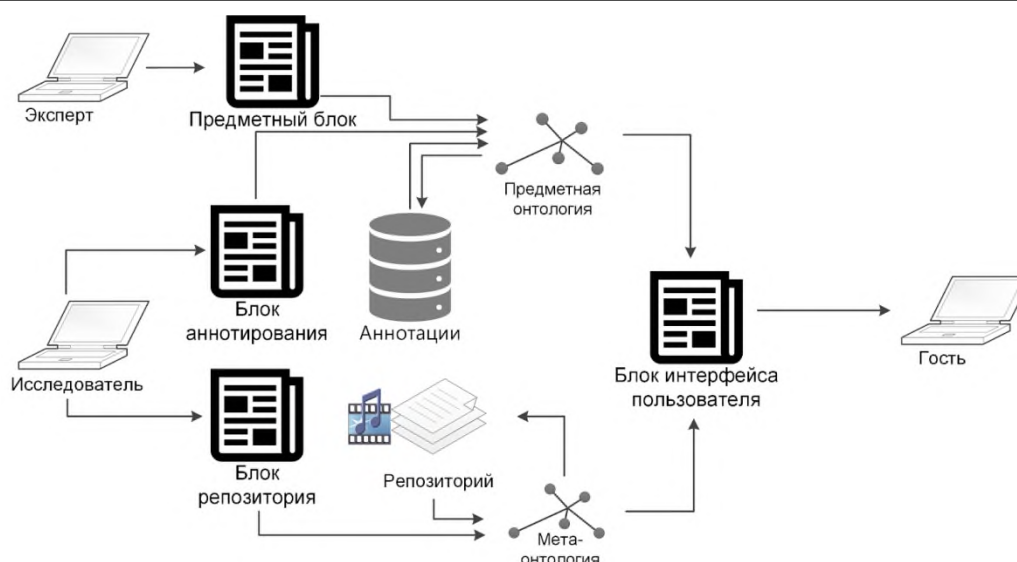


Рис.1. Архитектура информационной системы.

Предметный блок реализует инструменты для работы с предметными онтологиями. Пользователями функциональности **ПБ** являются пользователи-эксперты. Блок аннотирования и Блок репозитория предоставляют пользователям-исследователям возможности создавать, редактировать и аннотировать ресурсы системы, создавая аннотированные корпуса. Согласно рис. 1, **АБ** и **РБ** не могут обращаться к хранилищу данных напрямую, все взаимодействие организовано через соответствующие онтологии. Исследователи аннотируют ресурсы, сопоставляя сущности выбранной предметной онтологии определенным фрагментам. Множество размеченных фрагментов образует аннотацию ресурса. Предполагается, что один ресурс может иметь несколько альтернативных аннотаций.

Блок интерфейса обеспечивает работу графического пользовательского интерфейса, поисковых механизмов и навигации.

2. Разработка хранилища данных. Данные в ИИС представлены репозиторием ресурсов, аннотациями, предметными онтологиями и мета-онтологией. В зависимости от размера системы и количества пользователей существует ряд альтернативных подходов к организации хранилища. В данной работе рассмотрены технологии хранения данных, опробованные авторами при разработке информационных систем.

2.1. Репозиторий ресурсов и аннотаций. Репозиторий ресурсов – это хранилище текстовых и мультимедийных материалов. При небольшом размере репозитория файлы могут быть расположены непосредственно в файловой системе.

Более масштабируемым решением является использование документоориентированных хранилищ данных. Одним из наиболее популярных и производительных является MongoDB [4]. Спецификация GridFS позволяет хранить файлы размером более 16 МБ. MongoDB обеспечивает разделение данных, что позволяет поддерживать почти неограниченный репозиторий ресурсов.

2.2. Онтология. Наименее тривиальной задачей при проектировании хранилища данных ИС является организация хранения онтологий. Стандартными средствами в данной области являются хранилища триплетов, такие, как Jena Fuseki [5] и OpenLink Virtuoso [6] с работой через точку доступа и языком запросов SPARQL. Некоторые хранилища триплетов содержат встроенную машину логического вывода. Подобные решения обеспечивают сохранение онтологий в формате RDF-триплетов и доступ к ней посредством стандартных инструментов.

Тем не менее, во многих случаях хранилища триплетов не обладают производительностью, достаточной для обеспечения работы информационной системы в режиме реального времени и в условиях, когда требуется частое обновление данных. В большей степени это верно для SPARQL-точек доступа. Помимо производительности, существуют и другие недостатки, такие, как ограниченная поддержка транзакций, меньшие по сравнению с другими СУБД возможности масштабирования и т.д. По этой и другим причинам многие специалисты в области Semantic Web переходят на альтернативные способы хранения онтологий и связанных данных.

Одной из наиболее привлекательных альтернатив являются графовые базы данных, т.к. онтология хорошо представима в виде графа. Графовые БД обеспечивают высокую производительность и возможности для масштабирования.

При разработке ИС в рамках предлагаемого подхода мы использовали для хранения онтологий графовую базу данных Neo4j [7]. СУБД Neo4j представляет данные в виде помеченного гиперграфа (Labeled Property Graph, LPG), обладает хорошей производительностью, предоставляет удобный интерфейс администратора, простой и мощный язык запросов Cypher. На рис. 2 показаны результаты сравнения производительности хранилища триплетов Jena Fuseki 3.17.0 и СУБД Neo4j 4.2.5 на наиболее частых запросах. Время в миллисекундах.

- Взять дерево классов онтологии (на схеме обозначен как **GT**).
- Взять свойства заданного класса (**GCP**).
- Взять связи заданного класса (**GCR**).
- Взять экземпляры заданного класса (классов) (**GCI**).
- Взять N объектов со сдвигом M (**GNM**).
- Взять свойства заданного экземпляра (**GIP**).
- Поиск экземпляра по заданным значениям свойств (**SI**).

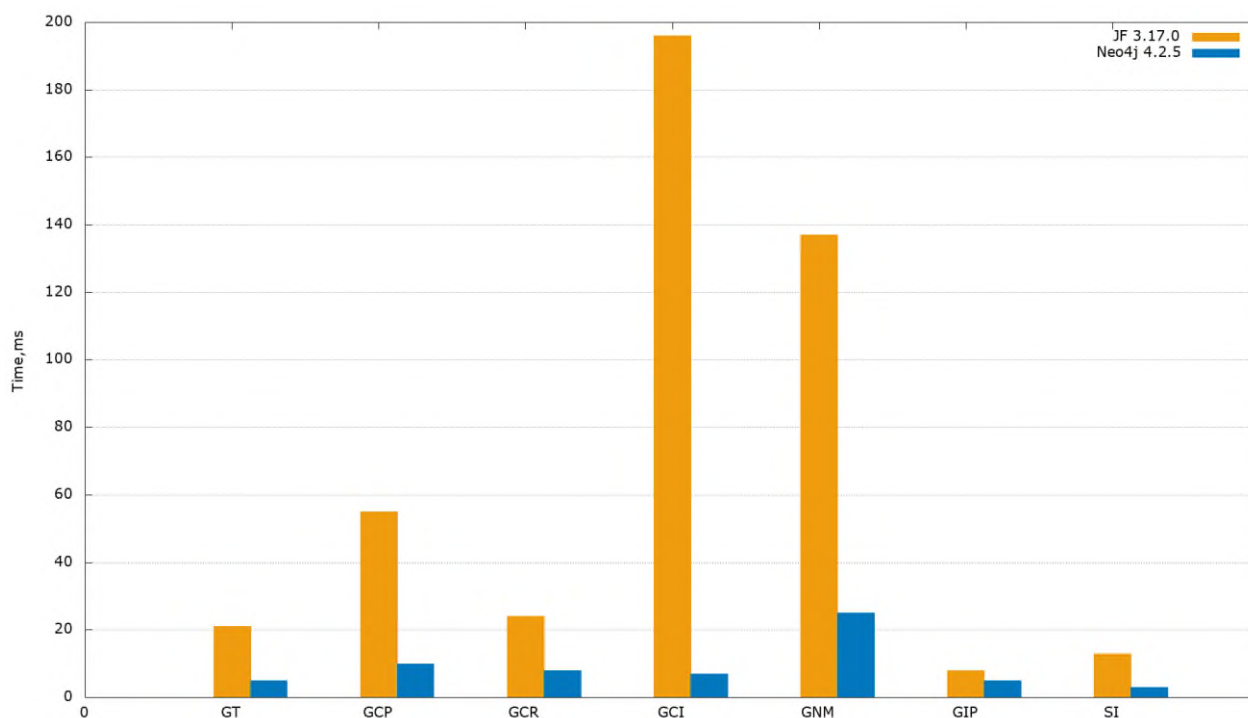


Рис. 2. Сравнительный анализ производительности хранилищ данных.

Сравнение проводилось на компьютере с 32 ГБ RAM и процессором Intel Core i7 на онтологии размером 63025 триплетов.

Из рис. 2 очевидно, что производительность графовой СУБД в большинстве случаев существенно выше, чем у хранилища триплетов. Помимо этого, для СУБД Neo4j имеется большое количество поддерживаемых сообществом драйверов для большинства самых распространенных языков программирования. Свободно распространяемая версия позволяет хранить граф размером до 34 миллиардов вершин. Имеется возможность распределенного хранения больших графов (data sharding). В настоящее время сообщество и разработчики Neo4j активно вовлечены в исследования в области Semantic Web, результатом которых стала разработка официально поддерживаемого плагина Neosemantic [8], предназначенного для работы с онтологиями и связанными данными. В Neo4j предусмотрена настройка SPARQL-точки доступа на основе графовой БД, таким образом, сохраняется возможность предоставления доступа к онтологиям в соответствии с принципами Linked Data.

3. Применение подхода при разработке информационных систем. Предлагаемый подход применяется при разработке информационной системы для поддержки исследований фольклора коренных народов Сибири и Дальнего Востока. В настоящее время в фольклористике существует социальный заказ на оцифровку и доступ в сети Интернет к накопленным материалам, которые хранятся в личных архивах исследователей или разрознены по труднодоступным малотиражным изданиям. В общемировой практике также наблюдается повышенный интерес к применению онтологий в гуманитарной области, в частности, в культурологии и фольклористике. Многие исследователи работают над тем, чтобы оцифровать и представить в общем доступе культурное наследие своего народа [9]. Архивы, музеи и библиотеки предоставляют свои данные в общий доступ, в том числе в виде RDF-триплетов [10].

Систематизация и интеграция фольклорных ресурсов в общее научное пространство – до сих пор нерешенная задача сибирской фольклористики. Создаваемая ИС предназначена для построения исследователями-фольклористами аннотированного корпуса фольклорных текстов с размеченными универсальными культурными константами (универсалиями). Здесь культурные универсалии понимаются в первую очередь как концепты, формирующие картину мира сибирских этносов [11].

Мета-онтология была разработана на основе CIDOC-CRM [12] – формальной модели, созданной для поддержки интеграции, стандартизации и обмена информацией в области культурного наследия. Данная модель является зарегистрированным стандартом ISO [13].

CIDOC-CRM спроектирована таким образом, что основными концептами являются события, связанные со временем действия и местами, в которых они произошли. При разработке мета-онтологии мы выражаем при помощи событий процессы сбора и подготовки фольклорных произведений. Событие представляется своими временем, местом действия, актором и результатом. Акторами являются персоны, задействованные в процессе подготовки материалов: собиратели, переводчики, люди, ответственные за расшифровки аудиозаписей и т.д. В процессе разработки мы добавили некоторые свойства, отсутствующие в оригинальной онтологии CIDOC-CRM для более естественного представления информации. Некоторые из этих свойств были импортированы из онтологий FOAF, DBpedia и GeoNames, остальные – это новые свойства, созданные для данной онтологии. На рис. 3 показан пример описания процесса подготовки фольклорного произведения в виде совокупности событий.

В будущем планируется создание на основе предложенного подхода платформы для разработки информационных исследовательских сред. Платформа будет предоставлять базис для разработки ИИС в виде хранилища данных, редактора предметных онтологий, инструментов разметки и базовых функций пользовательского интерфейса.

Благодарности. Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ и Правительства Новосибирской области в рамках Проекта № 20-412-540001.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Загорулько Ю.А., Загорулько Г.Б., Боровикова Ю.А. Технология создания тематических интеллектуальных научных интернет-ресурсов, базирующаяся на онтологии // Программная инженерия. 2016. Т. 7. № 2. С. 51-60. DOI: 10.17587/prin.7.51-60.
2. Online Visualization of Argument. Режим доступа: <http://ova.arg-tech.org/> (дата обращения: 01.12.2021).
3. Zagorulko Y., Garanina N., Sery A., Domanov O. Ontology-Based Approach to Organizing the Support for the Analysis of Argumentation in Popular Science Discourse. In: Kuznetsov S., Panov A. Artificial Intelligence. RCAI 2019. Communications in Computer and Information Science. Vol. 1093. Springer. Cham. Pp. 348-362.
4. MongoDB. Режим доступа: <https://www.mongodb.com/> (дата обращения: 01.12.2021).
5. Jena Fusek. Режим доступа: <https://jena.apache.org/documentation/fuseki2/index.html> (дата обращения: 01.12.2021).
6. OpenLink Virtuoso Homepage. Режим доступа: <https://virtuoso.openlinksw.com/> (дата обращения: 01.12.2021).
7. Neo4j Homepage. Режим доступа: <https://neo4j.com/> (дата обращения: 01.12.2021).
8. Neosemantics Homepage. Режим доступа: <https://neo4j.com/labs/neosemantics/> (дата обращения: 01.12.2021).
9. Hyvönen E., Mäkelä E., Kauppinen T. et al: CultureSampo – Finnish culture on the Semantic Web 2.0. Thematic perspectives for the end-user. In Proceedings, Museums and the Web. Pp. 15-18.
10. Marden J., Li-Madeo C., Whysel N., Edelstein J. Linked Open Data for Cultural Heritage: Evolution of Information Technology. In Proceedings of the 31st ACM international conference on Design of communication. Pp. 107-112.
11. Степанов Ю.С. Константы: Словарь русской культуры. Москва.: Издательство «Академический проект». 2001. 990 с.
12. CIDOC Conceptual Reference Model. Режим доступа: <http://www.cidoc-crm.org/> (дата обращения: 01.12.2021).
13. CIDOC-CRM ISO page. Режим доступа: <https://www.iso.org/standard/57832.html> (дата обращения: 01.12.2021).

UDC 004.822:004.89:398

AN APPROACH TO DEVELOPING AN INFORMATION RESEARCH ENVIRONMENT FOR ANALYSIS OF SCIENTIFIC INFORMATION RESOURCES AND CREATING ANNOTATED CORPORA

Alexey S. Sery

Junior Researcher, A.P. Ershov Institute of Informatics Systems of SB RAS

e-mail: alexey.seryj@iis.nsk.su

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

Anna A. Grinevich

Ph.D., Researcher, Institute of Philology of SB RAS

e-mail: anngrinevich@gmail.com

630090, Novosibirsk, Russia, Nikolaeva st. 8

Vladislav A. Lisin

Postgraduate, Novosibirsk State University

e-mail: vladlisin2@gmail.com

630090, Novosibirsk, Russia, Pirogova st., 1.

Abstract. The paper presents an approach to the development of a research environment, facilitating an integration of information resources dedicated to a certain scientific domain and supporting scientific research. The main feature of the approach is combining an ontology-based tools for presenting and annotating scientific information resources within a single information system. The development of the information system is aimed towards the joint work of researchers on the creating annotated corpora of resources. The paper provides an example of the proposed approach being put into practice when developing an information system.

Keywords: Semantic Web, ontology, information system, annotated corpora

Acknowledgements: The paper was prepared based on the results of a study conducted as part of the projects of the Russian Foundation for Basic Research No. 20-412-540001.

REFERENCES

1. Zagorulko Yu.A., Zagorulko G.B., Borovikova O.I. Tekhnologija sozdaniya tematicheskikh intellektual'nykh nauchnykh internet-resursov, bazirujushhajasja na ontologii [Technology for building subject-based intelligent scientific internet resources based on ontology] // Programnaja inzhenerija – Software Engineering. 2016. No. 2. Pp. 51-60. (in Russian). DOI: 10.17587/prin.7.51-60.
2. Online Visualization of Argument. Available at: <http://ova.arg-tech.org/> (accessed 01.12.2021).
3. Zagorulko Y., Garanina N., Sery A., Domanov O. Ontology-Based Approach to Organizing the Support for the Analysis of Argumentation in Popular Science Discourse. In: Kuznetsov S., Panov A. Artificial Intelligence. RCAI 2019. Communications in Computer and Information Science. Vol. 1093. Springer. Cham. Pp. 348-362.
4. MongoDB. Available at: <https://www.mongodb.com/> (accessed 01.12.2021).
5. Jena Fuseki. Available at: <https://jena.apache.org/documentation/fuseki2/index.html> (accessed 01.12.2021).
6. OpenLink Virtuoso Homepage. Available at: <https://virtuoso.openlinksw.com/> (accessed 01.12.2021).

7. Neo4j Homepage. Available at: <https://neo4j.com/> (accessed 01.12.2021).
8. Neosemantics Homepage. Available at: <https://neo4j.com/labs/neosemantics/> (accessed 01.12.2021).
9. Hyvönen E., Mäkelä E., Kauppinen T. et al: CultureSampo – Finnish culture on the Semantic Web 2.0. Thematic perspectives for the end-user. In Proceedings, Museums and the Web. Pp. 15-18.
10. Marden J., Li-Madeo C., Whysel N., Edelstein J. Linked Open Data for Cultural Heritage: Evolution of Information Technology. In Proceedings of the 31st ACM international conference on Design of communication. Pp. 107-112.
11. Stepanov Yu.S. Konstanty: Slovar' russkoj kul'tury [Constants: The dictionary of the Russian culture] Moskva : Akademicheskij proekt= Academic project. 2001. 990 p. (in Russian).
12. CIDOC Conceptual Reference Model. Available at: <http://www.cidoc-crm.org/> (accessed 01.12.2021).
13. CIDOC-CRM ISO page. Available at: <https://www.iso.org/standard/57832.html> (accessed 01.12.2021)

Статья поступила в редакцию 06.12.2021; одобрена после рецензирования 15.12.2021; принята к публикации 20.12.2021.

The article was submitted 06.12.2021; approved after reviewing 15.12.2021; accepted for publication 20.12.2021.

УДК 621.311.243

ОРГАНИЗАЦИЯ МОНИТОРИНГА ПАРАМЕТРОВ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО СТЕНДА СОЛНЕЧНЫХ ПАНЕЛЕЙ

Иванов Роман Андреевич

к.т.н., научный сотрудник, e-mail: crowndriver@gmail.com

Максаков Никита Владимирович

бакалавр, инженер-исследователь, e-mail: nikita.max@isem.irk.ru

Институт систем энергетики им. Л.А. Мелентьева СО РАН,
664130 г. Иркутск, ул. Лермонтова 130.

Аннотация. Актуальность разработки обусловлена необходимостью создания устройства для сбора и обработки информации с экспериментального стенда солнечных панелей. Назначением стенда является получение достоверных данных для верификации моделей оценки показателей ге-лиопотенциала, использующихся при обосновании эффективности применения солнечных электростанций на территории восточных регионов России. Дано описание основного и вспомогательного оборудования экспериментального стенда. Солнечные панели стенда разноориентированы для определения наиболее эффективного угла наклона и обоснования необходимости применения следящей за солнцем системы. Для снятия и записи мгновенной мощности солнечных панелей разработано устройство на основе микроконтроллера Arduino. Для мониторинга показаний силы тока используется шунтовый амперметр, подключаемый в разрыв цепи питания. Приведена схема счётчика тока и описана его работа. Приведены первичные результаты собранных данных. Намечены основные этапы дальнейшей обработки данных.

Ключевые слова: солнечные панели, arduino, шунтовый амперметр, трекинговые системы.

Цитирование: Иванов Р.А., Максаков Н.В. Организация мониторинга параметров экспериментального стенда солнечных панелей // Информационные и математические технологии в науке и управлении. 2021. № 4 (24). С. 77-87. DOI: 10.38028/ESI.2021.24.4.008.

Введение. Повсеместный интерес к системам альтернативного энергоснабжения и тенденции применения экологически чистых энергоисточников инициируют проведение различных научных исследований и экономических обоснований. Одними из основных причин являются целесообразность применения возобновляемых источников на определенной территории и обоснование состава оборудования. В связи с высокой стоимостью исходных компонентов исследователь не в состоянии установить и исследовать полноразмерные системы альтернативного энергоснабжения на своей территории, а развернутые системы принадлежат частным собственникам или очень удалены от места проведения исследований. Соответственно, нет возможности установить собственное контрольно-измерительное оборудование в развернутую систему. Компоновка таких систем, как правило, кардинально отличается и по установленной мощности, и по составу оборудования. Таким образом, сравнение параметров таких систем чаще всего затруднительно.

В данной статье речь пойдет о проблемах и задачах, связанных с размещением и выбором параметров солнечных электростанций. Одной из ключевых задач является оценка целесообразности применения систем слежения за солнцем (трекинговых систем) и их эффективности. Такие работы проводятся различными исследовательскими коллективами. Некоторые из них, например, [1-3], исследуют эффективность существующих систем слежения. Статьи [4-7] посвящены разработке собственных систем слежения и управления ими. Авторы работ [8, 9] детально освещают процесс разработки системы управления на основе микроконтроллера Arduino.

В связи тем, что существует большое количество готовых решений систем слежения за солнцем, авторами был выбран следующий подход: построить собственный

экспериментальный стенд на основе готовой трекинговой системы слежения за солнцем и разработать счетчик солнечной энергии для сравнения и обоснования ее эффективности.

Первоочередными задачами для данного стенда являются получение достоверной информации для оценки эффективности использования солнечных электростанций для различных регионов, обоснование оптимального угла наклона панелей и необходимости сооружения трекинговой системы.

1. Описание экспериментального стенда солнечных панелей. Экспериментальный стенд установлен в Институте систем энергетики им. Л.А. Мелентьева СО РАН. Стенд представляет собой три фотоэлектрических станции, панели которых закреплены на общей раме. Для установки панелей смонтирована специальная металлическая конструкция. Стенд установлен на крыше здания экспериментального корпуса и предназначен для проведения экспериментальных работ по мониторингу выходных показателей солнечных панелей, установленных с различной ориентацией.

Основное оборудование экспериментального стенда составляют три отдельных солнечных панели, каждая из которых закреплена различным способом:

- с фиксированным углом наклона по отношению к солнцу;
- с ручным изменением угла наклона (по вертикали);
- с системой слежения за солнцем в двух плоскостях.

Фиксированный угол наклона первой панели равен широте местности г. Иркутска – 52 градуса. Для второй панели установлен механизм изменения угла наклона вручную по сезонам года. Третья панель управляется для слежения за солнцем отдельным механизмом – двухосевым солнечным трекером. Общий вид основного и вспомогательного оборудования экспериментального стенда представлен на рис. 1 и 2.



Рис. 1. Общий вид основного оборудования экспериментального стенда.

Каждая панель снабжена вспомогательным оборудованием – гибридным инвертором (контроллером заряда и инвертором в одном корпусе) и массивом аккумуляторов.



Рис. 2. Общий вид вспомогательного оборудования экспериментального стенда.

Гибридный инвертор позволяет получать некоторые показатели, например, суммарную мощность за определенный период. Мгновенные показатели выводятся на экран. Все три используемых в стенде гибридных инверторов разных производителей, вследствие чего сравнение показателей нецелесообразно.

В настоящее время существует множество решений по мониторингу солнечных систем энергоснабжения. Большинство из них являются технологиями удалённого доступа. Предоставляемые производителями гибридные инверторы имеют ряд недостатков:

- отсутствие возможности записи данных с определенным интервалом;
- недостаточная документация для самостоятельного использования;
- высокая цена на оборудование.

Одним из наиболее удобных средств мониторинга является система Victron VRM. Она предназначена только для оборудования Victron Energy и является удалённой системой наблюдения. Данная система имеет удобный интерфейс и приложения для различных устройств, основным недостатком является несовместимость для инверторов сторонних производителей и высокая цена за подключение к одному инвертору (от 30 тыс. руб.) [10].

Система для мониторинга солнечных панелей РНА-М состоит из модуля управления и модуля сбора данных. Основными достоинствами этой системы являются: высокая температура работы, низкое энергопотребление, высокий уровень защиты от помех. Стоимость данной системы от 20 тыс. руб., но её рабочий диапазон напряжения составляет от 100 до 1500 вольт, вследствие чего эта система имеет смысл при использовании большого количества фотоэлектрических модулей, мониторинг производится не от каждой панели отдельно, а от суммы мощностей всех панелей [11].

Также существуют частные компании, которые устанавливают собственные солнечные электростанции, как правило, на дачных участках. Такие системы мониторинга имеют возможность оповещения о статусе работы системы и суммарных показателях мощности, их стоимость от 50 тыс. руб.

Имеются также и доступные системы для мониторинга с ценой от 5 тыс. руб., но с закрытым исходным кодом и для их установки требуются знания в программировании и радиотехнике. Базовый вариант рассчитан на 5 и более панелей. В этом случае имеется возможность бесплатной версии, но она ограничена лишь одной панелью и неполными показателями мощности.

Одним из таких способов является система на микроконтроллере Wemos D1 и открытого сервиса для онлайн мониторинга open-monitoring.online. Этот метод возможно реализовать только на оборудовании производства EPSolar с поддержкой протокола Modbus. Реализуется путём передачи данных с контроллеров заряда через интерфейс RJ-485 на Wemos D1 и на ПК, который, в свою очередь, передаёт данные на онлайн портал. Этот способ можно улучшить путём модернизации кода программы микроконтроллера для передачи данных без подключения к ПК. Из недостатков можно отметить ограниченный набор поддерживаемого оборудования и невозможность подключения нескольких контроллеров заряда [12].

Существует и более профессиональное решение мониторинга от российской компании ЗИТ, система мониторинга солнечных панелей «СМСП». Данная система также работает по протоколу Modbus, использует интерфейс RS-485 и производит вывод данных на экран. Сама система состоит из нескольких частей:

- материнская плата СМСП-18;
- СМСП-МТ для измерения тока;
- СМСП-МН для измерения напряжения;
- Система мониторинга и управления СМПУ (устанавливается опционально).

Компания ЗИТ работает индивидуально с каждым клиентом и самостоятельно устанавливает оборудование с нужными требованиями защиты [13].

Большинство описанных выше систем выдают лишь обобщенные показатели мощности и не сохраняют историю показаний. Практически все системы рассчитаны на массив панелей и соответственно довольно дорогостоящие. Кроме того, технологические особенности экспериментального стенда требуют развертки трех независимых систем мониторинга для каждой панели и покупка трех систем мониторинга нецелесообразна. Таким образом, для получения показателей с экспериментального стенда необходимо разработать собственное устройство, которое будет максимально удовлетворять текущим требованиям и иметь возможность доработки при изменении или дополнении требований.

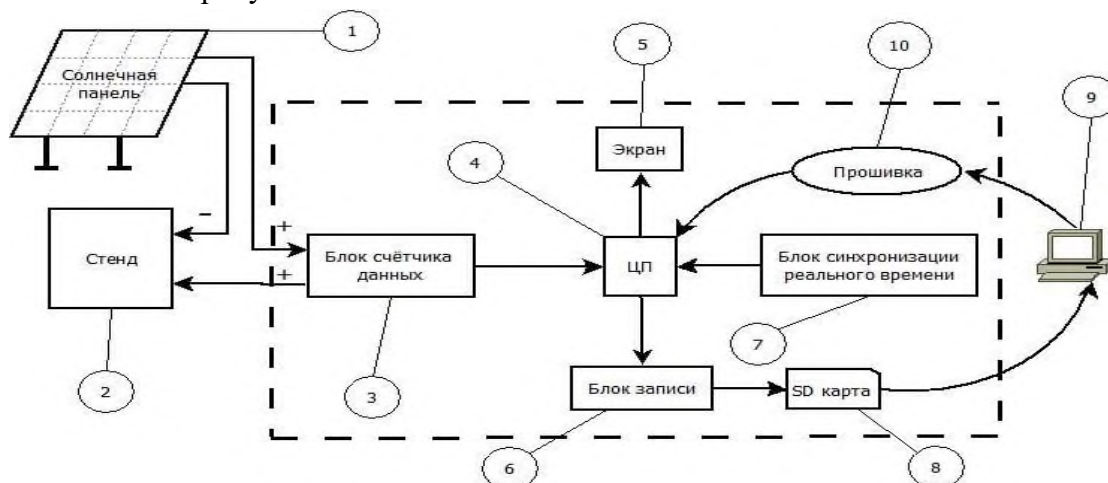
2. Разработка счетчика солнечной энергии. Для мониторинга мощности, выдаваемой солнечной панелью, необходимо получение мгновенного тока и напряжения в реальном времени. Проводить мониторинг этих показаний необходимо тремя одинаковыми устройствами для каждой отдельной панели с разной частотой в течение дня и записывать в массив данных. Существуют шунтовые ваттметры, которые способны показывать ток, напряжение и мощность в реальном времени. Однако на них невозможно настроить частоту съема данных и запись значений в память для дальнейшего анализа. Кроме того, в этих приборах нет возможности проведения калибровки трех разных устройств, чтобы иметь возможность достоверного сравнения данных с трех разных источников. Для решения данной проблемы был разработан счетчик на основе микроконтроллера Arduino и шунтового амперметра, представленный на рисунке 3. Микроконтроллер Arduino выполняет роль центрального процессора для исполнения инструкций, заданных прошивкой. Шунтовый амперметр представляет собой устройство, которое преобразовывает данные о силе тока, поступающей с солнечных панелей. Мощность вычисляется из полученных параметров средствами микроконтроллера. Авторское устройство дает возможность настроить частоту съема данных и сохранить данные с датчиков в виде файла, удобного для дальнейшей обработки.

Экран для вывода мгновенных данных в реальном времени является не обязательным компонентом, но важен при отладке счётчика для сравнения показаний.



Рис. 3. Счетчик на основе микроконтроллера Arduino и шунтового амперметра.

Данное устройство съема и записи данных подключается в разрыв цепи питания и имеет несколько блоков, которые управляются микроконтроллером. Структурная схема устройства показана на рисунке 4.



1 – солнечная панель; 2 – вспомогательное оборудование: контроллеры заряда, аккумуляторные батареи и инверторы тока; 3 – шунтовый амперметр; 4 – микроконтроллер Arduino; 5 – LCD экран для вывода мгновенных данных в реальном времени; 6 – устройство, записывающее данные со счетчика; 7 – Кварцевые часы реального времени; 8 – карта памяти для хранения данных; 9 – компьютер; 10 – программные инструкции для ЦП.

Рис. 4. Структурная схема устройства для сбора данных.

Запись данных, снятых со счётчика, выполняется на SD-карту в два файла. В первом файле записываются мгновенные показания раз в минуту, во второй – среднее значения датчиков за эту же минуту. В оба файла записывается время каждого измерения. SD-карта в настоящее время используется для записи архива измерений и переноса его на ПК для последующей обработки.

Кварцевые часы реального времени записывают дату и время снятия данных. Часы имеют встроенный элемент питания, благодаря чему сохраняют значения при отключении питания. На компьютере происходят написание прошивки и обработка полученных данных.

В качестве датчика тока используется шунтовый амперметр ACS712 (рис. 5). Датчик построен на основе эффекта Холла [14, 15]. Датчик тока преобразует полученное значение в цифровой сигнал от 0 до 1023. Это значение переводится в силу тока с помощью библиотеки «ACS712-arduino-1-master», которая находится в свободном доступе. Для пересчёта аналого-

вого сигнала в цифровой находится нулевое значение каждого датчика и добавочный коэффициент, в зависимости от типа датчика [14].



Рис. 5. Датчик тока ACS712.

Стоит отметить, что есть несколько типов датчиков ACS712, и они отличаются своей чувствительностью и максимально измеряемым током, что сказывается на точности измерений. В разработанном счетчике используется датчик типа ACS712-30A, он рассчитан на высокие токи, при этом у него самая низкая точность. Этот нюанс компенсирован программным кодом, в котором значения датчика переводятся как для ACS712-20A.

Вольтметр выполнен на основе делителя напряжения путём добавления двух резисторов и программного пересчёта полученных значений аналогового сигнала.

3. Результаты тестовой версии счётчика. В режиме разработанный счётчик работал непрерывно на протяжении нескольких недель и собрал данные с двух разноориентированных панелей. Первая панель установлена под углом широты местности в 52° северной широты, вторая панель установлена горизонтально для верификации теоретической модели прихода солнечной радиации.

Получаемые данные записываются в два файла формата TXT (рис. 6) и легко преобразовываются в формат Excel. Внешний вид записи может быть изменён в программном коде.

AMP_VOLT - Блокнот										AVG - Блокнот									
Файл	Правка	Формат	Вид	Справка						Файл	Правка	Формат	Вид	Справка					
A1=	2.74	A2=	1.11	Volt1=	36.47	Volt2=	37.92	14:14:17	12.04.2021	<A1>=	2.59	<A2>=	1.14	<Volt1>=	36.06	<Volt2>=	37.36	14:14:17	12.04.2021
A1=	2.59	A2=	1.18	Volt1=	36.31	Volt2=	37.76	14:15:19	12.04.2021	<A1>=	2.59	<A2>=	1.15	<Volt1>=	35.82	<Volt2>=	37.18	14:15:19	12.04.2021
A1=	2.67	A2=	1.11	Volt1=	36.15	Volt2=	37.60	14:16:21	12.04.2021	<A1>=	2.60	<A2>=	1.16	<Volt1>=	35.59	<Volt2>=	37.02	14:16:21	12.04.2021
A1=	2.37	A2=	1.04	Volt1=	34.48	Volt2=	36.52	14:17:23	12.04.2021	<A1>=	2.60	<A2>=	1.16	<Volt1>=	35.19	<Volt2>=	36.78	14:17:23	12.04.2021
A1=	3.04	A2=	1.26	Volt1=	29.54	Volt2=	35.93	14:18:25	12.04.2021	<A1>=	2.85	<A2>=	1.20	<Volt1>=	30.93	<Volt2>=	35.35	14:18:25	12.04.2021
A1=	2.74	A2=	1.18	Volt1=	31.10	Volt2=	36.04	14:19:27	12.04.2021	<A1>=	2.79	<A2>=	1.22	<Volt1>=	30.16	<Volt2>=	35.36	14:19:27	12.04.2021
A1=	2.89	A2=	1.26	Volt1=	30.88	Volt2=	36.20	14:20:29	12.04.2021	<A1>=	2.74	<A2>=	1.25	<Volt1>=	30.50	<Volt2>=	35.50	14:20:29	12.04.2021
A1=	2.74	A2=	1.33	Volt1=	32.66	Volt2=	36.47	14:21:31	12.04.2021	<A1>=	2.79	<A2>=	1.24	<Volt1>=	30.94	<Volt2>=	35.73	14:21:31	12.04.2021
A1=	2.67	A2=	1.26	Volt1=	34.11	Volt2=	36.85	14:22:33	12.04.2021	<A1>=	2.70	<A2>=	1.23	<Volt1>=	32.55	<Volt2>=	36.01	14:22:33	12.04.2021
A1=	3.11	A2=	1.56	Volt1=	36.74	Volt2=	37.92	14:23:35	12.04.2021	<A1>=	2.60	<A2>=	1.20	<Volt1>=	34.99	<Volt2>=	36.78	14:23:35	12.04.2021
A1=	2.59	A2=	1.18	Volt1=	34.32	Volt2=	37.01	14:24:38	12.04.2021	<A1>=	2.57	<A2>=	1.13	<Volt1>=	34.26	<Volt2>=	36.59	14:24:38	12.04.2021

Рис. 6. Пример записанных данных.

Время записи каждый раз смещается примерно на 2 секунды, это связано с тем, что при каждой записи контроллер должен проверить наличие SD карты. Если убрать проверку карты, то при каждом извлечении карты устройство нужно будет перезапускать.

Полученные данные с наклонной панели с 12 по 16 апреля 2012 г. представлены на рисунках 7, 8 и содержат 5000 записей, черная линия отображает значение усредненных данных за те же промежутки времени.

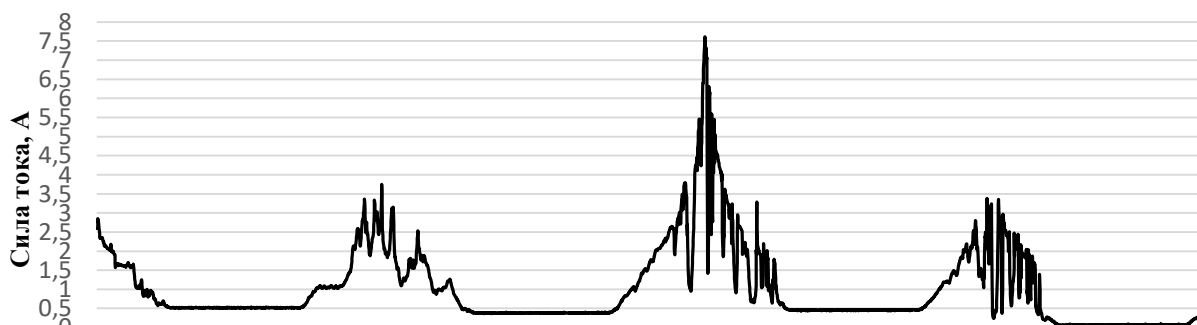


Рис. 7. Показания силы тока с наклонно установленной панели.

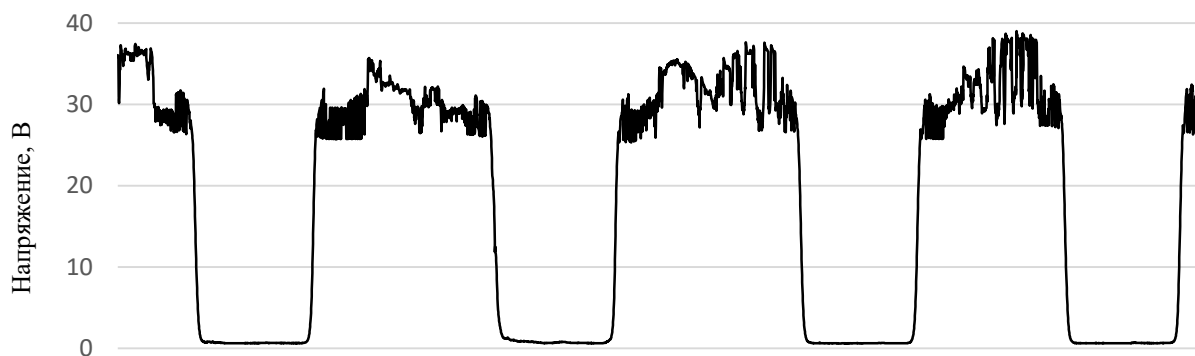


Рис. 8. Показания напряжения с наклонно установленной панели.

Полученные данные с горизонтально установленной панели за тот же период времени представлены на рисунках 9, 10.

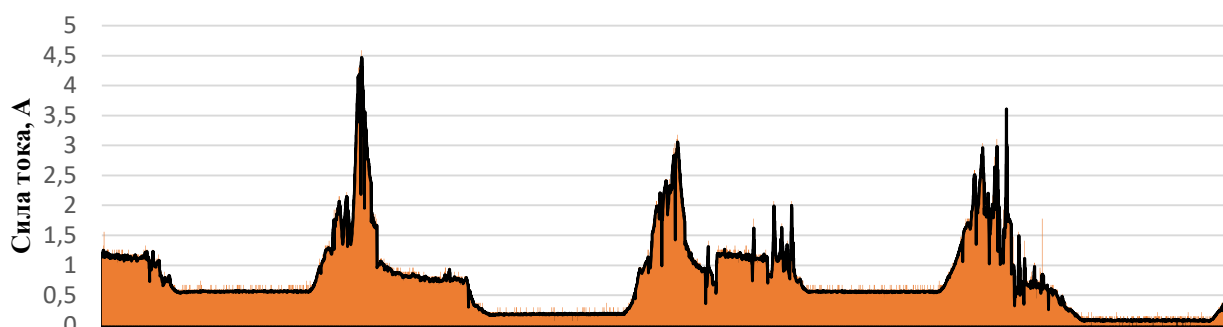


Рис. 9. Показания силы тока с горизонтально установленной панели.

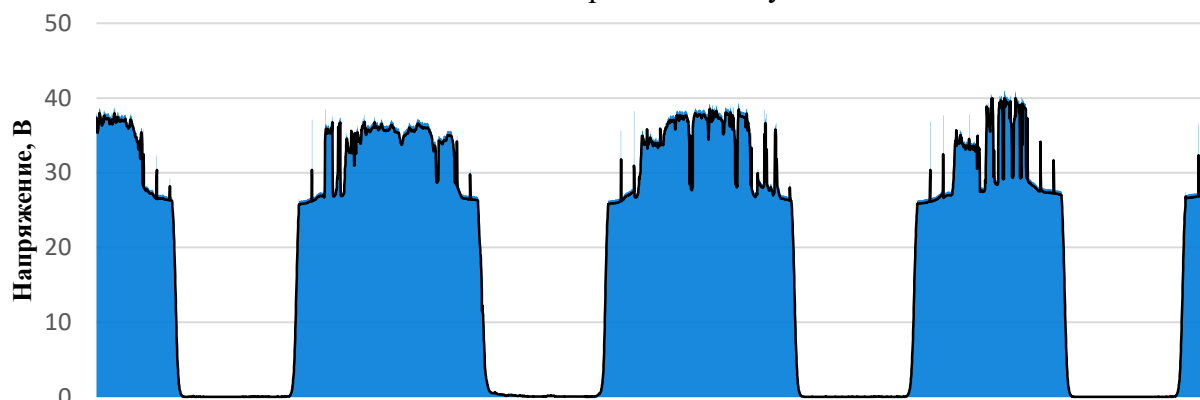


Рис. 10. Показания напряжения с горизонтально установленной панели.

Результаты оценок мощности и энергии приведены на рисунках 11, 12. Расчет энергии производился только в полностью зафиксированные дни с 7:00 до 19:00 часов.

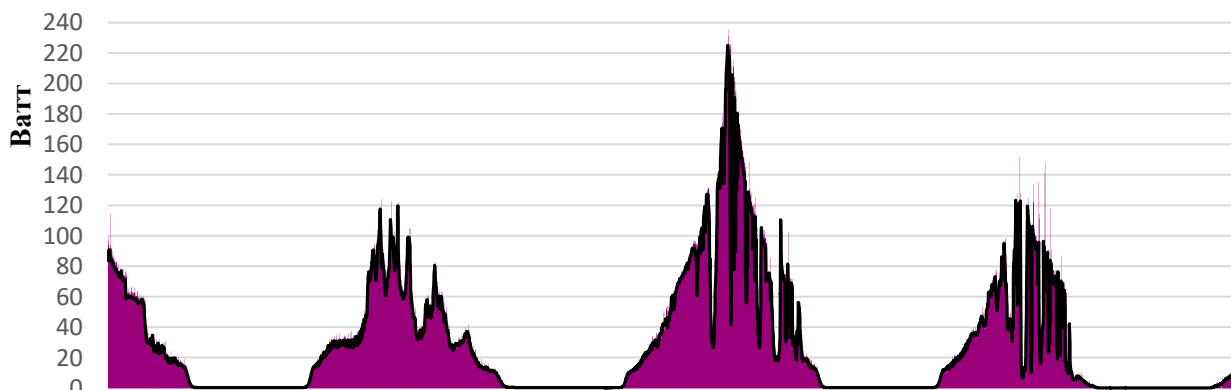


Рис. 11. Мощность наклонно установленной панели.

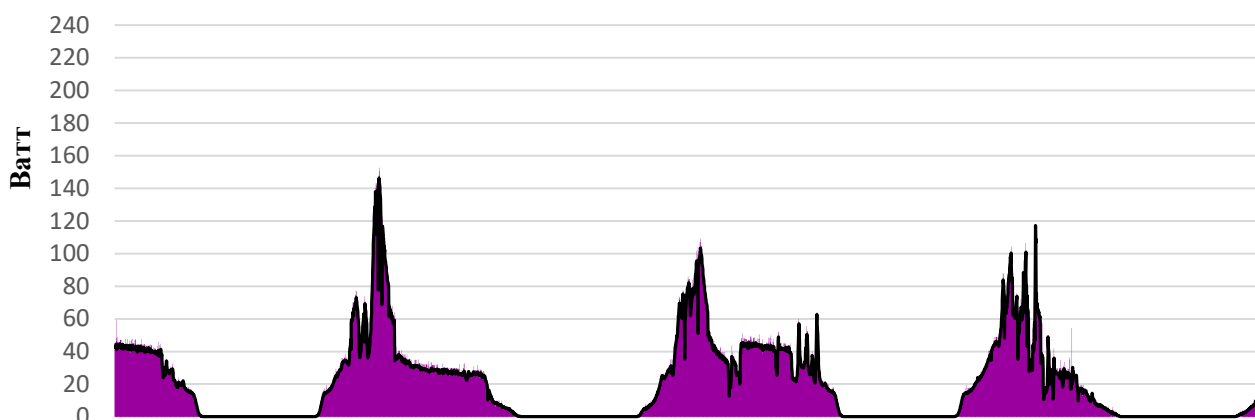


Рис. 12. Мощность горизонтально установленной панели.

Имеющиеся скачки в графиках могут быть вызваны несколькими факторами: дрейзг установленных датчиков; кратковременное отключение контактов, т.к. на данном этапе счётчик установлен в тестовом режиме; изменение погодных условий. По полученным оценкам можно сделать вывод, что мгновенная мощность панели, установленной под углом 52° , выше, чем у горизонтально закреплённой панели. Однако глобальные выводы делать пока рано, необходимо накопить архив измерений за длительный период времени, например, сезон или целый год. С 1 сентября 2021 г. счётчик работает в «боевом» режиме и собирает информацию с трех панелей.

Заключение. Для мониторинга данных с солнечных панелей экспериментального стенда в реальном времени разработано авторское устройство, которое позволяет сохранять информацию с датчиков в виде файла, удобного для дальнейшей обработки. В ближайшее время планируется установка дополнительного датчика в непосредственной близости к панелям для обнаружения возможных потерь энергии. В перспективе планируется добавление учёта погодных условий с помощью архива погоды метеостанций или добавлением дополнительных датчиков (освещённости, влажности, температуры).

Также наряду с записью на карту памяти для обеспечения автономности сбора показателей и хранения архива измерений будет реализована передача и синхронизация данных с сервером по Wi-Fi несколько раз в день. Такая возможность необходима для снижения нагрузки на сеть при мониторинге большого числа сигналов или снятия показаний с изолированных источников. Разработанное авторами устройство может быть использовано для мониторинга любого параметра или сигнала, для которого есть модуль расширения для микроконтроллера Arduino.

Делать выводы о эффективности и целесообразности систем слежения за солнцем пока рано. Необходимо получить данные за достаточно долгосрочный период времени (например, квартал или год).

Благодарности. Работа выполнена в рамках проекта государственного задания FWEU-2021-0004 программы фундаментальных исследований РФ (рег. №АААА-А21-121012090010-7).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Аржанов К.В. Фотоэлектрическая энергетическая установка с наведением на Солнце // Энергетика России в XXI веке. Инновационное развитие и управление. 2015. С. 579-581.
2. Юрченко А.В. Система слежения за Солнцем для солнечной энергоустановки // Ресурсоэффективные технологии для будущих поколений. 2010. С. 210-221.

3. Azizi K., Ghaffari A. Design and Manufacturing of a High-Precision Sun Tracking System Based on Image Processing // International Journal of Photoenergy. 2013. Vol. 2013. Article ID 754549. 7 p.
4. Ozcelik S., Prakash H., Chaloo R. Two-axis solar tracker analysis and control for maximum power generation // Procedia Computer Science. 2011. Vol. 6. Pp. 457-462.
5. Митрофанов С.В., Немальцев А.Ю., Байкасенов Д.К. Первичная апробация автоматизированного двухкоординатного солнечного трекера в климатических условиях Оренбургской области как перспектива создания программно-аппаратного комплекса // Международный научный журнал «Альтернативная энергетика и экология» (ISJAEE). 2018 (07-09). С.43-54.
6. Wang J.-M. Design and Implementation of a Sun Tracker with a Dual-Axis Single Motor for an Optical Sensor-Based Photovoltaic System // Sensors. 2013. Vol. 13. Iss. 3. Pp. 3157-3168.
7. Magibalan S. Fabrication of dual axis solar tracking system // International Journal of Emerging Technologies and Innovative Research. 2018. Vol. 5. Iss. 3. Pp. 1109-1113.
8. Abid A.J. Arduino based blind solar tracking controller // International Journal of Open Information Technologies. 2017. Vol. 5. No. 10. Pp. 24-29.
9. Kassem A., Hammad M. A Microcontroller-Based Multi-Function Solar Tracking System // 2011 IEEE International Systems Conference. 2011. Pp. 13-16.
10. Удаленный мониторинг солнечных электростанций и ИБП Victron. Режим доступа: <https://www.solnechnye.ru/news/victron-remote-monitoring.htm>. (дата обращения: 20.11.2021).
11. РНА-М – Система для мониторинга солнечных панелей. Режим доступа: <https://www.energometrika.ru/catalog/rna-m-sistema-dlya-monitoringa-solnechnykh-paneley.html>. (дата обращения: 20.11.2021).
12. Дистанционный мониторинг и визуализация данных солнечных контроллеров EPSolar A, LS-B Series. Режим доступа: <https://nsk-electro.ru/blog-news/epsolar-controller-monitoring> (дата обращения: 20.11.2021).
13. Система мониторинга солнечных панелей ЗИТ. Режим доступа: http://zit21.ru/products/alternativnaya_energetika/sistema_monitoringa_solnechnyh-panelej.html (дата обращения: 20.11.2021).
14. A brief overview of Allegro ACS712 current sensor. Режим доступа: <https://www.radiolocman.com/shem/schematics.html?di=113339> (дата обращения: 20.11.2021).
15. Electronic Components Datasheet Search. Режим доступа: <https://www.alldatasheet.com/> (дата обращения: 20.11.2021).

PARAMETERS MONITORING ORGANIZATION OF THE SOLAR PANELS EXPERIMENTAL STAND

Roman A. Ivanov

Candidate of engineering sciences, research officer,

e-mail: crowndriver@gmail.com

Nikita V. Maksakov

Bachelor, research engineer,

e-mail: nikita.max@isem.irk.ru

Melentiev Energy Systems Institute SB RAS,
664033 Irkutsk, Lermontov Street, 130.

Abstract. The relevance of the presented development is due to the need to create a device to read and process information from an experimental array of solar panels. The purpose of the array is to obtain reliable data for the verification of models for estimating photovoltaic power potential indicators used in justifying the feasibility of the adoption of solar power plants in the eastern regions of Russia. We present a description of the main and auxiliary equipment of the experimental array. The array's solar panels are arranged in different ways so as to determine the most efficient tilt angle and justify the need to use a sun tracking system. The proprietary device based on the Arduino microcontroller was designed to read and write the value of instantaneous power of solar panels. To monitor the readings of the amperage, a shunt ammeter is used, which is connected to the gap of the power circuit. The study provides a diagram of the current meter and describe its operation. We outlined the main stages of subsequent data processing.

Keywords: solar panels, arduino, shunt ammeter, solar tracking system.

Acknowledgments: The work was carried out within the framework of the state assignment project FWEU-2021-0004 of the program of fundamental research of the Russian Federation (registration No. AAAA-A21-121012090010-7).

REFERENCES

1. Arzhanov K.V. Fotoelektricheskaya energeticheskaya ustanovka s navedeniyem na Solntse [Photovoltaic power plant with guidance on the Sun] // Energetika Rossii v XXI veke. Innovatsionnoye razvitiye i upravleniye = Energy of Russia in the XXI century. Innovative development and management. 2015. Pp. 579-581. (in Russian).
2. Yurchenko A.V. Sistema slezheniya za Solntsem dlya solnechnoy energoustanovki [System for tracking the sun for a solar power plant] // Resursoeffektivnyye tekhnologii dlya budushchikh pokoleniy = Resource-efficient technologies for future generations. 2010. Pp. 210-221. (in Russian).
3. Azizi K., Ghaffari A. Design and Manufacturing of a High-Precision Sun Tracking System Based on Image Processing // International Journal of Photoenergy. 2013. Vol. 2013. Article ID 754549. 7p.
4. Ozcelik S., Prakash H., Chaloo R. Two-axis solar tracker analysis and control for maximum power generation // Procedia Computer Science. 2011. Vol. 6. Pp. 457-462.
5. Mitrofanov S.V., Nemal'tsev A.Yu., Baykasenov D.K. Pervichnaya aprobatsiya avtomatizirovannogo dvukhkoordinatnogo solnechnogo trekera v klimaticheskikh usloviyakh Orenburgskoy oblasti kak perspektiva sozdaniya programmno-apparatnogo kompleksa [Primary approbation of an automated two-coordinate solar tracker in the climatic conditions of the Orenburg region as a prospect for creating a software and hardware complex] // Mezhdunarodnyy nauchnyy zhurnal "Al'ternativnaya energetika i

- ekologiya" (ISJAEE) = International scientific journal "Alternative energy and ecology" (ISJAEE). 2018 (07-09). Pp. 43-54. (in Russian).
6. Wang J.-M. Design and Implementation of a Sun Tracker with a Dual-Axis Single Motor for an Optical Sensor-Based Photovoltaic System // *Sensors*. 2013. Vol. 13. Iss. 3. Pp. 3157-3168.
 7. Magibalan S. Fabrication of dual axis solar tracking system // *International Journal of Emerging Technologies and Innovative Research*. 2018. Vol. 5. Iss. 3. Pp. 1109-1113.
 8. Abid A.J. Arduino based blind solar tracking controller // *International Journal of Open Information Technologies*. 2017. Vol. 5. No. 10. Pp. 24-29.
 9. Kassem A., Hammad M. A microcontroller-Based Multi-Function Solar Tracking System // *2011 IEEE International Systems Conference*. 2011. Pp. 13-16.
 10. Udalennyy monitoring solnechnykh elektrostantsiy i IBP Victron [Remote monitoring of solar power plants and Victron UPS]. Available at: <https://www.solnechnye.ru/news/victron-remote-monitoring.htm> (accessed 20.11.2021) (in Russian).
 11. PHA-M – Sistema dlya monitoringa solnechnykh paneley [PHA-M - System for monitoring solar panels]. Available at: <https://www.energometrika.ru/catalog/rna-m-sistema-dlya-monitoringa-solnechnykh-paneley.html> (accessed 20.11.2021) (in Russian).
 12. Distantionnyy monitoring i vizualizatsiya dannykh solnechnykh kontrollerov EPSolar A, LS-B Series [Remote monitoring and data visualization of EPSolar A, LS-B Series solar controllers]. Available at: <https://nsk-electro.ru/blog-news/epsolar-controller-monitoring> (accessed 20.11.2021) (in Russian).
 13. Distantionnyy monitoring i vizualizatsiya dannykh solnechnykh kontrollerov EPSolar A, LS-B Series [Remote monitoring and data visualization of EPSolar A, LS-B Series solar controllers]. Available at: <https://nsk-electro.ru/blog-news/epsolar-controller-monitoring> (accessed 20.11.2021) (in Russian).
 14. A brief overview of Allegro ACS712 current sensor. Available at: <https://www.radiolocman.com/shem/schematics.html?di=113339> (accessed 20.11.2021).
 15. Electronic Components Datasheet Search. Available at: <https://www.alldatasheet.com/> (accessed 20.11.2021).

Статья поступила в редакцию 06.12.2021; одобрена после рецензирования 15.12.2021; принята к публикации 20.12.2021.

The article was submitted 06.12.2021; approved after reviewing 15.12.2021; accepted for publication 20.12.2021.

АДАПТАЦИЯ МЕТОДИКИ РЕИНЖИНИРИНГА УНАСЛЕДОВАННЫХ ПРОГРАММНЫХ СИСТЕМ

Массель Алексей Геннадьевич

к.т.н., с.н.с. отдела «Системы искусственного интеллекта в энергетике»

e-mail: amassel@isem.irk.ru

Мамедов Тимур Габирович

аспирант отдела «Системы искусственного интеллекта в энергетике»

e-mail: mamedowtymur@yandex.ru

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

664033 г. Иркутск, ул. Лермонтова 130.

Аннотация. В статье рассматривается адаптация методики реинжиниринга унаследованных систем. Приводится обзор подходов к реинжинирингу. Несмотря на то, что термин «реинжиниринг» в первую очередь относится к изменению бизнес процессов, он удачно подходит и к модернизации программного обеспечения. Обосновывается необходимость адаптации методики. В статье описывается применение адаптированной методики на примере реинжиниринга программного комплекса для прогнозных исследований ТЭК. Приведен исторический обзор версий ПК «ИНТЭК» и описаны поэтапно все шаги проведения его реинжиниринга на основе агентно-сервисного подхода.

Ключевые слова: реинжиниринг, унаследованные системы, прогнозные исследования ТЭК, агентно-сервисный подход.

Цитирование: Массель А.Г., Мамедов Т.Г. Адаптация методики реинжиниринга унаследованных программных систем // Информационные и математические технологии в науке и управлении. 2021. № 4 (24). С. 88-99. DOI: 10.38028/ESI.2021.24.4.009.

Введение. В ИСЭМ СО РАН активно занимаются прогнозными исследованиями топливно-энергетического комплекса с учетом требований энергетической безопасности. Для этих исследований в свое время был разработан ПК «ИНТЭК», который в настоящее время перешел в категорию унаследованных программ. Выполнен его реинжиниринг, результатом которого стала новая версия ПК «ИНТЭК-А».

В ходе выполнения проектирования и реинжиниринга возникла необходимость, чтобы новый программный комплекс удовлетворял следующим требованиям. Во-первых, необходимо было сделать ПК легко расширяемым, для чего была выбрана многоагентная архитектура. В результате разработан ПК «ИНТЭК-А», который в дальнейшем планируется развить до интеллектуального многоагентного программного комплекса (ИМПК) для поддержки принятия решений в прогнозных исследованиях ТЭК. В основе этого комплекса будут интеллектуальные агенты, в частности, агенты по работе с семантическими моделями, и агенты, поддерживающие методы машинного обучения.

Для разработки ПК ИНТЭК-А использована авторская методика для реинжиниринга унаследованных систем, в статье рассматривается ее разработка на основе адаптации методики, описанной в [1].

К унаследованным системам (legacy systems) относят такие системы, которые по тем или иным причинам перестают удовлетворять изменившимся потребностям применений, но, тем не менее, продолжают использоваться ввиду больших затруднений, возникающих при попытке их замены [2].

Многие программные системы были созданы с расчетом на системную среду, которая со временем изменилась, и эти программные системы устарели. Другие программные

системы претерпели такие изменения в процессе поддержки, что их дальнейшее развитие стало невозможным из-за чрезвычайно сложной и запутанной архитектуры. Третьи программные системы изначально создавались без учета тенденций развития информационных технологий и к моменту своего появления уже содержали устаревшие решения. Подобные программные системы называют «унаследованными программными системами» или просто «унаследованными системами».

В [3, 4] дано описание унаследованных систем через свойства, им присущие. Унаследованными системами могут быть:

- компьютерные системы, которые по тем или иным причинам перестали устраивать пользователей;
- совокупность аппаратного и программного обеспечения, которое успешно выполняло возложенные на него задачи до тех пор, пока не пришла пора заменить его новыми средствами;
- любая морально устаревшая система;
- все вышеперечисленное в совокупности.

Устаревшая система считается потенциально проблематичной по следующим причинам:

- устаревшая система обычно работает на устаревшем оборудовании, и техническое обслуживание технической части такого оборудования со временем будет становиться все более и более сложным;
- устаревшие системы трудно поддерживать;
- совершенствование и расширение системы, а также исправление ошибок часто невозможно из-за непонимания разработчиками внутренней структуры системы и отсутствия по многим причинам (например, уход из организации) непосредственных разработчиков этой системы; такое недоразумение может быть вызвано недостаточной документацией устаревшей системы или полной потерей документации для системы;
- интеграция устаревшей системы с новыми системами также может быть затруднена или невозможна из-за различий в используемых базовых технологиях.

Несмотря на эти проблемы, у организаций могут быть веские причины продолжать использовать унаследованные системы, например:

- система постоянно используется в работе и не может быть исключена из работы для перепроектирования, а цена создания новой системы со схожей функциональностью и надежностью очень высока;
- принципы работы системы не до конца понятны, такая ситуация может возникнуть, если разработчики системы покинули организацию, а система не была полностью документирована либо документация была с течением времени утеряна.

1. Адаптированная методика реинжиниринга.

Реинжиниринг программных систем тесно связан с реинжинирингом процессов. Основоположники реинжиниринга бизнес-процессов Майкл Хаммер и Джеймс Чампи [5] дают следующее определение:

Реинжиниринг – это фундаментальное переосмысление и радикальное перепроектирование бизнес-процессов для достижения, существенных улучшений в ключевых для современного бизнеса показателей результативности.

В настоящее время это определение раскрывается следующим образом: реинжиниринг бизнес-процессов означает преобразование бизнес-процессов для снижения количества излишних видов деятельности и повышения эффективности делового процесса

или, другими словами, фундаментальное переосмысление и радикальное перепроектирование бизнес-процессов предприятия для достижения максимального эффекта производственно-хозяйственной и финансово-экономической деятельности, оформленное соответствующими организационно-распорядительными и нормативными документами.

Обычно реинжиниринг бизнес-процессов предполагает внедрение новых программ для поддержки деловых процессов или модификацию существующих программ, при этом наследуемые системы существенно зависят делового процесса.

Реинжиниринг унаследованной системы – это фундаментальное переосмысление и радикальное перепроектирование системы с целью снижения излишней функциональности, понижения стоимости ее сопровождения и вероятности возникновения значимых для заказчика рисков, уменьшения сроков работ по сопровождению системы.

Если разложить процесс реинжиниринга на составляющие, то он будет включать в себя: текущее состояние, требуемое состояние, а также, процесс перехода от первого к второму.

Существует два вида реинжиниринга бизнес-процессов – прямой и обратный реинжиниринг.

Обратный реинжиниринг – в данном процессе проводится комплексный анализ компании как единой системы управления, включая диагностику существующих бизнес-процессов. Его целью является подготовка исходных данных для создания новой конкурентной стратегии предприятия, в том числе выполняется формирование новой структуры основных бизнес-процессов предприятия.

Прямой реинжиниринг – в ходе данного процесса осуществляется проектирование новой конкурентной стратегии предприятия, основанной на инновационных процессах. При этом проектируется структура основных бизнес-процессов предприятия, разрабатываются механизмы финансирования.

Вопрос о реинжиниринге программного обеспечения (ПО) возникает, когда используемая программная система перестает удовлетворять современным требованиям пользователей. На первом этапе нужно определить современные системные требования, для этого нужно определить и формализовать цели, направление реинжиниринга и требования пользователей. На втором этапе требуется провести инвентаризацию и анализ существующей(их) систем(ы). Для этого необходимо изучить архитектуру программы и технологии, которые были использованы для разработки, ее функциональные и нефункциональные требования и особенности пользовательского интерфейса.

Если существующая версия системы не удовлетворяет современным требованиям, тогда встает вопрос выбора между прямым и обратным реинжинирингом.

В случаях, когда: в системе высокий процент морально устаревших компонентов и требуется много новых интеграций; замена компонента на новый невозможна из-за конфликта интеграции старой и новой технологии; пользовательский интерфейс абсолютно не отвечает новым требованиям и тесно переплетен с функциональным кодом, отдается предпочтение прямому реинжинирингу. В других случаях стоит попробовать выполнить обратный реинжиниринг.

В связи с вышеизложенным была предложена адаптация методики реинжиниринга, алгоритм которой приведен на рис. 1.



Рис. 1. Алгоритм адаптированной методики реинжиниринга.

Адаптированная методика реинжиниринга включает следующие этапы:

1. Определение цели и направления реинжиниринга и активов унаследованной системы.
2. Определение современных требований к ПК.
3. Инвентаризация и анализ унаследованного ПО.

4. Определение типа реинжиниринга.
5. Разработка нового ПК.
6. Внедрение нового ПК.

2. Пример применения адаптированной методики реинжиниринга.

В первую очередь, прежде чем приступить к первой фазе реинжиниринга, требуется исследовать предметную область и спектр задач, для которых была разработана унаследованная система.

В Институте систем энергетики им. Л.А. Мелентьева СО РАН ведутся комплексные исследования, важную роль в которых играют исследования направлений развития ТЭК с учетом требований энергетической безопасности. Общая схема исследований представлена на рисунке 2.

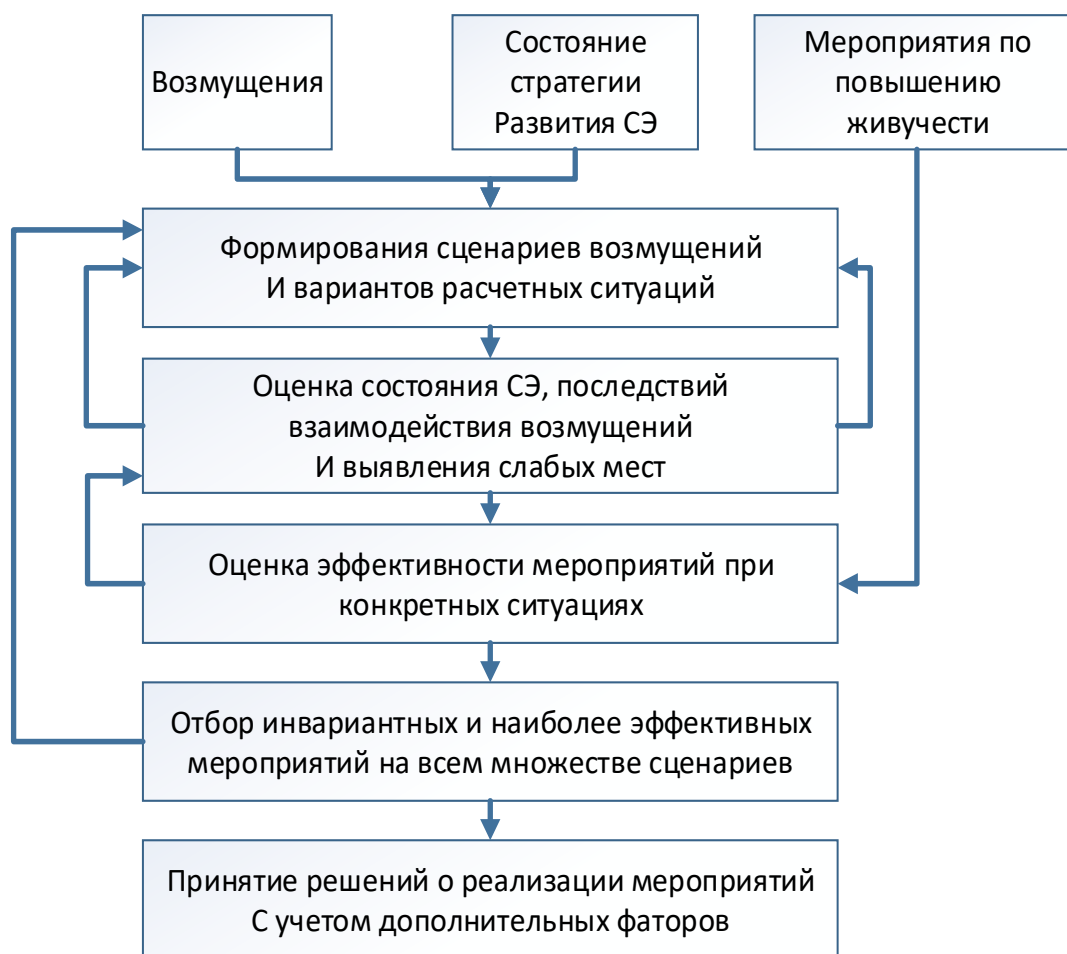


Рис. 2. Взаимосвязь основных задач в исследованиях направлений развития ТЭК с учетом требований энергетической безопасности.

Для этих исследований в ИСЭМ СО РАН разработана и используется модель федеральных округов ТЭК. Модель оптимизации балансов топливно-энергетических ресурсов по регионам России (с выделением субъектов РФ) в условиях возможных возмущений представляет собой в математическом смысле классическую задачу линейного программирования, в содержательном смысле базируется на традиционной территориально-производственной модели ТЭК с блоками электроэнергетики, тепло-, газо- и углеснабжения, а также нефтепереработки – мазутоснабжения. Формализовано ограничения указанной оптимизационной задачи записываются в виде системы линейных уравнений и неравенств. Целевая функция минимизирует сумму приведенных затрат и потерь от дефицита топливно-энергетических ресурсов среди потребителей.

Для описания моделей экспертами-энергетиками была принята система обозначений переменных и неравенств (уравнений). Название переменной (TRV) состоит из 7 символов (XXXYYZZ), где XXX – код объекта (или группы объектов) добычи, производства, транспорта, переработки, и потребления энергоресурсов, YY – код района, ZZ – код технологии, используемой на определенном объекте в определённом районе. Название неравенства/уравнения (IR) содержит 5 символов (QQQYY), где QQQ – код энергетического ресурса, YY – код района.

Для проведения вычислительных экспериментов с использованием экономико-математической модели ТЭК были последовательно разработаны: в 1980 году – ПВК «ЭНЕРГИЯ» для исследований направлений развития ТЭК с учетом требований живучести (Г.Н. Антонов) и ПВК «Оптимизация ТЭК» (В.Ф. Аношко, В.Н. Тыртышный) для оптимизации развития ТЭК страны. Эти ПВК стали прототипами ПК «ИНТЭК», разработанного Болдыревым Е.А. для исследований направлений развития ТЭК с учетом требований энергетической безопасности в 2002 г., в 2010 г. его реинжиниринг с применением агентного подхода был выполнен Фартышевым Д.А. (ПК ИНТЭК-М).

Далее опишем этапы, которые иллюстрируют применение адаптированной методики на примере ПК ИНТЭК.

1. Определение цели и направления реинжиниринга и активов унаследованной системы.

Цель. Целью реинжиниринга является разработка интеллектуального многоагентного программного комплекса для поддержки принятия решений в прогнозных исследованиях ТЭК и обоснования рекомендаций по выбору направлений развития ТЭК в условиях цифровой трансформации энергетики, интегрирующего в состав ПК агента семантического моделирования и обеспечивающего включение в будущем агента для использования искусственных нейронных сетей (ИНС) [6].

Направление реинжиниринга заключается в расширении функций ПК и повышении качества исследований направлений развития ТЭК с позиции ЭБ.

Активы унаследованной системы. Защищены две кандидатские диссертации, связанные с реинжинирингом ПК ИНТЭК (2002 и 2010 гг.), опубликованы статьи по реинжинирингу ПК ИНТЭК, и имеются две версии унаследованных ПК (2002 и 2010 гг.)

2. Определение современных требований к ПК.

Были определены следующие функциональные требования к ПК «ИНТЭК-А» (рис. 3):

- формирование информационной модели;
- формирование паттерна информационной модели;
- формирование сценария исследования;
- формирование технологических словарей;
- формирование балансовых таблиц ТЭР;
- формирование поддержки когнитивного моделирования;
- решение задачи поиска оптимального решения.

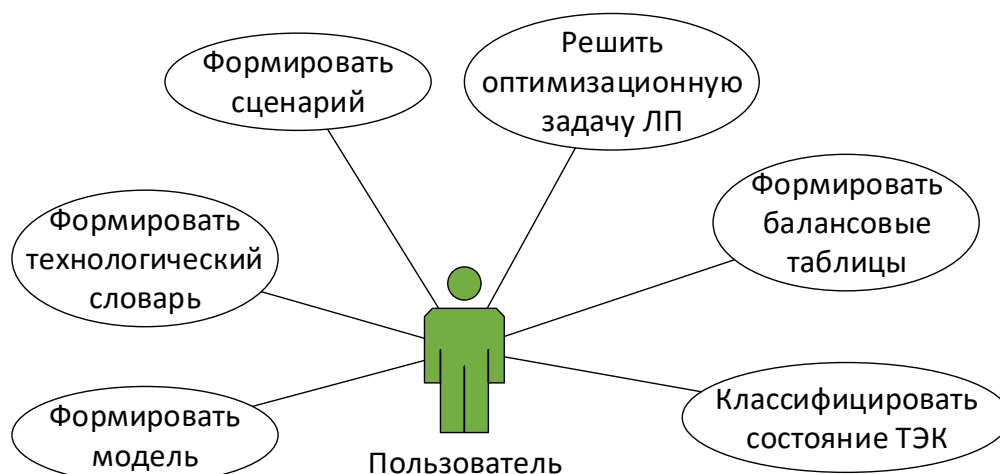


Рис. 3. Функциональные требования к ПК «ИНТЭК-А».

Также были определены следующие нефункциональные требования:

- оптимизация модели за время не более чем 5 секунд;
- сравнение балансовых таблиц разных вариантов решения;
- корректировка сценария исследования и информационных моделей с помощью когнитивных карт;
- возможности интеграции семантического моделирования, искусственных нейронных сетей и инструментов обработки и хранения больших данных [7];
- отделение интерфейса пользователя от логики предметной области и вычислительного ядра;
- возможность сохранения и загрузки информационных моделей, сценариев, словарей;
- обеспечение контроля вводимой информации.

3. Инвентаризация и анализ унаследованной системы.

ИНТЭК-М разработан с применением агентно-сервисного подхода и обладает следующими функциональными возможностями: формирование информационных моделей ТЭК; формирование сценария исследования; оптимизация при помощи экономико-математических моделей; представление результатов расчетов в виде балансовых таблиц. Для разработки использовались следующие инструментальные средства: СУБД Firebird, ЯП JAVA, архитектура – многоагентная, XML – формат обмена файлов между агентами.

Используемые модели для исследования развития ТЭК страны и регионов, а именно: модель ТЭК России, модели отраслевых систем энергетики, модели ТЭК регионов, модель развития ТЭК с учетом требований ЭБ – в математическом смысле используются в задаче линейного программирования с системой неравенств и коэффициентов переменных. Требуется добавить возможность формирования паттернов моделей, используемых в исследованиях, в новый программный комплекс.

Кроме того, у ПК ИНТЭК-М неконфигурируемый интерфейс. Он пока не имеет возможности взаимодействовать с моделями, где паттерны отличаются от TRV, т.к. ПК ИНТЭК-М разработан с функциональным ядром, неотчуждаемым от пользовательского интерфейса. Из-за обязательной интеграции новых агентов, разработанных на основе современных технологий, каждый не замененный, не соответствующий современным требованиям компонент, потенциально ограничивает список альтернатив развития программного комплекса.

Запланирована интеграция средств семантического моделирования и методов машинного обучения, которые будут реализованы в виде агент-сервисов, а именно: средств

когнитивного, онтологического, событийного и вероятностного моделирования, классификатор состояния ТЭК, классификатор требуемых мер для предотвращения возникновения энергодефицита в ТЭК с использованием машинного обучения. Учитывая объем реинжиниринга и возможные ограничения, которые будут им наложены, авторы сделали выбор в сторону прямого реинжиниринга, опираясь на опыт, полученный в результате изучения артефактов и использования существующей версии ПК.

Для разработки новой версии ПК определен список технологий, используемых для реализации ПК, в который входят: языки программирования C# и Python; СУБД PostgreSQL; формат обмена данных между агентами JSON. Для формирования общей архитектуры программного комплекса использован агентно-сервисный подход [8]. Архитектура каждого агента разработана в соответствии с шаблоном проектирования MVVM. На рис. 4 представлена архитектура ПК «ИНТЭК-А».

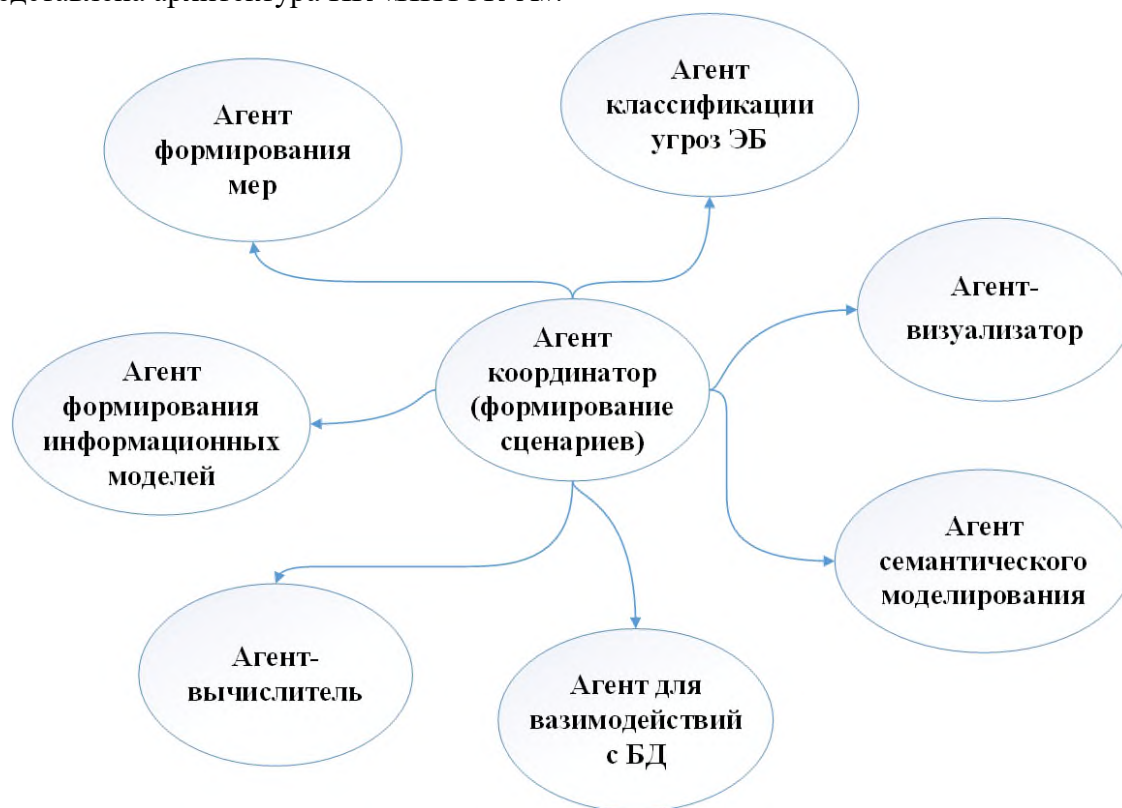


Рис. 4. Многоагентная архитектура ПК «ИНТЭК-А».

Главный агент в ПК «ИНТЭК-А» – это **агент формирования сценариев**. Этот агент выступает в роли агента-координатора. Его задача – задавать различные ситуации и формировать отдельные сценарии путем создания и наполнения технологических словарей, вызывать других агентов, обеспечивать контроль действий пользователя. Словари используются для отображения моделей на естественном языке.

Агент формирования информационных моделей и внесения корректировок способен сформировать информационную модель без применения сценариев посредством использования графического пользовательского интерфейса.

Агент формирования мер предназначен для определения набора оперативных, превентивных и ликвидационных мер (мероприятий), на основе выявленных потенциальных и реализованных угроз. Агент основан на использовании нейро-нечеткой системы.

Агент классификации угроз ЭБ предназначен для определения наборов потенциальных и реализованных угроз, где каждой угрозе соответствует значение в

диапазоне от 0 до 1 включительно. Агент также основан на использовании нейро-нечеткой системы [9-12], где на вход поступает описание состояния ТЭК.

Агент–вычислитель. Назначение агента – поиск оптимального решения задачи линейного программирования (ЛП). Ядро агента – библиотека для решения общей задачи ЛП.

Агент взаимодействия с БД дает возможность обрабатывать сложные запросы и поддерживать базы данных большой размерности, основан на применении многофункциональной СУБД PostgreSQL.

Агент семантического моделирования интегрирует экономико-математические и семантические модели. Агент позволит формировать и отображать экономико-математические модели ТЭК с использованием онтологий и когнитивных карт [13], формировать КС и ЧС при помощи событийного моделирования, использовать байесовские сети для оценки рисков.

Агент визуализации вычислений отвечает за визуализацию расчетов. Основной задачей этого агента является построение различных табличных отчетов и графиков, содержащих интересующие исследователя показатели результатов вычислительного эксперимента, такие, как: балансы топливно-энергетических ресурсов по каждому району, группе районов и стране целом; межрайонные потоки различных видов топлива; оценки эффективности энергетических ресурсов и технологических способов.

В настоящее время активно реализуется этап внедрения ПК «ИНТЭК-А» в эксплуатацию. Результаты этого этапа и примеры интерфейсов рассмотрены в статье [14].

Заключение. В статье приводится адаптация методики реинжиниринга унаследованных систем. Адаптация методики понадобилась в связи с изменениями требований к программному обеспечению, и, в первую очередь, в связи с необходимостью расширения функциональных требований к программному продукту. На примере использования адаптированной методики реинжиниринга в статье рассмотрен реинжиниринг программного комплекса прогнозных исследований «ИНТЭК-А». Процесс реинжиниринга базируется на версиях, которые разрабатывались в 2000-2010 гг..

Архитектура ПК «ИНТЭК-А» реализована с использованием агентно-сервисного подхода, что, в свою очередь позволит подключать агенты, реализующие другие функции без особых затруднений с точки зрения разработчика. Так, в ближайшее время, планируется расширить ПК «ИНТЭК-А» агентами, реализующими семантическое моделирование и методы машинного обучения.

Благодарности. Работа выполнена в рамках проекта государственного задания FWEU2021-0001 № АААА-А21-12101209007-7 программы фундаментальных исследований РФ на 2021-2030 гг.), при частичной финансовой поддержке грантов РФФИ № 19-07-00351, 20-07-00994.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Массель Л.В, Подкаменный Д.В. Системный анализ и реинжиниринг унаследованного программного обеспечения // Наука и образование (электронное научно-техническое издание МГТУ им. Баумана, эл. № ФС 77 – 30569. Гос. рег. № 0421000025). №4. 2011. Режим доступа: <http://technomag.edu.ru> (дата обращения: 02.12.2021).
2. Брюхов Д.О., Задорожный В.И., Калиниченко Л.А., Курошев М.Ю., Шумилов С.С. Интероперабельные информационные системы: архитектуры и технологии // СУБД 1995. № 4.

3. Bisbal J., Lawless D., Wu B., Grimson J. Legacy Information System Migration: A Brief Review of Problems, Solutions and Research Issues. // IEEE Software. 16. 1999. Pp.103-111.
4. Маккэри Э. Что такое унаследованные системы? // Computerworld. 1998. № 14.
5. Хаммер М., Чамп Д. Реинжиниринг корпорации. Манифест революции в бизнесе. М.:Манн, Иванов и Фербер. 2007. 288 с.
6. Массель Л.В., Массель А.Г. Цифровая трансформация энергетики: методы и интеллектуальные технологии научного обоснования стратегических решений // Тр. VII Всерос. конф. с междунар. уч. «Информационные технологии и системы». Ханты-Мансийск: ЮНИИТ. 2019. Научн. эл. изд. С.101-106. Режим доступа: <https://itis.uriit.ru/#projects> (дата обращения: 02.12.2021).
7. Копайгородский А.Н., Мамедов Т.Г. Архитектура интеллектуальной информационной системы для поддержки экспертных решений по стратегическому инновационному развитию энергетики // Информационные и математические технологии в науке и управлении. 2020. № 4(20). С. 168-176. DOI: 10.38028/ESI.2020.20.4.015.
8. Massel A., Galperov V., Kuzmin V. Agent-service Approach for Development of Intelligent Decision-making Support Systems // Proceedings VIth International Workshop “Critical Infrastructures: Contingency Management, Intelligent, Agent-Based, Cloud Computing and Cyber Security” (IWCI 2019). Part of series Advances in Intelligent Systems Research. Pp. 211-215. DOI: 10.2991/iwci-19.2019.37.
9. Horikawa S.I., Furuhashi T., Uchikawa Y. A new type of fuzzy neural network based on a truth space approach for automatic acquisition of fuzzy rules with linguistic hedges // Int. J. of Approx. Reasoning. 1995. Vol.13. Pp. 249-268.
10. Jang J.-S.R., Sun C.T., Mizutani E. Neuro-Fuzzy and Soft Computing. A Computational Approach to Learning and Machine Intelligence. Prentice-Hall International. 1997.
11. Kosko B. Fuzzy Engineering. New Jersey: Prentice-Hall. 1997.
12. Wang Li-Xin. A Course in Fuzzy Systems and Control. Prentice Hall PTR. Upper Saddle River, NJ. 1997.
13. Массель А.Г., Аршинский В.Л. Применение когнитивного моделирования для ситуационного анализа проблемы энергетической безопасности // Современные технологии. Системный анализ. Иркутск: ИрГУПС. 2008. Спецвыпуск. С. 75-80.
14. Массель А.Г., Мамедов Т.Г., Пяткова Н.И. Технология вычислительного эксперимента в исследованиях работы энергетических отраслей при реализации угроз энергетической безопасности // Информационные и математические технологии в науке и управлении. 2021. № 3 (23). С. 62-73. DOI: 10.38028/ESI.2021.23.3.006.

REENGINEERING TECHNIQUE ADAPTATION OF LEGACY SOFTWARE SYSTEMS

Aleksei G. Massel

Ph.D., senior researcher of Department “Artificial Intelligence Systems in Energy”

e-mail: amassel@isem.irk.ru

Timur H. Mamedov

Postgraduate student of the department “Artificial Intelligence Systems in Energy”

e-mail: mamedowtymur@yandex.ru

Melentiev Energy Systems Institute of SB RAS,
664033 Irkutsk, Lermontov str., 130.

Abstract. The article presents an adaptation of the legacy systems reengineering technique. An overview of approaches to reengineering is given. Although the term “reengineering” primarily refers to changing business processes, it is well suited to software development. The necessity of adapting the method has been substantiated. The article describes the application of the described methodology on the example of software complex reengineering for predictive research of the fuel and energy complex. A historical overview of the current problem is given and all stages of INTEC PC reengineering are described step by step.

Keywords: reengineering, legacy systems, predictive studies of the fuel and energy complex, agent-service approach

Acknowledgments: The research is carried out within the framework of the project under the state order of the MESI SB RAS, topic № FNEU-2021-007, project № AAAA-17-117030310444, with partial financial support from the Russian Foundation for Basic Research, grant No. 19-07-00351, 20-07-00994.

REFERENCES

1. Massel L.V. Podkamenny D.V. Sistemnyj analiz i reinzhiniring unasledovannogo programmnoho obespecheniya [Systems analysis and reengineering of legacy software]. Nauka i obrazovanie: nauchnoe izda-nie MGTU im. N.E. Baumana = Science and education: scientific edition of MSTU im. N.E. Bauman. 2011. No. 4. (in Russian).
2. Bryukhov D.O., Zadorozhny V.I., Kalinichenko L.A., Kuroshev M.Yu., Shumilov S.S. Interoperabel'nye informacionnye sistemy: arhitektury i tekhnologii [Interoperable information systems: architecture and technology]. DBMS. 1995. No. 4. (in Russian).
3. Bisbal J., Lawless D., Wu B., Grimson J. Legacy Information System Migration: A Brief Review of Problems, Solutions and Research Issues. // IEEE Software. 16. 1999. Pp. 103-111.
4. McCrory A., CHto takoe unasledovannye sistemy? [What are legacy systems?]. Computerworld = Computerworld. 1998. No. 14. (in Russian).
5. Hammer M., Champ D. Reinzhiniring korporacii. Manifest revolyucii v biznese [Corporation reengineering. Manifesto for a revolution in business]. M.:Mann, Ivanov i Ferber = M.: Mann, Ivanov and Ferber. 2007. 288p.
6. Massel L. V., Massel A. G. Cifrovaya transformaciya energetiki: metody i intellektual'nye tekhnologii nauchnogo obosnovaniya strategicheskikh reshenij [Digital transformation of energy: methods and intelligent technologies for scientific substantiation of strategic decisions]. // Tr. VII Vseros. konf. s mezhdunar. uch. «Informacionnye tekhnologii i sistemy» = Tr. VII All-Russia. conf. with int. uch. “Information technologies and systems”.

- Khanty-Mansiysk: UNIIT. 2019. Scientific. el. ed. Pp.101-106. Available at: <https://itis.uriit.ru/#projects> (accessed 02.12.2021) (in Russian).
7. Kopaygorodsky A.N., Mamedov T.G. Arhitektura intellektual'noj informacionnoj sistemy dlya podderzhki ekspertnyh reshenij po strategicheskomu innovacionnomu razvitiyu energietiki [The architecture of an intelligent information system to support expert decisions on the strategic innovative development of energy] // Informacionnye i matematicheskie tekhnologii v nauke i upravlenii = Information and mathematical technologies in science and management. 2020. No. 4(20). Pp. 168-176. DOI: 10.38028/ESI.2020.20.4.015. (in Russian)
 8. Massel A., Galperov V., Kuzmin V. Agent-service Approach for Development of Intelligent Decision-making Support Systems // Proceedings VIth International Workshop "Critical Infrastructures: Contingency Management, Intelligent, Agent-Based, Cloud Computing and Cyber Security" (IWCI-2019). Part of series Advances in Intelligent Systems Research. Pp. 211-215. DOI: 10.2991/iwci-19.2019.37 (in Russian).
 9. Horikawa S.I., Furuhashi T., Uchikawa Y. A new type of fuzzy neural network based on a truth space approach for automatic acquisition of fuzzy rules with linguistic hedges // Int. J. of Approx. Reasoning. 1995. Vol.13. Pp. 249-268.
 10. Jang J.-S.R., Sun C.T., Mizutani E. Neuro-Fuzzy and Soft Computing. A Computational Approach to Learning and Machine Intelligence. Prentice-Hall International, 1997.
 11. Kosko B. Fuzzy Engineering. New Jersey: Prentice-Hall. 1997.
 12. Wang Li-Xin. A Course in Fuzzy Systems and Control. Prentice Hall PTR. Upper Saddle River, NJ. 1997.
 13. Massel A.G., Arshinsky V.L. Primenenie kognitivnogo modelirovaniya dlja situacionnogo analiza problemy jenergeticheskoy bezopasnosti [Application of cognitive modeling for situational analysis of the problem of energy security] // Sovremennye tekhnologii. Sistemnyj analiz = Modern technologies. System analysis. Irkutsk: IrGUPS. 2008. Special issue. Pp. 75-80. (in Russian).
 14. Massel A.G., Mamedov T.G., Pyatkova N.I. Tehnologija vychislitel'nogo eksperimenta v issledovaniyah raboty jenergeticheskix otraslej pri realizacii ugroz jenergeticheskoy bezopasnosti [Computational experiment technology in researching the work of energy industries in the implementation of threats to energy security] // Information and mathematical technologies in science and management = Informacionnye i matematicheskie tekhnologii v nauke i upravlenii. 2021. No. 3 (23). Pp. 62-73. DOI: 10.38028/ESI.2021.23.3.006.

Статья поступила в редакцию 12.12.2021; одобрена после рецензирования 18.12.2021; принята к публикации 24.12.2021.

The article was submitted 12.12.2021; approved after reviewing 18.12.2021; accepted for publication 24.12.2021.

УДК 004.82:004.912:001.18:620.9

ПРОЕКТИРОВАНИЕ И РЕАЛИЗАЦИЯ ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫХ СРЕДСТВ ДЛЯ СЕМАНТИЧЕСКОГО АНАЛИЗА БОЛЬШИХ ДАННЫХ О НАУЧНЫХ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РЕШЕНИЯХ В ОБЛАСТИ ЭНЕРГЕТИКИ

Копайгородский Алексей Николаевич

к.т.н., ведущий специалист отдела «Системы искусственного интеллекта в энергетике»

e-mail: kopaygorodsky@isem.irk.ru

Хайруллина Елена Павловна

аспирант отдела «Системы искусственного интеллекта в энергетике»

e-mail: lena-skoklenyova@yandex.ru

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

664033 г. Иркутск, ул. Лермонтова 130.

Аннотация. В статье рассмотрены подходы к проектированию и реализации отдельных компонентов инструментальных средств для семантического анализа извлекаемой из открытых источников информации о научных и технологических решениях в области энергетики. Рассмотрена структура билингвистической онтологии, позволяющая решать задачу классификации информации с учётом ее представления в различных языках и синонимии. Рассмотрен подход к поиску и обработке информации из открытых источников, основанный на применении разработанных авторами средств семантического анализа, реализация которых выполнялась на Python с использованием библиотеки Natural Language Toolkit.

Ключевые слова: научно-технологическое прогнозирование, семантический анализ, классификация текстовых документов, билингвистическая онтология.

Цитирование: Копайгородский А.Н., Хайруллина Е.П. Проектирование и реализация инструментальных средств для семантического анализа Больших данных о научных и технологических решениях в области энергетики // Информационные и математические технологии в науке и управлении. 2021. № 4 (24). С. 100-110. DOI: 10.38028/ESI.2021.24.4.010.

Введение. Научно-технологическое прогнозирование и организация мониторинга инновационных технологических решений играют важную роль в современном постиндустриальном обществе. Активное развитие информационно-телекоммуникационных технологий в значительной мере влияет на сокращение времени выхода новых инновационных разработок на рынок за счет ускорения передачи научных знаний и реализации на их основе новых производственных технологий с последующим выпуском продукции. Поиск новых технологических решений, предсказание перспективы их развития в жесткой конкурентной среде позволяют приобрести значительные преимущества не только отдельным компаниям, но и целым отраслям национальных экономик на глобальном рынке. Систематический характер таких поисковых работ в области энергетики требует развития методов семантического анализа Больших данных (Big Data) для выработки оценок и опережающих рекомендаций, а также создания новых инструментальных средств для поддержки этой деятельности. Необходимость развития методов анализа и обработки Big Data с помощью интеллектуальных информационных систем подчеркивается Национальной технологической инициативой (НТИ) России, а их применение в области энергетики соотносится с рынком EnergyNet, что находит отражение в «Дорожной карте», одобренной в 2016 году Президиумом Совета при Президенте Российской Федерации по модернизации экономики и инновационному развитию России.

Применение интеллектуальных методов семантического анализа, машинного обучения и технологии Big Data и создание инструментария, выполняющего

предварительную обработку массивов информации, позволяют значительно облегчить работу экспертных групп при решении поставленной задачи. Источниками информации могут выступать Открытые данные (Open Data) и Большие данные. Кроме того, эксперты могут эффективно использовать для «экспресс-анализа» собранной информации методы семантического моделирования [1-3], разработка которых ведется в Отделе систем искусственного интеллекта в энергетике Института систем энергетики им Л.А. Мелентьева Сибирского отделения РАН (ИСЭМ СО РАН).

Управление инновациями и поиск технологических решений. В последние десятилетия активное развитие получили интеллектуальные подходы и методы поддержки принятия решений, в том числе и в области планирования и управления инновационным развитием [4, 5]. С начала 2000-х годов была сформирована международная рабочая группа из ведущих ученых США, Европы и стран Восточной Азии, которая координирует исследования по перспективному анализу научно-технологического развития (Future Oriented Technology Analysis) [6]. Целью подобных исследований является разработка средств интеллектуальной поддержки систематического процесса обоснования возможных путей развития науки и технологий в различных областях, оценки перспективного влияния новых технологий на общество и окружающий мир, в том числе и на конкретные отраслевые инфраструктуры, а также поддержка выработки «скользящих» стратегических решений по инновационному развитию отраслей мировой экономики. Традиционно обоснованные научно-технологические прогнозы и программы инновационного развития являлись одной из важнейших устоявшихся форм регулирования экономики в таких странах, как США и Великобритания. Стремительное развитие информационных технологий и наступление «Эпохи Больших данных» (Big Data Age) вызвало значительный рост научных исследований в области технологического прогнозирования и в Китае [5, 7, 8]. Исследователи разрабатывают и эффективно применяют методы определения новых технологических решений (Tech Mining [9]), основанные на использовании интеллектуальных семантических технологий поиска, извлечения и анализа гетерогенных данных из электронных источников информации (Text Mining [10]) в соответствии с концепцией Big Data [11, 12].

Предлагаемый подход для семантического анализа Больших данных о научных и технологических решениях в области энергетики. Традиционные методы анализа данных о научных и технологических решениях (методы научно-технологического форсайта и системного анализа) и прогнозирование на их основе развития отрасли энергетики не всегда эффективны в силу отсутствия легкодоступной необходимой достоверной информации. При применении методов Big Data Analytics к глобальным источникам данных о науке, технологиях и инновациях можно определить существующие и выявить новые тенденции развития, а также предвидеть технологические прорывы путем всестороннего понимания непрерывных инновационных процессов. В качестве источников информации для составления прогнозов можно использовать открытые данные (Linked Open Data), как из государственных информационных систем, так и из некоторых коммерческих систем, содержащие потенциально интересную информацию. Примерами таких систем являются базы научных публикаций, проводимых НИР, результатов интеллектуальной деятельности и др., которые, как правило, придерживаются определенной структуры публикуемых данных, и поэтому могут быть обработаны в автоматическом режиме. Кроме того, для поиска неструктурированной, но потенциально интересной для исследователей информации, могут использоваться Интернет-поисковые системы с предварительным анализом, классификацией и качественной оценкой найденной информации. Исходя из этого, все источники данных можно разделить на две категории по подходам к извлечению и обработке информации:

структурированные и неструктурированные. Структурированные источники могут предоставлять информацию в соответствии с определенными структурами и, как правило, имеют API для организации программного доступа. Неструктурированные источники в первую очередь ориентированы на использование людьми, и поэтому, как правило, проиндексированы популярными Интернет-поисковыми системами. Найденные в различных информационных ресурсах документы должны быть идентифицированы, как потенциально полезные, классифицированы в соответствии с расширяемой моделью предметной области, которая может быть представлена в виде онтологии, а после отправлены в хранилище с дескриптивным описанием. Сканирование источников информации на регулярной основе позволяет не только обогащать хранилище знаний, но и отслеживать динамику изменения качественных и количественных показателей на основе когнитивных моделей.

Поиск информации и классификация на основе онтологии. Использование в качестве источников для анализа и последующего построения научно-технологических прогнозов развития энергетики исключительно русскоязычных информационных ресурсов является ошибочным, поскольку из-за глобализации инновационные разработки и результаты научных исследований не ограничены экономикой одной отдельно взятой страны или макрорегиона. Таким образом, возникает необходимость анализа информации не только на русском, но и на английском языке. Наличие множества публикаций на русском языке является одним из индикаторов готовности к практическому внедрению новой технологии в производственные процессы на предприятиях и организациях России. Решение задачи классификации документов и вычисления метрик выполняется на основе анализа словокомплексов [13, 14], при этом формально разными словокомплексами (в том числе и на разных языках) могут описываться фактически одинаковые понятия. Для решения указанной задачи было предложено применение билингвистической онтологии, включающей термины и определения (абстрактные и базовые концепты), а также поддерживающей синонимию (полную или частичную семантическую близость) в одном или нескольких различных языках. Пример структуры и связей концептов билингвистической онтологии приведен на рис. 1. Базовые концепты в онтологии могут быть идентифицированы по словокомплексам, которые в свою очередь, могут быть представлены устойчивыми словосочетаниями в русском или английском языке. Несколько базовых понятий (например, «бензин», «газ», «дизельное топливо») могут быть объединены в абстрактное понятие («топливо»). На рис. 2 представлен фрагмент билингвистической онтологии, определяющей понятия «древесное топливо/wood fuel», «уголь/coal», «биотопливо/biofuel» и «топливо/fuel».

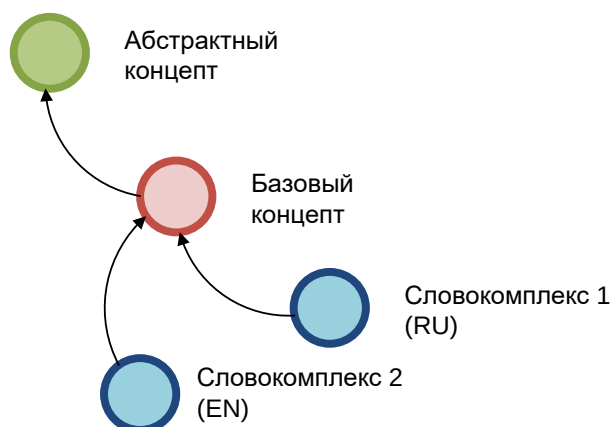


Рис. 1. Структура и связи концептов билингвистической онтологии для поддержки синонимии на нескольких языках.

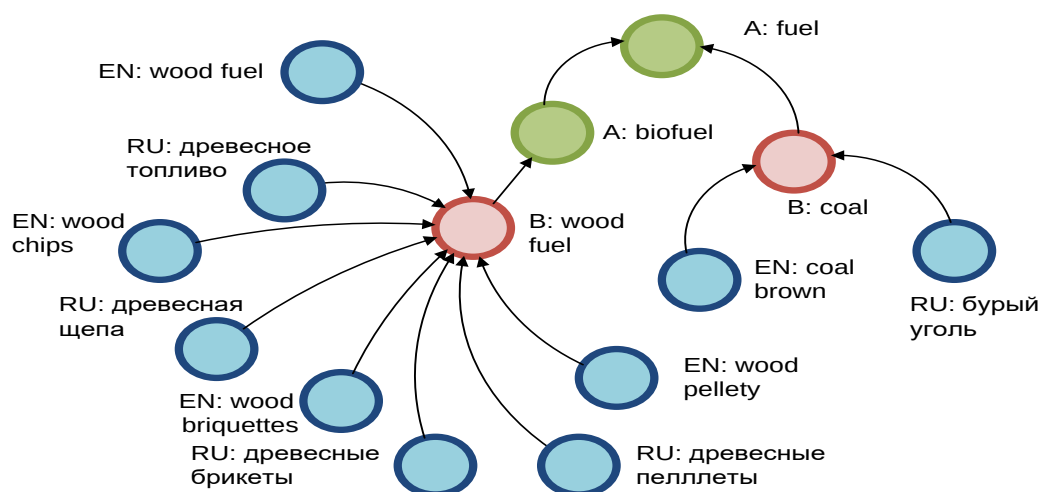


Рис. 2. Фрагмент билингвистической онтологии, определяющей абстрактные понятия (А), базовые понятия (В) и синонимы на нескольких языках (EN, RU).

С помощью онтологий можно описать иерархию энергетических технологий с достаточной детализацией их компонентов и взаимосвязей на разных уровнях (ресурсы, функции, типы преобразования энергии, потребительские услуги, инфраструктура, управление и т.д.); спецификации технологий или их характеристики с точки зрения технико-экономической эффективности; спецификации полного жизненного цикла энергетической технологии (Life Cycle Assessment); характеристики социально-экономических факторов; спецификации показателей развития инновационных технологий; определить концептуальную основу с двуязычными ссылками и синонимами для понятий всех уровней.

Поскольку анализ поступающей информации требует значительного времени ввиду большого исходного объема, авторами предлагается выделение двух процессов: процесса информационного наполнения хранилища и процесса использования наполненного хранилища исследователями для решения прикладных задач. Подсистема информационного наполнения состоит из модулей поиска и модулей анализа и классификации. При этом один модуль анализа и классификации может обслуживать несколько модулей поиска, а несколько однотипных модулей поиска могут работать параллельно с информационными ресурсами одного класса. Модуль анализа при проведении классификации текстовых фрагментов опирается на данные, извлеченные из билингвистической онтологии, задающей терминологическую специфику о научных и технологических решениях в области энергетики.

Представление метаданных в формате RIS (Research Information Systems).

Подсистема информационного наполнения является точкой получения информации (метаданных, ссылок на внешние ресурсы и документов исследователей, описанных в понятиях системы онтологий), которая после извлечения может быть представлена пользователю или обработана другими программными агентами. Многие источники открытых данных, агрегирующие информацию о научных статьях и разработках, поддерживают экспорт записей в формате Research Information Systems (RIS). Формат RIS предназначен для обмена метаданными между различными системами поддержки научных исследований и содержит описание отдельных ресурсов (как правило, научных публикаций) в разрезе до 79 параметров, основными из которых являются название (TI/T1/T2), информация об авторах (AU/AD), тип (TY) и дата публикации (PY/DA), база индекса (DB). Пример описания патента и описания статьи в журнале в формате RIS приведен на рис. 3.

a)	б)
TY - PAT	TY - JOUR
CY - US	TI - Application of ANFIS-PID controller for statcom to
M3 - B2	enhance power quality in power system connected
SN - US 9391462 B2	wind energy system
ID - 180-107-644-067-313	T2 - International Journal of Engineering and
C2 - 2016/07/12	Technology(UAE)
PY - 2016	J2 - Int. J. Eng. Technol.
M1 - US 201213596618 A	VL - 7
DA - 2012/08/28	IS - 4
C1 - 2012/08/28	SP - 35
TI - Energy Storage System With Wired And	EP - 37
Wireless Energy Transfer Function	PY - 2018
AU - YANG YIL SUK	DO - 10.14419/ijet.v7i4.4.19604
AU - KIM JONG DAE	SN - 2227524X (ISSN)
AU - HEO SE WAN	AU - Huu Vinh, N.
AU - OH JI MIN	AU - Hung, N.
AU - KIM MIN KI	AU - Kim Hung, L.
AU - KWON JONG KEE	AD - Hochiminh City Power Company, Viet Nam
PB - YANG YIL SUK	AD - Hochiminh City University of Technology
PB - KIM JONG DAE	(HUTECH), Viet Nam
PB - HEO SE WAN	AD - Danang University of Technology, Viet Nam
PB - OH JI MIN	KW - Adaptive neuro-fuzzy inference system -
PB - KIM MIN KI	proportional integral derivative (ANFIS-PID)
PB - KWON JONG KEE	KW - Power quality
PB - KOREA ELECTRONICS TELECOMM	KW - Static synchronous compensator (STATCOM)
OP - KR 20120008906 A 20120130	KW - Wind energy
ER - (конец документа)	PB - Science Publishing Corporation Inc
	N1 - Export Date: 17 December 2019
	M3 - Article
	DB - Scopus
	LA - English
	UR - https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85053468375&doi=10.14419%2fijet.v7i4.4.19604&partnerID=40&md5=e2d06aede670d0cdcb0cae5a3e6ce924
	ER - (конец документа)

Рис. 3. Пример RIS-записи: а) патент, б) статья в журнале.

Для анализа информации, размещенной на различных сайтах в сети Интернет, на первом этапе необходимо получение ссылок на такие информационные ресурсы. Наиболее эффективным решением, с точки зрения авторов, является использование баз данных

распространенных и хорошо известных информационно-поисковых систем, выполнивших индексацию информационных ресурсов в сети Интернет. Наиболее распространенными в российском сегменте сети Интернет являются системы Яндекс (21,9%) и Google (68,8%), последняя также наиболее распространена и за пределами русскоговорящих стран (90,7%). Для дальнейшей унификации обработки информации извлеченные из них данные могут быть представлены в формате RIS и использоваться как самостоятельные источники информации, так и являться точками для начала углубленного анализа информационных ресурсов программами-краулерами (поисковыми роботами). Авторами было выполнено расширение RIS-формата и введен новый тип ресурсов (TY=IRES), при этом в качестве базы данных (DB) указывается наименование поисковой системы, а извлеченное описание ресурса помещается в поле Abstract (AB). Пример описания информационного ресурса, извлеченного из поисковой системы, приведен на рис. 4.

TY - IRES
TI - What is green energy? | MNN - Mother Nature Network
UR - <https://www.mnn.com/earth-matters/energy/stories/what-is-green-energy>
AB - Jul 25, 2012 - Green energy comes from natural sources such as sunlight, wind, rain, tides, plants, algae and geothermal heat. These energy resources are renewable, meaning they're naturally replenished. In contrast, fossil fuels are a finite resource that take millions of years to develop and will continue to diminish with use.
DB - Google
ER

Рис. 4. Пример RIS-записи для поисковой системы.

Реализация инструментальных средств семантического анализа. При реализации интеллектуальной информационной системы используется сервис-ориентированный подход, позволяющий выполнять независимую разработку отдельных компонентов системы, что обеспечивает общую гибкость. На рис. 5 показана архитектура интеллектуальной информационной системы, включающая средства семантического анализа текстовых данных, онтологического, когнитивного и событийного моделирования, средства проверки гипотез и визуализации результатов поиска [15]. При обработке результатов поисковых запросов во внешних, по отношению к интегрированному хранилищу, программных средствах извлекаемых данных исследователи получают новые знания, которые могут быть представлены в явной форме и загружены в интегрированное хранилище с использованием средств коллективной работы.

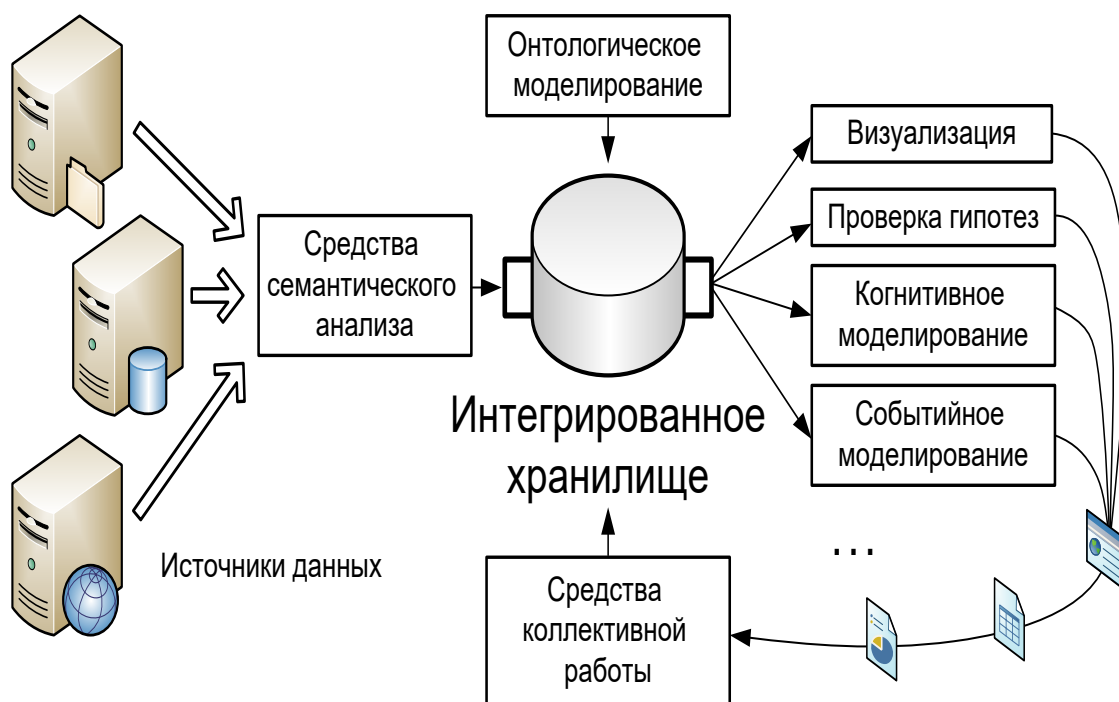


Рис. 5. Архитектура интеллектуальной информационной системы.

Применение для связи с внешними компонентами стандартизированных интерфейсов и сетевых протоколов Интернет, в частности JSON и HTTP, обеспечивает интеграцию методов при решении нетривиальных задач и позволяет получить доступ к информации и функциональным компонентам, размещенным на удаленных серверах.

При реализации средств семантического анализа используются как статистические методы, так и лингвистический анализ [16]. В статистических методах используется анализ частоты встречаемости слов (подсчет количества появлений слов в различных фрагментах, распределении частоты по документам и т.д.), при лингвистическом анализе выполняется идентификация отдельных слов, анализ их морфологических особенностей, выделение основы (стемминг), синтаксический и семантический анализ фрагментов текста. Технология стемминга играет важную роль в улучшении результатов анализа и сокращении области поиска, что позволяет идентифицировать основу слова, связывать многие формы одного и того же слова друг с другом и значительно упростить обработку текстовых массивов. Реализация средств семантического анализа выполнена на языке программирования Python с использованием библиотеки для лингвистического анализа текстов Natural Language Toolkit (NLTK) [17].

Первым этапом при проведении исследования является построение терминологического словаря предметной области, построение онтологии на его основе и расчет векторных представлений для концептов онтологии. При обработке массивов текстовых данных на первом этапе производится фильтрация и отделение от часто используемых слов и других подобных языковых элементов, которые не отражают специфику выбранной предметной области. После этого выполняются классификация и семантическое сравнение в зависимости от языка с элементами онтологий «RU» и «EN». Далее выявляются наиболее характерные признаки на основе расчета метрик TF-IDF для каждого поступающего документа. Применение показателя TF-IDF позволяет оценить важность слова или понятия в контексте документа. TF-IDF словокомплекса пропорционален частоте его использования в документе и обратно пропорционален частоте его использования во всех документах корпуса.

После размещения коллекции документов в интегрированном хранилище возможно проведение аналитического исследования и оценка гипотез о перспективах развития тех или иных новых технологий. При этом исследователь имеет возможность использовать только те источники, которым он доверяет. В общем случае гипотезы формируются на основе анализа массива собранных и отфильтрованных данных. Поскольку данные собираются из открытых источников, они явно носят статистический характер и, следовательно, к ним применимы статистические методы, в том числе методы статистической оценки гипотез и критериев. Ввиду большого объема собираемых данных целесообразно применение второго уровня статистической значимости (0,01 или 1%), что задает уровень статистической ошибки первого рода не более 1% и достоверность получаемых результатов при проверке гипотез не менее 99%.

Заключение. Реализация интеллектуальной информационной системы на основе сервис-ориентированного подхода и интеграции существующих сторонних и авторских компонентов позволяет эффективно решать задачи семантического анализа Больших данных о научных и технологических решениях в области энергетики. Средства семантического анализа разработаны на языке Python с использованием библиотеки NLTK. Настройка системы семантического анализа выполняется с использованием билингвистической онтологии, которая определяет абстрактные и базовые понятия, а также позволяет задавать синонимы и обеспечивает благодаря этому поддержку нескольких языков. Применение предложенных методов и подходов обеспечивает достаточный уровень гибкости и расширяемости.

Благодарности. Результаты получены в рамках проекта по госзаданию ИСЭМ СО РАН АААА-А21-121012090007-7 (проект № FWEU-2021-0007), при частичной финансовой поддержке грантов РФФИ №20-07-00994 и № 19-07-00351 с использованием ресурсов ЦКП "Высокотемпературный контур" (Минобрнауки России, проект № 13.ЦКП.21.0038).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Массель Л.В., Массель А.Г. Интеллектуальные вычисления в исследованиях направлений развития энергетики // Известия Томского политехнического университета. 2012. Т. 321. № 5. Управление, вычислительная техника и информатика. С. 135-141.
2. Массель Л.В. Создание и интеграция интеллектуальных информационных технологий и ресурсов для комплексных исследований в энергетике // Вестник РФФИ. 2012. № 4. С. 74-81.
3. Массель А.Г., Пяткова Н.И. Применение методов когнитивного моделирования для анализа угроз энергетической безопасности // Информационные и математические технологии в науке и управлении. 2020. № 4 (20). С. 24-33. DOI: 10.38028/ESI.2020.20.4.002.
4. Coates V., et al. On the future of technological forecasting / Technol. Forecast. Soc. Change. 67 (1). 2001. Pp. 1-17.
5. Zhang Y., et al. Topic analysis and forecasting for science, technology and innovation: Methodology with a case study focusing on big data research // Technol. Forecast. Soc. Change. 2016. DOI: 10.1016/j.techfore.2016.01.015.
6. Future-Oriented Technology Analysis. Strategic Intelligence for an Innovative Economy / Eds. C. Cagnin et al. Springer. 2008. 170 p. DOI: 10.1007/978-3-540-68811-2.

7. Zhang M.L, Zhou Z.H. Multilabel Neural Networks with Applications to Functional Genomics and Text Categorization // IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering. Vol. 18. No. 10. 2006. Pp. 1338-1351. DOI: 10.1109/TKDE.2006.162.
8. Zheng L., Noroozi V., Yu P.S. Joint Deep Modeling of Users and Items using Reviews for Recommendation. 2017. DOI: 10.1145/3018661.3018665.
9. Cunningham, S.W., Porter, A.L., and Newman, N.C. Tech Mining, special issue of Technological Forecasting & Social Change. 73 (8). 2006. Pp. 915-1060.
10. Mirhosseini M. A Clustering Approach using a Combination of Gravitational Search Algorithm and k-Harmonic Means and its Application in Text Document Clustering // Turkish Journal of Electrical Engineering and Computer Sciences. Vol. 25. No. 2. 2017. Pp. 1251-1262. DOI: 10.3906/elk-1508-31.
11. Майер-Шенбергер В., Кукьер К. Большие данные. Революция, которая изменит то, как мы живем, работаем и мыслим. М.: Манн, Иванов и Фербер. 2014. 230 с.
12. Марц Н., Уоррен Дж. Большие данные. Принципы и практика построения масштабируемых систем обработки данных в реальном времени. М.: Вильямс. 2016. 368 с. ISBN: 978-5-8459-2075-1.
13. Сидорова Е.А., Анохин С.В., Кононенко И.С., Саломатина Н.В. Тематический анализ запросов пользователей на основе предметно-ориентированного словаря // Вестник НГУ. Серия: Информационные технологии. 2014. №4. Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/tematicheskiy-analiz-zaprosov-polzovateley-na-osnove-predmetno-orientirovannogo-slovary> (дата обращения: 18.11.2021).
14. Dikovickij V.V., Shishaev M.G. Natural language text processing in search engine models // Proceedings of the Kola Scientific Center of the Russian Academy of Sciences. 3.
15. Копайгородский А.Н., Мамедов Т.Г. Архитектура интеллектуальной информационной системы для поддержки экспертных решений по стратегическому инновационному развитию энергетики // Информационные и математические технологии в науке и управлении. 2020. № 4 (20). С. 168-176. DOI: 10.38028/ESI.2020.20.4.015.
16. Kopyagorodsky A. Natural Language Processing for Forecasting Innovative Development of the Energy Infrastructure // E3S Web Conf. 209 03015 (2020). DOI: 10.1051/e3sconf/202020903015.
17. Bird S., Klein E., Loper E. Natural Language Processing with Python. O'Reilly Media Inc. 2009. ISBN 978-0-596-51649-9.

DESIGN AND DEVELOPMENT OF INSTRUMENTAL TOOLS FOR SEMANTIC ANALYSIS OF BIG DATA SCIENTIFIC AND TECHNOLOGICAL SOLUTIONS IN THE FIELD OF ENERGY

Alex N. Kopaygorodsky

Ph.D., Leading specialist, Department "Artificial Intelligence Systems in Energy"

e-mail: kopaygorodsky@isem.irk.ru

Elena P. Khairullina

Graduate student, Department "Artificial Intelligence Systems in Energy"

e-mail: lena-skoklenyova@yandex.ru

Melentiev Energy Systems Institute of SB RAS

664033 Irkutsk, Russia, Lermontov St., 130.

Abstract. The article discusses approaches to the design and implementation of individual components of instrumental tools for semantic analysis of information on scientific and technological solutions in the field of energy. This information has already been placed open sources. The structure of billinguistic ontology is considered, which makes it possible to solve the task of classifying information, taking into account its submission in various languages and synonyms. The authors reviewed the approach to the search and processing of information from open sources based on the use of semantic analysis developed by authors, the implementation of which was performed on Python using the Natural Language Toolkit library.

Keywords: Scientific and technological forecasting, semantic analysis, classification of text documents, billinguistic ontology.

Acknowledgments: The results were obtained within the framework of the project on the state assignment of the ISEM SB RAS AAAA-A21-121012090007-7 (project No. FWEU-2021-0007), with partial financial support from RFBR grants No. 20-07-00994 and No. 19-07-00351 using the resources of the Center for Collective Use "High-temperature circuit" (Ministry of Education and Science of Russia, project No. 13. TsKP.21.0038).

REFERENCES

1. Massel' L.V. Massel' A.G. Intellektual'nye vychisleniya v issledovaniyah napravlenij razvitiya jenergetiki [Intellectual computing in the research of energy development directions] // Izvestia Tomsk Polytechnic University = Bulletin of the Tomsk Polytechnic University. 2012. Vol. 321. No. 5. Management, computing equipment and informatics. Pp. 135-141.
2. Massel' L.V. Sozdanie i integraciya intellektual'nyh informacionnyh tehnologij i resursov dlja kompleksnyh issledovanij v jenergetike [Creation and integration of intelligent information technologies and resources for complex research in energy] // Vestnik RFFI = RFBR Bulletin. 2012. No. 4. Pp. 74-81.
3. Massel' A.G., Pjatкова N.I. Primenenie metodov kognitivnogo modelirovanija dlja analiza ugroz jenergeticheskoj bezopasnosti [Application of cognitive modeling methods for energy security threats analysis] // Informatsionnyye i matematicheskiye tekhnologii v nauke i upravlenii = Information and mathematical technologies in science and management. 2020. No. 4 (20). Pp. 24-33. DOI: 10.38028/ESI.2020.20.4.002.
4. Coates V., et al. On the future of technological forecasting / Technol. Forecast. Soc. Change. 67 (1). 2001. Pp. 1-17.

5. Zhang Y., et al. Topic analysis and forecasting for science, technology and innovation: Methodology with a case study focusing on big data research // Technol. Forecast. Soc. Change. 2016. DOI: 10.1016/j.techfore.2016.01.015.
6. Future-Oriented Technology Analysis. Strategic Intelligence for an Innovative Economy / Eds. C. Cagnin et al. Springer. 2008. 170 p. DOI: 10.1007/978-3-540-68811-2.
7. Zhang M.L, Zhou Z.H. Multilabel Neural Networks with Applications to Functional Genomics and Text Categorization // IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering. Vol. 18. No. 10. 2006. Pp. 1338-1351. DOI: 10.1109/TKDE.2006.162.
8. Zheng L., Noroozi V., Yu P.S. Joint Deep Modeling of Users and Items using Reviews for Recommendation. 2017. DOI: 10.1145/3018661.3018665.
9. Cunningham S.W., Porter A.L., Newman N.C. Tech Mining, special issue of Technological Forecasting & Social Change. 73 (8). 2006. Pp. 915-1060.
10. Mirhosseini M. A Clustering Approach using a Combination of Gravitational Search Algorithm and k-Harmonic Means and its Application in Text Document Clustering // Turkish Journal of Electrical Engineering and Computer Sciences. Vol. 25. No. 2. 2017. Pp. 1251-1262. DOI: 10.3906/elk-1508-31.
11. Mayer-Shenberger V., Cukier K. Bol'shie dannye. Revoljucija, kotoraja izmenit to, kak my zhivem, rabotaem i myslim [Big Data. A Revolution That Will Transform How We Live, Work and Think]. Moscow: Mani, Ivanov and Ferber. 2014. 230 p.
12. Marz N., Warren J. Bol'shie dannye. Principy i praktika postroenija masshtabiruemyh sistem obrabotki dannyh v real'nom vremeni [Big Data: Principles and best practices of scalable realtime data systems]. Moscow: Wilyams. 2016. 368 p. ISBN: 978-5-8459-2075-1.
13. Sidorova E.A., Anohin S.V., Kononenko I.S., Salomatina N.V. Tematicheskij analiz zaprosov pol'zovatelej na osnove predmetno-orientirovannogo slovarja [Thematic analysis of user requests based on an object-oriented dictionary] // Bulletin NSU. Series: Information Technology. 2014. No. 4. Available at: <https://cyberleninka.ru/article/n/tematicheskij-analiz-zaprosov-polzovateley-na-osnove-predmetno-orientirovannogo-slovaryja> (accessed 18.11.2021).
14. Dikovickij V.V., Shishaev M.G. Natural language text processing in search engine models, Proceedings of the Kola Scientific Center of the Russian Academy of Sciences. 3.
15. Kopaygorodsky A.N., Mamedov T.G. Arhitektura intellektual'noj informacionnoj sistemy dlja podderzhki jekspertnyh reshenij po strategicheskomu innovacionnomu razvitiju jenergetiki [Architecture of the Intellectual Information System to support expert decisions on the strategic innovative energy development] // Informatsionnyye i matematicheskiye tekhnologii v nauke i upravlenii = Information and mathematical technologies in science and management. 2020. No. 4 (20). Pp. 168-176. DOI: 10.38028/ESI.2020.20.4.015.
16. Kopaygorodsky A. Natural Language Processing for Forecasting Innovative Development of the Energy Infrastructure // E3S Web Conf. 209 03015 (2020). DOI: 10.1051/e3sconf/202020903015.
17. Bird S., Klein E., Loper E. Natural Language Processing with Python. O'Reilly Media Inc. 2009. ISBN 978-0-596-51649-9.

Статья поступила в редакцию 15.12.2021; одобрена после рецензирования 22.12.2021; принята к публикации 24.12.2021.

The article was submitted 15.12.2021; approved after reviewing 22.12.2021; accepted for publication 24.12.2021.

УДК 378.147:004.9+070.1

ПРОЕКТНОЕ ОБУЧЕНИЕ: СОЗДАНИЕ ИНСТРУМЕНТАРИЯ ОБРАБОТКИ БОЛЬШИХ ДАННЫХ ДЛЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ В ДАТА-ЖУРНАЛИСТИКЕ

Ерженин Роман Валерьевич

к.э.н., генеральный директор ООО «НПЦ ГОСУЧЕТ»

e-mail: rerzhenin@gmail.com

143441, Московская область, Красногорский р-н,

69 км МКАД, п/о Путилково, ООК ЗАО «Гринвуд», стр. 19

Бахвалова Зинаида Андреевна

к.т.н., доцент, доцент института информационных технологий и анализа данных

e-mail: zinand@inbox.ru

Волков Евгений Дмитриевич

студент института информационных технологий и анализа данных

e-mail: vamper.2012@gmail.com

Абзаев Александр Андреевич

студент института информационных технологий и анализа данных

e-mail: aleksandrabz792@gmail.com

Иркутский национальный исследовательский технический университет

664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова 83.

Аннотация. В статье рассматривается проблема адаптации образовательной программы подготовки ИТ-специалистов к решению сложных инженерных и, одновременно, творческих задач, связанных с развитием дата-журналистики¹. В качестве источника больших данных используются открытые государственные данные о системе здравоохранения. В статье отражены отдельные положения проектного обучения, сформированного на стандартах проектной и системно-инженерной деятельности, а также на принципах проведения хакатонов, где главным приоритетом является интеллектуальная составляющая работы команды и ее идеи. Приведены некоторые результаты использования проектного обучения при взаимодействии студентов - будущих ИТ-разработчиков с журналистами и исследователями данных. Предложенный подход и полученные на его основе результаты проектного обучения могут использоваться при создании методических рекомендаций для разработки совместных междисциплинарных образовательных программ, объединяющих сферу подготовки будущих ИТ-специалистов и дата-журналистов.

Ключевые слова: дата-журналистика, большие данные, визуализация, отчетность учреждений.

Цитирование: Ерженин Р.В., Бахвалова З.А., Волков Е.Д., Абзаев А.А. Проектное обучение: создание инструментария обработки больших данных для использования в дата-журналистике // Информационные и математические технологии в науке и управлении. 2021. № 4 (24). С. 111-124. DOI: 10.38028/ESI.2021.24.4.011.

Введение. По данным исследователей один среднестатистический житель Земли в 2020 году генерировал 1,7 Мб информации в секунду, и этот же индивид ежедневно потреблял объем информации, соответствующий в среднем 100 500 словам и 34 гигабайтам [1].

Если учитывать, что при всесторонней объемности подобного современного информационного поля человеческий мозг имеет определенные ограничения в восприятии информации, то можно обнаружить противоречие между ростом потребности человека в информации и его умственно-физических ограничениях. Состояние, при котором объем

¹ Дата-журналистика – это “сбор, очистка, организация, анализ, визуализация и публикация данных для создания журналистских материалов”.

потенциально полезной и актуальной информации превышает возможность ее обработки человеком, называют информационной перегрузкой [2]. Перегрузка возникает, когда когнитивные способности человека становятся помехой, а не помощником [3] и особенно остро эта проблема проявляет себя, когда индивид имеет дело с «большими данными», которые для него являются не только слишком большими, но и, одновременно, слишком «сырыми» для традиционных методов обработки.

Вопрос в определении термина «большие данные» (big data) на протяжении последних лет является особо дискуссионным, однако, в данном исследовании мы будем придерживаться определения, сформированного Doug Laney [4] и расширенного нами до формулировки «6V»:

1. VOLUME (объем) – количественная характеристика, указывающая на значительный объем физической информации (данных) о фактах или событиях;
2. VARIETY (разнообразие) – наличие множества самых разнообразных форматов информации (данных);
3. VELOCITY (скорость) – характеристика высокой скорости обновления, обработки и получения информации (данных) и результатов;
4. VALUE (польза) – способность качественно удовлетворять человеческую потребность в информации и получении новых знаний;
5. VERACITY (достоверность) – свойство бесспорного, твердо обоснованного и доказательного знания, содержащегося в информации (данных);
6. VISUALIZATION (визуализация) – технический приём представления числовой информации (данных) в виде, удобном для зрительного наблюдения и анализа.

В современном обществе, испытывающем информационную перегрузку, с каждым днем повышается спрос на различные аналитические материалы и новостные приложения, а также на логики и журналистские расследования, работа над которыми подразумевает обработку большого количества информации (данных). В данном случае следует говорить о развитии медиаконвергенции и появлении совершенно новой формы журналистского материала, основанной на обработке больших данных. Подобная форма получила название «журналистика данных», или «дата-журналистика», она включает в себя различные направления: большие базы данных, компьютерные отчёты и инфографику, визуализацию данных, интерактивную визуализацию, а также структурированную журналистскую систему управления информацией, где зафиксированы основные фактические сведения [5].

Первый пример «компьютерной журналистики» восходит к 1952 г., когда впервые было отмечено использование компьютера в работе журналиста для предсказания результатов выборов в США [6]. За это время дата-журналистика прошла несколько сложных этапов своего развития, что в конечном итоге привело к активному ее распространению по всему миру, и теперь в любых крупных СМИ есть хотя бы один материал, сделанный с помощью данных и визуальных инструментов [5]. К наиболее известным относятся:

- деловые дата-издания - «The New York», «The Washington Post», «Reuters»;
- яркие творческие коллективы, исследующие различные направления, к примеру, «The Pudding» и «Axios»;
- отдельные дата-журналисты, как, например, Mona Chalabi – британская дата-журналистка, которая публикует необычные графики на своей странице в Instagram;
- российские дата-издания, к примеру, Тинькофф-журнал и ряд других.

Вопросам развития отечественной дата-журналистики посвящены несколько научных исследований [7-9] и многочисленное количество интернет-публикаций, в частности [10-12], однако в России слабо раскрытым остается вопрос взаимодействия дата-журналистов с

разработчиками программного обеспечения, предназначенного для обработки больших данных, а также вопрос специальной подготовки ИТ-специалистов для работы в сфере журналистики данных.

Цель данной статьи – обозначить основные положения проектного обучения студентов ИТ-специальностей технического вуза и показать на примерах, как формируется предметная область разработки прикладного программного обеспечения, предназначенного для накопления, обработки и визуализации открытых государственных данных². Областью больших данных выбрана система здравоохранения т.к. в период пандемии именно эти данные особо востребованы в медийной среде для удовлетворения нарастающих запросов общества.

Проектное обучение как хакатон. Главная проблема для журналиста, знающего о возможностях дата-журналистики, заключается в сложности обработки и представления этих данных в привлекательном для читателя виде. В то же самое время в среде разработчиков программного обеспечения знают, как организовать и обеспечить информационные процессы обработки больших данных, но не знают, как представить результаты этой работы в значимом для читателя виде.

Одним из способов организации взаимовыгодного сотрудничества журналистов, редакторов, ИТ-разработчиков и исследователей данных стал «хакатон»³ [13]. В течение последнего десятилетия хакатоны стали особенно популярны в таких странах, как США, Канада, Нидерланды, Дания, Аргентина, Англия, Финляндия и т.п. [5]. Участие в хакатонах принимают студенты различных университетов, заинтересованные, в том числе, и в работе с открытыми государственными данными. К таким хакатонам относятся Canadian Open Data Experience (CODE), Hackathon Open Data Brussels, International Open Data Hackathon, Open Data Mashup и ряд других.

Российский опыт проведения хакатонов, где внедрялась и проверялась на практике модель взаимодействия общества и государства, включает такие проекты, как Федеральный хакатон «Data.gov.ru Hackathon», хакатон Audithon от Счетной Палаты РФ, хакатоны по открытым данным в Москве, Санкт-Петербурге, Воронеже, Уфе, Улан-Удэ и др. Поддержка в проведении хакатонов и конкурсов по разработке программных решений на основе открытых данных прозвучала и от Аналитического центра при Правительстве Российской Федерации.

К основным достоинствам хакатона, как инструмента для создания инновационных решений, относится получение от участников новых идей за достаточно короткое время. Однако чаще всего такой формат – это соревнование для команд подготовленных специалистов, желающих освоить «чужой» бюджет, а реальность такова, что 90% – это неопытные, наименее образованные участники, которые приходят в первую очередь из любопытства с желанием создать прототип, собрать команду или завести полезные знакомства [14].

Таким образом, при всех несомненных достоинствах хакатона к основным ограничениям его использования для создания более сложного продукта следует отнести следующее:

² Открытые государственные данные – открытые данные, опубликованные государственными органами, их территориальными органами, органами местного самоуправления или организациями, подведомственными государственным органам, органам местного самоуправления [15].

³ Англ. *hackathon*, от *hack* – хакер и *marathon* – марафон) – формат общения со специалистами в области обработки данных в режиме «мозгового штурма», в результате которого может появиться новый проект или рабочий прототип программного обеспечения для решения важной задачи.

1. Сложность предметной области. Для создания любого нового продукта даже в упрощенном виде необходим детальный анализ предметной области, и чем серьезней проблема, чем шире охват ее данными, тем сложнее анализ.
2. Фактор времени. Отведенного времени в рамках хакатона чаще всего недостаточно для решения сложных проектов, предполагающих глубокое погружение в предметную область.
3. Технооптимизм. Разработчики ИТ-систем очень редко ставят себе задачу найти наиболее подходящее решение. Чаще всего у них есть только желание попробовать определенную технологию [14], возможно, только ту, которая им известна.

Таким образом, все три указанных ограничения связаны с проектным треугольником: трио времени, ресурсов и объема работ. Очевидно, что если целью является создание реального медиапродукта, а не прототипа, то его будет трудно вписать в условия проведения хакатона без потери качества, особенно когда речь идет о привлечении студентов, большинство из которых не имеют ни должной подготовки, ни достаточного опыта.

Хакатон, в первую очередь, полезен студентам с образовательной точки зрения, т.к. позволяет развивать компетенции технологического предпринимательства и проектного управления, что особенно важно для современной подготовки специалистов инженерных специальностей. В этом направлении хакатон пересекается с целями *проектного обучения*, внедряемого в последнее время в учебный процесс технических вузов в целях переориентации на подготовку специалистов, для которых приоритетом становится именно интеллектуальная составляющая работы команды и ее идеи и, в том числе, и ИТ-специалисты здесь являются в качестве наиболее приоритетных. Если для участников хакатонов задачей максимум является быстрый поиск инвестора, то проектное обучение должно быть направлено не только на развитие способностей к технологическому предпринимательству и работе в команде, но и также на системное и последовательное накопление инженерных знаний о принципах и основах разработки и реализации ИТ-проектов.

Следует обратить внимание на то, что курс «Основы проектной деятельности» введен в обучение в университетах еще в 2020 году, при этом профессорско-преподавательский состав достаточно часто сталкивается с определенными сложностями с ведением этого курса, что обусловлено, по нашему мнению, в первую очередь слабой методической подготовкой комбинированного обучения. С целью создания методического обеспечения в следующем разделе будет предложена структура организации проектного обучения будущих ИТ-разработчиков для получения навыков использования открытых государственных данных при взаимодействии с дата-журналистами, базирующаяся на опыте работы команды студентов в этом направлении.

1. Организация проектного обучения. Создание медиапродукта на основе больших открытых государственных данных – это творческая исследовательская задача, решение которой требует от обучающихся использования интегрированных знаний в различных областях, а от преподавателя необходимых компетенций, позволяющих использовать особые методические (проектные) подходы. Поскольку проектный метод обучения предусматривает разработку ИТ-проекта, от преподавателя требуется не только тщательное планирование, но и качественное управление исполнением проекта, в том числе организацию обсуждения со всеми участниками проекта: «внутренними» и «внешними». Очевидно, что эффективность образовательного проекта во многом зависит от качества методики проектного обучения, способной учитывать теоретическую, практическую и познавательную значимость полученных результатов.

К особенностям предложенного далее подхода к организации проектного обучения можно отнести то, что разработка проекта основана на микросервисной архитектуре, т.е. за развитие, разработку и сопровождение каждого модуля отвечает отдельная команда. Кроме этого, команда ориентирована на самостоятельную деятельность обучающихся, организованную в смешанном формате выполнения самостоятельной или групповой работы, ограниченную конкретным временным отрезком.

Основные положения организации проектного обучения сгруппированы по следующим направлениям:

Стандарты, используемые для формализации методики:

- ГОСТ Р 54869-2011 «Национальный стандарт Российской Федерации. Проектный менеджмент Требования к управлению проектом».
- ГОСТ 34.601-90 «Информационная технология. Комплекс стандартов на автоматизированные системы. Автоматизированные системы. Стадии создания».
- ГОСТ Р ИСО/МЭК 12207-2010 «Национальный стандарт Российской Федерации. Информационная технология. Системная и программная инженерия. Процессы жизненного цикла программных средств».
- ГОСТ Р ИСО/МЭК 15288-2005 «Национальный стандарт Российской Федерации. Информационная технология. Системная инженерия. Процессы жизненного цикла систем».

Ролевая (организационная структура) образовательного проекта приведена в таблице 1:

Таблица 1. Роли в образовательном проекте.

	<i>Роль</i>	<i>Юрлицо</i>	<i>Физлицо</i>
1	Конечный заказчик проекта	Средство массовой информации (СМИ)	Журналист, редактор
2	Инициатор проекта	Университет, Консалтинговая компания	Руководитель университета или компании
3	Руководитель проекта		Руководитель образовательной программы (проекта)
4	Куратор проекта	Консалтинговая компания	Руководитель компании
5	Команда проекта		Студенты, преподаватели, аналитики, ИТ-специалисты

Схема взаимоотношений в образовательном проекте.

В команде студентов есть три роли: наставник (преподаватель), руководитель проекта (студент) и участники команды разработчиков. Поскольку суть проектного обучения заключается в эмпирическом подходе, самоорганизации и постоянном совершенствовании, эти три роли дают минимальное определение обязанностей и подотчетности для эффективного выполнения работы в команде [16]. Структура взаимоотношений ролей команды проекта показана на рис.1.

Основная роль руководителя образовательного проекта заключается в организации эффективного процесса обучения. Он учит, тренирует и наставляет команду в тех вопросах, которые команда не может решить самостоятельно.

Руководитель команды проекта (студент) поддерживает сотрудничество между участниками команды и создает положительную рабочую среду. В его обязанности входит организация встреч команды для обсуждения рабочих вопросов.

Каждый член команды просто член команды. В группе нет четких должностей, здесь не выделяются бизнес-аналитик, архитектор, лидер команды, UX/UI-дизайнер, программист.

Команда действует совместно: она самостоятельно определяет, как выполнить поставленную задачу.

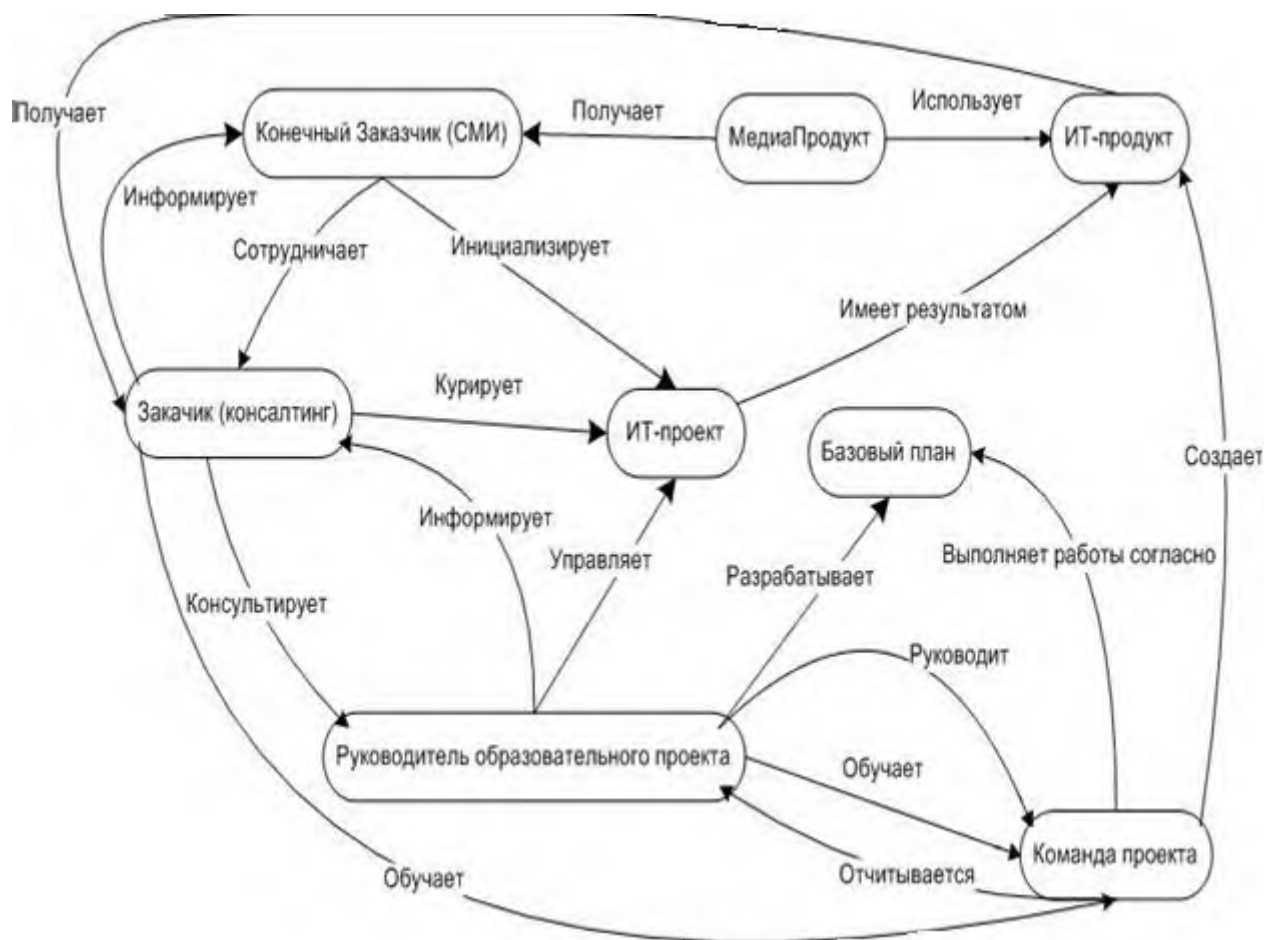


Рис. 1. Схема взаимоотношений в образовательном проекте.

Большие данные – открытые государственные данные о системе здравоохранения приведены в таблице 2.

Таблица 2. Большие открытые данные о системе здравоохранения.

	Название	Адрес	Данные
1	Официальный сайт для размещения информации об учреждениях	bus.gov.ru	Данные о плановых показателях и результатах финансово-хозяйственной деятельности учреждений, отраженные в формах бюджетной отчетности в соответствии с требованиями Приказа Минфина России №86Н от 21.07.2011 [17] и другими локальными нормативными актами органов исполнительной власти.
2	Единая государственная информационная система в сфере здравоохранения	egis.rosminzdrav.ru	Геоданные о местонахождении учреждений; данные о доступности скорой и первичной медицинской помощи, укомплектованности кадрами, состоянием зданий.

Основные характеристики плана проектного обучения:

- Проектное обучение №1 – анализ данных о финансово-хозяйственной деятельности учреждений по отчетам, размещаемым в сети Интернет в соответствии с Приказом Минфина России №86Н от 21.07.2011, условное название - «Проект 86Н».
- Проектное обучение №2 – анализ данных об исполнении Указа Президента РФ №597, условное название - «Проект Указ 597».

- Проектное обучение №3 – анализ данных о состоянии фельдшерско-акушерских пунктов (ФАП) в рамках Указа Президента № 597, условное название - «Проект ФАП».

Итерационная модель жизненного цикла ИТ-проекта.

В учебных целях фазы жизненного цикла могут быть непоследовательными и начало работ над следующим этапом может наступить до завершения предыдущего. Это обеспечивает гибкость обучения, т.к. позволяет проходить этапы в несколько итераций, каждый раз создавая новый прототип и проверяя актуальность требований, по которым он создавался, внося технические доработки в интерфейс и функциональность. Подобная модель управления ИТ-проектом предоставляет возможность оперативно создать прототипы программного продукта для проверки его работоспособности с пользователями и, соответственно, быстрого получения комментариев и замечаний к системе [18].

Этапы жизненного цикла программного продукта:

Этап 1. Выработка системных требований (постановка задачи).

- Описание предметной области.
- Формулировка цели работы.
- Составление словарей.
- Описание функционального назначения системы.

Этап 2. Формальное описание требований к программному продукту.

- Диаграмма вариантов использования.
- Функциональные требования.
- Нефункциональные требования.
- Специальные требования.
- Инфологическая модель предметной области (нотация Чена).

Этап 3. Разработка технического задания.

Этап 4. Проектирование программного продукта.

- Выбор инструментария для разработки.
- Формирование архитектуры приложения.
- Проектирование хранилища данных.
- Подготовка макетов интерфейсных объектов.
- Разработка дизайна визуализации данных.

Этап 5. Программная реализация.

Этап 6. Разработка документации.

- Описание сценариев действий пользователя.
- Описание сценариев действий оператора.
- Описание сценариев действий администратора.

2. Результаты проектного обучения. Наиболее существенное требование к коммуникациям при разработке программного решения выражается в тезисе «Хороший ИТ-подрядчик всегда будет говорить с заказчиком на одном с ним языке». Очевидно, что язык дата-журналистики – это инфографика и визуализация, а для разработчика ИТ-систем еще важны технологии, информационные процессы и логика, которые для журналиста являются «черной магией». Чтобы разрешить эти противоречия, следует использовать профессиональную ИТ-лексику так, что она была одновременно и максимально понятна потенциальному «заказчику», и в то же самое время могла сформировать представление об информационных объектах, их атрибутах и отношениях между ними, а также о характере информационных потребностей пользователей.

Учитывая ограниченные возможности данной статьи, далее будут представлены отдельные результаты проектного обучения, отражающие указанные принципы, т.е. сосредоточенные на понимании ИТ-разработчиком потребностей дата-журналиста.

Так, например, инфологическая модель предметной области, разработанная студентами 4-го курса специальности «Информационные системы и технологии» Иркутского национального исследовательского технического университета в рамках проекта «86Н» с использованием специальных графических нотаций, отображена на рисунке 2. Инфологическая модель предметной области проекта ФАП отображена на рисунке 3.

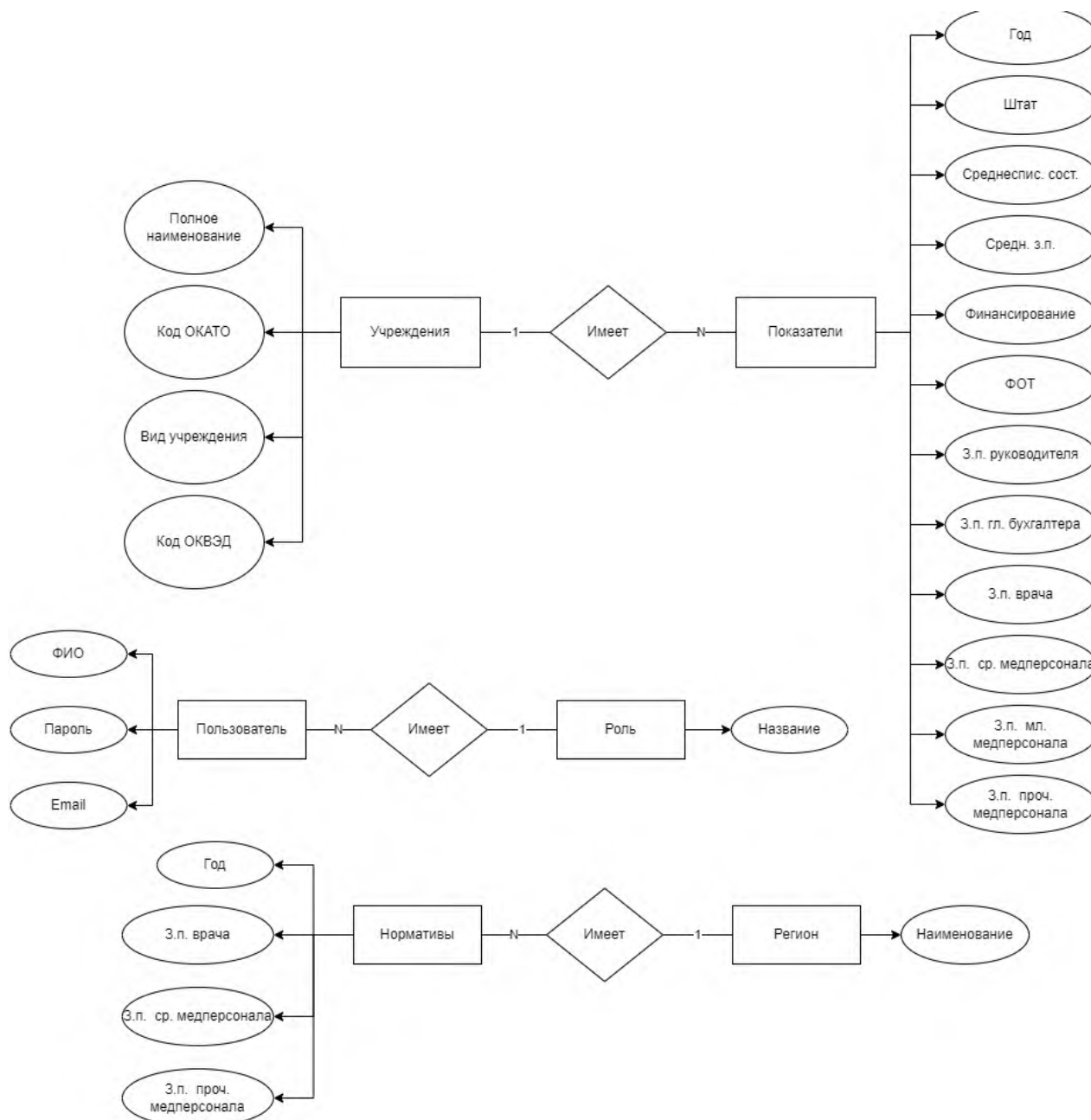


Рис. 2. Инфологическая модель предметной области для проекта «86Н».

Инфографика – неотъемлемая и наиболее креативная составляющая дата-журналистики. Визуализация данных – это отчасти искусство, отчасти наука и основная задача здесь состоит в том, чтобы сделать искусство правильным, не искажая науку, и

наоборот [19]. На рисунке 4 представлен макет экрана «Карта медицинских пунктов», разработанный студентами в рамках описания технического задания к проекту «ФАП».

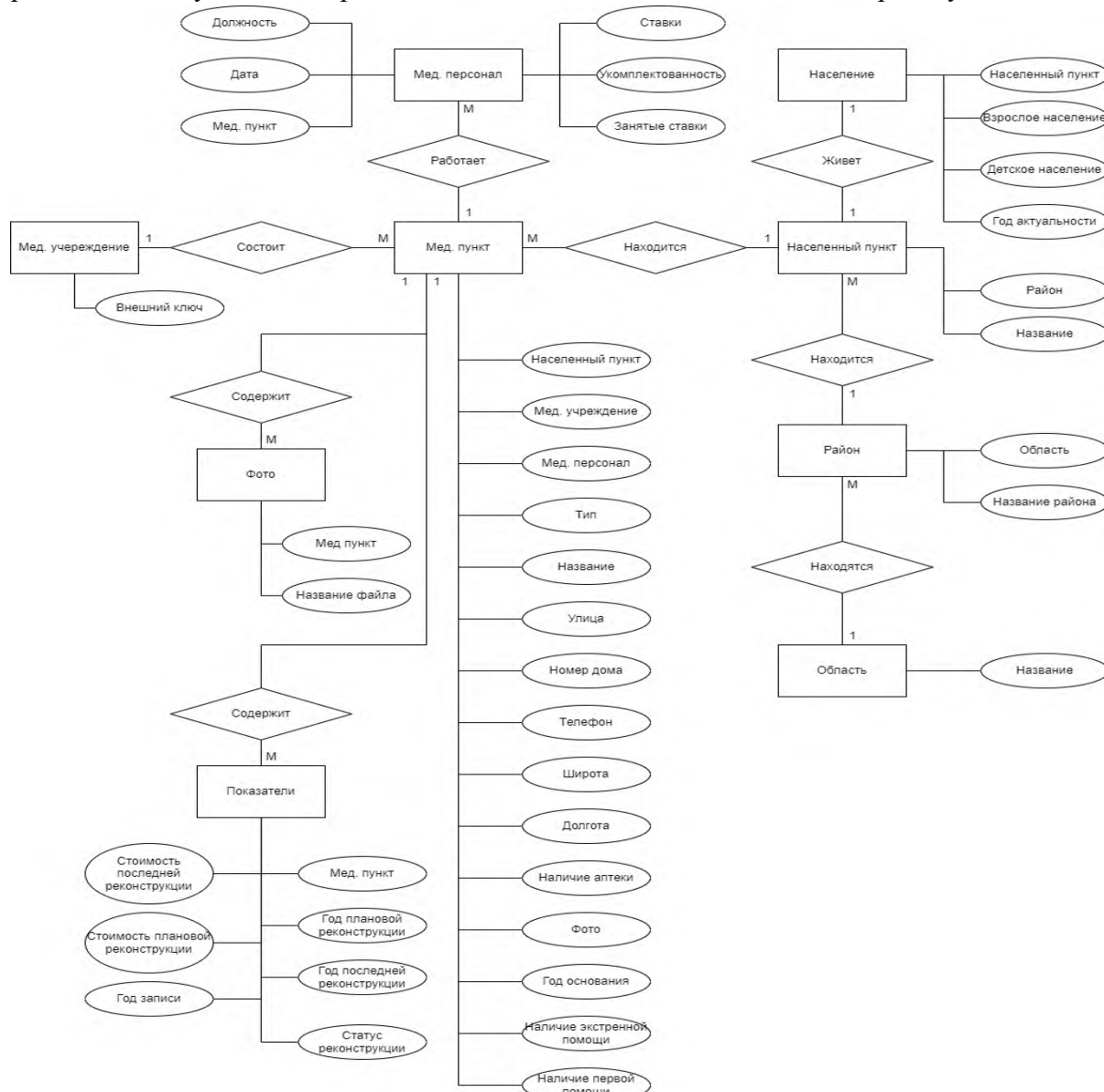


Рис. 3. Инфологическая модель предметной области проекта «ФАП».

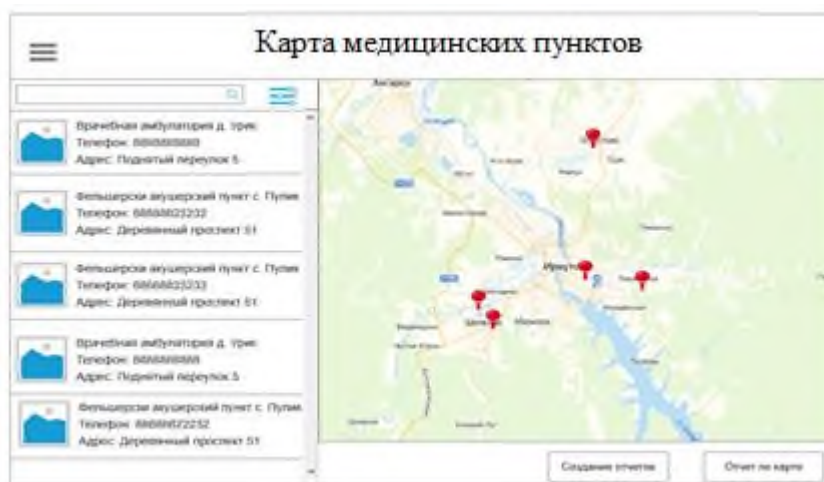


Рис. 4. Макет экрана «Карта медицинских пунктов».

К одной из наиболее информативных форм инфографики, позволяющих создавать простую систему из сложных и разрозненных отчетов и данных, относится **дашборд**⁴. Подобная форма представления данных и информации позволяет упростить процесса визуализации отчетов, объединить различные показатели в единую структурированную систему, создать иерархию данных, выявить критические точки, предотвратить риски, выявить проблемы, выбрать управленческое решение.

На рисунке 5 представлен макет экрана экрана-дашборда, разработанный в рамках создания функциональных требований к визуализации информации по проекту «Указ 597».

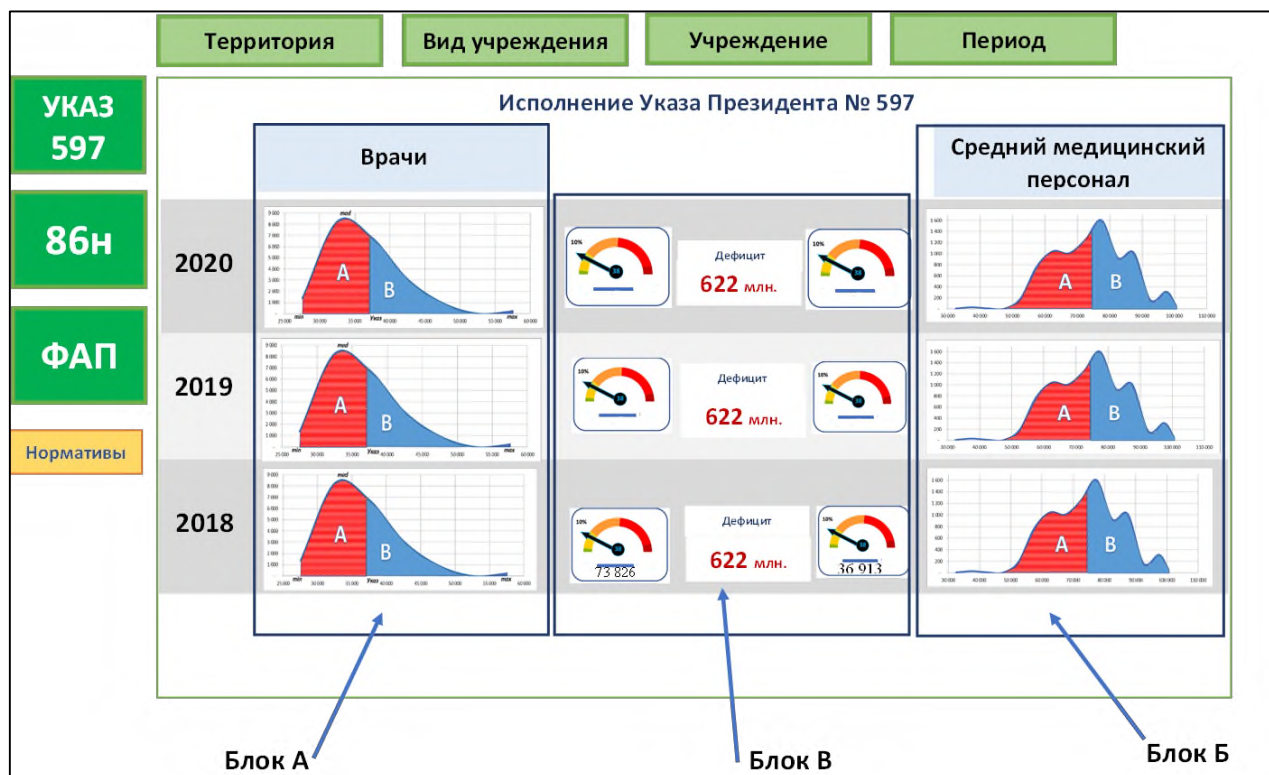


Рис. 5. Макет экрана-дашборда «Исполнение Указа Президента № 597».

Заключение. Развитие дата-журналистики, как нового медиатренда в информационной культуре российского общества, можно рассматривать одновременно и как появление новых алгоритмов деятельности современного дата-журналиста, главная задача которого состоит в «совмещении роли переводчика с экономического/государственного/цифрового языка в язык, понятный всем, и, одновременно, роли аналитика, представляющего материалы в предельно наглядной форме» [20]. В то же самое время наиболее сложным остается пока вопрос инструментального обеспечения дата-журналиста и, в первую очередь, это связано со стоимостью разработки, которая в некоторых случаях может сравниться с рекламным бюджетом СМИ. Очевидно, хакатоны по-прежнему будут играть важную роль не только в развитии дата-журналистики, привлекая дизайнеров, программистов и открывая новые таланты, но и в улучшении качества образования студентов. Однако, системная подготовка специалистов на базе высших учебных заведений, переориентированная и адаптированная для решения междисциплинарных, сложных и, одновременно, творческих задач имеет намного больше перспектив для развития информационной, гражданской и активистской культуры общества.

⁴ В переводе с английского dashboard — это интерактивная панель с важной информацией, сгруппированной на одном экране, где отображены показатели из систем аналитики, таблиц и т.п.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Infographic. Data Never Sleeps 6.0. Режим доступа: <https://www.domo.com/learn/data-never-sleeps-6> (дата обращения: 12.12.2021).
2. Общество и пандемия: опыт и уроки борьбы с COVID-19 в России. Москва. 2020. 744 с.
3. Bohn R., Short J.E. Measuring Consumer Information. International Journal of Communication. 6. 2012. Pp. 980-1000.
4. Laney D. 3D Data Management: Controlling Data Volume., Velocity, and Variety. 06.02.2001. Режим доступа: <http://blogs.gartner.com/doug-laney/files/2012/01/ad949-3D-Data-Management-Controlling-Data-Volume-Velocityand-Variety.pdf> (дата обращения: 12.12.2021).
5. Неренц Д.В. «Журналистика данных» в США. США & Канада: экономика, политика, культура. 2019. 49(4). С. 75-91. DOI: 10.31857/S032120680004360-0.
6. Houston B. Computer-Assisted Reporting: A Practical Guide, Fourth Edition. 2015. New York City. Routledge.
7. Лисицин М.Е. Понятие журналистика данных в освещении российских и зарубежных СМИ: дис. докт. техн. наук. М. 2019. 202с.
8. Симакова С.И. Дата-журналистика как медиатренд // Вестник ННГУ. 2014. №2-2. Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/data-zhurnalistika-kak-mediatrend> (дата обращения: 02.12.2021).
9. Шилина М.Г. Data Journalism – дата-журналистика, журналистика метаданных – в структуре медиакommunikации: к вопросу формирования теоретических исследовательских подходов // Медиакоп. 2013. № 1.
10. Что такое журналистика данных. Режим доступа: <https://texterra.ru/blog/chto-takoe-zhurnalistika-dannykh.html> (дата обращения: 12.12.2021).
11. Сервис работы с документами и таблицами от Google. Режим доступа: <https://docs.google.com/> (дата обращения: 12.12.2021).
12. Каталоги открытых данных DataGov.ru (Россия). Режим доступа: <http://www.datagov.ru> (дата обращения: 10.12.2021).
13. Хакатон по журналистике данных: как находить в Интернете сенсации. Режим доступа: https://news.itmo.ru/ru/startups_and_business/initiative/news/5599/ (дата обращения: 02.12.2021).
14. Бут. А. Почему хакатоны (почти) никогда не приносят компаниям новые идеи? Режим доступа: <https://rb.ru/opinion/hakatony-ne-prinosyat-idei/> (дата обращения: 12.12.2021).
15. Протокол заседания Правительственной комиссии по координации деятельности Открытого правительства от 25 декабря 2014 г. № 10.
16. Гибкая методология Agile. Режим доступа: <https://www.atlassian.com/ru/agile/scrum/roles> (дата обращения: 12.12.2021).
17. Приказ Минфина России от 21 июля 2011 г. № 86н «Об утверждении порядка предоставления информации государственным (муниципальным) учреждением, её размещения на официальном сайте в сети "Интернет" и ведения указанного сайта». Режим доступа: <https://roskazna.gov.ru/dokumenty/gis/elektronnyy-byudzhet/ofitsialnyy-sayt-gmu/535198/> (дата обращения: 12.12.2021).
18. Управление ИТ-проектами: введение, жизненный цикл и окружение проекта: Учеб.-метод. пособие к курсу «Проектирование информационных систем управления» для бакалавров направления 09.03.02 «Информационные системы и технологии» / Т.Ф. Шамсутдинов. Казань: Изд-во Казанск. гос. архитектур.-строит. ун-та. 2017. 103 с.

19. Claus O. Wilke Fundamentals of Data Visualization. 2019. 389 p.

20. Бегтин И. Памятка по журналистике данных // Редакторский портал. Режим доступа: <http://www.redactor.in.ua/internet/3126.html> (дата обращения: 12.12.2021).

UDC 378.147:004.9+070.1

PROJECT LEARNING: CREATING A BIG DATA PROCESSING TOOLKIT FOR USE IN DATE JOURNALISM

Roman Yerzhenin

Candidate of Economic Sciences,

General Director of OOO NPTs GOSUCHET,

e-mail: rerzhenin@gmail.com

143441 Moscow region, Krasnogorsk district, 69 km MKAD, p/o Putilkovo,

OOK CJSC "Greenwood", p. 19

Zinaida Bakhvalova

Ph.D., Associate Professor, Associate Professor

of the Institute of Information Technology and Data Analysis

e-mail: zinand@inbox.ru

Evgeniy Volkov

student of the Institute of Information Technology and Data Analysis

e-mail: vamper.2012@gmail.com

Alexander Abzaev

student of the Institute of Information Technology and Data Analysis

e-mail: aleksandrabz792@gmail.com

Irkutsk National Research Technical University

664074, Irkutsk, Lermontov st., 83.

Abstract. The article discusses the problem of adapting the educational program of training IT specialists to solving complex engineering and, at the same time, creative problems associated with the development of data journalism. Open government data on the health care system is used as a source of big data. The article proposes the main provisions of the approach to project training, formed on the standards of project and system engineering activities, as well as on the principles of conducting hackathons, where the main priority is the intellectual component of the team's work and its ideas. Some results of the use of project-based learning in the interaction of students - future IT developers with journalists and data researchers are presented. The proposed approach and the results of project training obtained on its basis can be used to create guidelines for the development of joint interdisciplinary educational programs that combine the field of training future IT specialists and data journalists.

Keywords: data- journalism, big data, visualization, reporting of institutions.

REFERENCES

1. Infographic. Data Never Sleeps 6.0. Available at: <https://www.domo.com/learn/data-never-sleeps-6> (accessed 12.12. 2021).
2. Obshchestvo i pandemiya: opyt i uroki bor'by s COVID-19 v Rossii [Society and the pandemic: experience and lessons of the fight against COVID-19 in Russia]. Moskva = Moscow. 2020. 744 p. (in Russian).

3. Bohn R., Short J.E. Measuring Consumer Information. International Journal of Communication. 6. 2012. Pp. 980-1000.
4. Laney D. 3D Data Management: Controlling Data Volume., Velocity, and Variety. 06.02.2001. Available at: <http://blogs.gartner.com/doug-laney/files/2012/01/ad949-3D-Data-Management-Controlling-Data-Volume-Velocityand-Variety.pdf> (accessed 12.12.2021).
5. Nerents D.V. «Zhurnalistika dannykh» v SSHA. SSHA & Kanada: ekonomika, politika, kul'tura ["Data Journalism" in the United States. USA & Canada: economics, politics, culture]. 2019. 49(4). Pp. 75-91. DOI: 10.31857/S032120680004360-0. (in Russian).
6. Houston B. Computer-Assisted Reporting: A Practical Guide, Fourth Edition. 2015. New York City. Routledge.
7. Lisitsin M.Ye. Ponyatiye zhurnalistika dannykh v osveshchenii rossiyskikh i zarubezhnykh SMI [The concept of data journalism in the coverage of Russian and foreign media]: dis. doct. tech. sciences. 2019. 202 p. (in Russian).
8. Simakova S.I. Data-zhurnalistika kak mediatrend [Data journalism as a media trend]// Vestnik NNGU = Bulletin of NNGU. 2014. No. 2-2. Available at: <https://cyberleninka.ru/article/n/data-zhurnalistika-kak-mediatrend> (accessed 02.12.2021). (in Russian).
9. Shilina M.G. Data Journalism – data-zhurnalistika, zhurnalistika metadannykh – v strukture mediakommunikatsii: k voprosu formirovaniya teoreticheskikh issledova-tel'skikh podkhodov [Data Journalism - data journalism, metadata journalism - in the structure of media communication: on the formation of theoretical research approaches] // Mediaskop = MediaScope. 2013. No. 1. (in Russian).
10. Chto takoye zhurnalistika dannykh [What is data journalism]. Available at: <https://texterra.ru/blog/chto-takoe-zhurnalistika-dannykh.html> (accessed 02.12.2021) (in Russian).
11. Servis raboty s dokumentami i tablitsami ot Google [Service for working with documents and spreadsheets from Google]. Available at: <https://docs.google.com/> (accessed 10.12.2021). (in Russian).
12. Katalogi otkrytykh dannykh DataGov.ru (Rossiya) [Open data catalogs DataGov.ru (Russia)]. Available at: <http://www.datagov.ru> (accessed 10.12.2021). (in Russian).
13. Khakaton po zhurnalistike dannykh: kak nakhodit' v Internetе sensatsii [Data Journalism Hackathon: How to Find Internet Sensations]. Available at: https://news.itmo.ru/ru/startups_and_business/initiative/news/5599/ (accessed 02.12.2021). (in Russian).
14. But A. Pochemu khakatony (pochti) nikogda ne prinisyat kompaniyam novyye idei? [Why do hackathons (almost) never bring new ideas to companies?]. Available at: <https://rb.ru/opinion/hakatony-ne-prinisyat-idei> (accessed 12.12.2021). (in Russian).
15. Protokol zasedaniya Pravitel'stvennoy komissii po koordinatsii deyatel'nosti Otkrytogo pravitel'stva ot 25 dekabrya 2014 g [Minutes of the meeting of the Government Commission for the Coordination of the Activities of the Open Government dated December 25, 2014]. No. 10. (in Russian).
16. Gibkaya metodologiya Agile [Agile methodology]. Available at: <https://www.atlassian.com/ru/agile/scrum/roles> (accessed 12.12.2021). (in Russian).
17. Prikaz Minfina Rossii ot 21 iyulya 2011 g. No. 86n «Ob utverzhdenii poryadka predostavleniya informatsii gosudarstvennym (munitsipal'ny)m uchrezhdeniyem, yeyo razmeshcheniya na ofitsial'nom sayte v seti "Internet" i vedeniya ukazannogo sayta» [Order of the Ministry of Finance of Russia dated July 21, 2011. No. 86h "On approval of the procedure

- for the provision of information by a state (municipal) institution, its posting on the official website on the Internet and maintaining the specified site"]. Available at: <https://roskazna.gov.ru/dokumenty/gis/elektronnyy-byudzheth/ofitsialnyy-sayt-gmu/535198/> (accessed 12.12.2021). (in Russian).
18. Shamsutdinov T.F. Upravleniye IT-proyektami: vvedeniye, zhiznennyy tsikl i okruzhe-niye proyekta: Ucheb.-metod. posobiye k kursu «Proyektirovaniye informatsionnykh si-stem upravleniya» dlya bakalavrov napravleniya 09.03.02 «Informatsionnyye sistemy i tekhnologii» [IT project management: introduction, life cycle and project environment: Textbook. Method. manual for the course "Designing management information systems" for bachelors of the direction 09.03.02 "Information systems and technologies"]. Kazan': Izdatel'stvo Kazanskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta = Publishing house of the Kazan State University of Architecture and Civil Engineering. 2017. 103 p. (in Russian).
19. Claus O. Wilke Fundamentals of Data Visualization. 2019. 389 p.
20. Begtin I. Pamyatka po zhurnalistike dannykh [Memo on Data Journalism] // Redaktorskiy portal = Editorial Portal. Available at: <http://www.redactor.in.ua/internet/3126.html> (accessed 12.12.2021). (in Russian).

Статья поступила в редакцию 13.12.2021; одобрена после рецензирования 20.12.2021; принята к публикации 24.12.2021.

The article was submitted 13.12.2021; approved after reviewing 20.12.2021; accepted for publication 24.12.2021.

СОВРЕМЕННЫЙ ПОДХОД К МОНИТОРИНГУ УСПЕВАЕМОСТИ ОБУЧАЮЩИХСЯ С ПРИМЕНЕНИЕМ ИНФОРМАЦИОННО-КОММУНИКАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

Поначугин Александр Викторович

к.э.н., доцент,

кафедра Прикладной информатики и информационных технологий в образовании

Нижегородский государственный педагогический университет

им. К. Минина (Мининский университет),

e-mail: sasha3@bk.ru

603005, г. Нижний Новгород, ул. Ульянова, д. 1.

Аннотация. Целью статьи является обоснование эффективности проведения поэтапного мониторинга успеваемости обучающихся с применением информационно-коммуникационных технологий. Актуальность темы обусловлена тем, что важным вопросом современного образования является разработка, апробация и дальнейшее внедрение системы мониторинга качества образовательного процесса в ВУЗах. Основным методом является мониторинг, который может улучшить состояние учебного процесса путем выявления проблем и целенаправленной индивидуальной работы. В статье рассматривается алгоритм реализации поэтапного мониторинга с применением информационно-коммуникационных технологий на занятиях.

По результатам проведенных исследований сделаны выводы о необходимости внедрения поэтапного мониторинга на занятиях, направленного на управление аудиторией, развитие воспитательной работы и беспристрастную оценку успеваемости обучающихся.

Ключевые слова: информационно-коммуникационные технологии, мониторинг, образовательный процесс, поэтапный мониторинг, эффективность.

Цитирование: Поначугин А.В. Современный подход к мониторингу успеваемости обучающихся с применением информационно-коммуникационных технологий // Информационные и математические технологии в науке и управлении. 2021. № 4 (24). С. 125-131. DOI: 10.38028/ESI.2021.24.4.012.

Введение. Модернизация образования, изменение образовательной парадигмы, внедрение обновленных стандартов высшего образования диктуют необходимость развития существующих систем независимой оценки качества подготовки обучающихся [1]. Современные выпускники ВУЗов должны иметь достаточное фундаментальное образование, чтобы уметь самостоятельно получать новые знания в соответствии с новыми условиями. Знания по информатике – одна из основ, закладываемых еще в школе [2]. Пределы использования информационных и коммуникационных технологий (далее - ИКТ) в жизнедеятельности человека постоянно расширяются. Это означает, что также постоянно повышается требования к качеству обучения. В то же время стремительно увеличивающиеся информационные потоки в современном мире и необходимость их обработки требуют внедрения новых информационных технологий в учебный процесс в ходе обучения. Однако в процессе обучения преподаватели и обучающиеся не имеют полной картины успеваемости, несмотря на наличие всех необходимых удобств. Традиционная система оценки знаний обучающихся в силу ее организационных и технологических особенностей не могут удовлетворить потребности общества [3]. Результаты не полны и их очень сложно использовать для получения объективных количественных и качественных показателей, позволяющих контролировать качество образования. Информатика – это точная наука, имеющая четкую алгоритмическую конструкцию и возможность достаточно точного измерения знаний, умений и практических навыков обучающихся.

Эффективность преподавателя на занятиях, проводимых с использованием информационных технологий, зависит от того, как он выполняет функцию контроля результатов и обеспечивает объективную обратную связь, которая выражается в структурной упорядоченности и направляет всю деятельность всех обучающихся образовательного процесса на достижение определенных результатов и принятие оперативных решений. И обучающиеся, и преподаватели должны быть хорошо знакомы с этими технологиями и их использованием, чтобы они были эффективными [4].

Для реализации данного подхода необходимо осуществлять поэтапный мониторинг учебного процесса на занятиях, проводимых с использованием ИКТ. Мониторинг образовательного процесса на занятиях, проводимых с использованием информационных технологий – это процедура прослеживаемости образовательных результатов с использованием ИКТ в рамках всей системы контроля, сбора и обработки информации. Данная система представляет собой набор показателей, анализирующих и отражающих учебный процесс, направленный на достижение конкретных целей.

Применение ИКТ для осуществления мониторинга учебного процесса на занятиях, проводимых с использованием информационных технологий, дает возможность немедленной обратной связи. Это сокращает время, затрачиваемое на непродуктивную механическую работу, дает преподавателям время для творческой работы, позволяет контролировать усвоение обучающимися базовых знаний и навыков, корректирует процесс обучения, одновременно персонализируя его. Использование ИКТ дает возможность автоматизировать большую часть процессов, обеспечивающих оценочную деятельность – от подготовки и измерения материалов до оценки результатов обучения студентов [5]. Получение информации о ходе учебного процесса с использованием ИКТ позволяет лучше понять его суть, и при необходимости, внести коррективы. Таким образом, мониторинг дает возможность своевременно вмешиваться в механизмы и закономерности учебного процесса или развития личности.

В статье рассматривается пошаговый алгоритм реализации мониторинга на занятиях, проводимых с использованием информационных технологий.

Этот алгоритм включает в себя следующие этапы: вводный и мотивационный этап; этап репродуктивной самостоятельной работы; этап продуктивной самостоятельной работы и заключительный этап. Особенностью мониторинга является прослеживаемость образовательного процесса, поэтапное обследование и оценка успеваемости на занятиях. Внедрение поэтапного мониторинга на занятиях, проводимых с использованием информационных технологий направлено на управление аудиторией, развитие воспитательной работы и беспристрастную оценку успеваемости.

Материалы и методы исследования. Использование ИКТ в профессиональной деятельности преподавателя объясняется тем фактом, что они обеспечивают не только видимость высокого уровня, но и обеспечивают организацию различных форм педагогического взаимодействия. ИКТ передают необходимый комплекс дидактических материалов в электронном виде, который обогащает традиционные формы образовательной деятельности, повышает эффективность образовательных систем, качество учебных студентов в целом [6,7]. Качество обучения студентов характеризует не только результат образовательной деятельности – уровень готовности, но и факторы этого результата, которые зависят от цели образования, содержания и методологии организации и технологий. Разработка и основа мониторинга в качестве системы отслеживания образовательного процесса и улучшения его качества, целей, задач, механизмов реализации и показателей раскрыты в работах Bedesem и Diker [8]. Анализ результатов образовательной деятельности позволяет определить пути преодоления сложностей, которые возникают в процессе обучения [9, 10].

Мониторинг образовательного процесса на занятиях, проводимых с использованием информационных технологий может применяться в качестве основного метода.

Поэтапный мониторинг, пошаговый алгоритм реализации которого был рассмотрен выше, включает диагностику, анализ успешной реализации учебных процессов и своевременной коррекции всех структурных компонентов. Педагогическая ценность использования ИКТ на каждом этапе мониторинга учебного процесса на занятиях, определяется целями и содержанием каждого этапа и основана на возможностях программного обеспечения, и позволяет осуществлять качественный подход к образовательному процессу.

На каждом этапе мониторинга учебного процесса наиболее важные методологические цели при эффективном использовании ИКТ будут следующими:

1. Индивидуализация и дифференциация процесса обучения (например, с использованием индивидуальной образовательной траектории).
2. Управление обратной связью и решение проблем в результате исследования (чтобы указать причины ошибочных действий студента и представлять некоторые из них на экране компьютера) и прогресс оценки.
3. Самостоятельность и самокоррекция.
4. Выполнение тренировок в процессе обучения и самоуправления студентов.
5. Компьютерная визуализация образовательной информации.
6. Моделирование изучаемых или исследуемых объектов, процессов или явлений.
7. Усиление мотивации обучения.
8. Внесение стратегии обучения для студентов.
9. Разработка определенного вида мышления (визуально-образных, теоретических и т.д.).
10. Формирование навыков для принятия наилучшего решения или альтернативных решений в сложной ситуации.
11. Формирование культуры учебной деятельности и информационной культуры.

Использование мониторинга на занятиях, проводимых с использованием информационных технологий позволяет преподавателю выступать в качестве фасилитатора и в качестве консультанта на основе объективной информации путем прямого управления процессом приобретения обучающимися образовательного материала с использованием ИКТ. Использование мониторинга позволяет реализовать качественный подход к образовательному процессу, работающий в предметных субъектах [9], устраняя психологический барьер неопределенности в собственных силах при работе на компьютере, генерируя готовность и необходимость проанализировать и оценивать собственные действия, а также для применения информационных технологий для решения профессиональных и лично важных проблем [11].

Процесс обучения – это не только результат работы преподавателей и реакция обучающихся, а также комплекс совместных усилий, их объединение для достижения совместных целей и решения совместных задач.

Организация мониторинга образовательного процесса на занятиях, проводимых с использованием ИКТ нацелена на решение трех основных педагогических задач.

Первая – формирование различных групп в соответствии с интеллектуальными и практическими навыками, которые необходимы для успешной реализации каждого этапа образовательного процесса на занятиях, проводимых с использованием ИКТ. Эта задача также направлена на обновление профессионального опыта и творческого потенциала преподавателей.

Вторая – знакомство преподавателей с иностранным и российским опытом мониторинга образовательного процесса на занятиях, проводимых с использованием информационных технологий. Результаты национальных и международных сравнительных исследований

должны мотивировать преподавателей к систематическому отслеживанию образовательного процесса с использованием ИКТ.

Третья – показать сущность, структуру, функции и методы внедрения педагогической активности в электронное обучение, а также сущность мониторинга и его роль в профессиональной деятельности преподавателя, методов и форм его реализации в совместной деятельности со студентами.

Результаты исследования. Пошаговый алгоритм реализации мониторинга на занятиях, проводимых с использованием информационных технологий включает в себя следующие этапы: вводный и мотивационный этап; этап репродуктивной самостоятельной работы; этап продуктивной самостоятельной работы и заключительный этап. На каждом из этих этапов используются ИКТ.

Ниже представлены индикаторы успешной реализации каждого этапа занятия, чтобы преподаватели могли работать с данными мониторинга каждого этапа (Табл. 1).

Таблица 1. Индикаторы реализации поэтапного мониторинга

Этапы	Шаги	Деятельность преподавателей / студентов	Индикаторы
I	1	Анкета/опрос, презентация цели, задач и структура	Позитивное отношение к процессу обучения. Мнение студентов о предстоящих мероприятиях, они заинтересованы в изучаемом предмете
	2	Оценка, анализ результатов посредством балльно-рейтинговой оценки	Студенты могут набрать баллы за активность на занятиях
	3	Презентация темы для студентов, объяснение алгоритма их независимой работы	Вопросы, уточнения студентов относительно реализации независимой работы
II	4	Управление независимой работой студентов / их независимой самостоятельной работой на репродуктивном уровне	Трудности при выполнении задач на репродуктивном уровне, общее количество проведенных обязательных заданий
III	5	Управление независимой работой студентов / их независимой самостоятельной работой на продуктивном уровне	Трудности при выполнении задач на продуктивном уровне, общее количество выполненных заданий в течение определенного периода времени
IV	6	Оценка результатов в соответствии с балльно-рейтинговой системой	Обоснование полученных оценок, обосуждение результатов

Первый этап – анкетный опрос с целью получения информации о потребностях, отношениях, мотивах, то есть готовности студентов изучать дисциплину. Студенты могут ознакомиться с программой дисциплины, ее структурой и основными задачами по электронной почте или на личном сайте преподавателя, или LMS ВУЗа, чтобы ориентироваться на последовательность изучаемых проблем и план их индивидуальной учебной деятельности.

Наиболее важным элементом мониторинга структуры образовательного процесса занятий, проводимых с использованием информационных технологий, является уточнение целей и задач дисциплины. Далее – студенты должны быть снабжены необходимой информацией и раздаточными материалами в электронном виде с основными теоретическими моментами по изучаемой теме, заданиями на основе этого теоретического материала, контрольными заданиями.

На втором этапе деятельность спроектирована таким образом, чтобы контролировать личную работу обучающихся.

Студенческая активность репродуктивна по своей природе, обучающиеся выполняют свою задачу в соответствии с алгоритмом, основанном на полученной информации, а также исходя из ИКТ-навыков. Обучающиеся должны сравнивать результаты с моделью, представленной в электронных раздаточных материалах.

На третьем этапе преподаватель позволяет обучающимся самостоятельно работать на продуктивном уровне. Преподаватель контролирует личную работу, осуществляет многоуровневую дифференцировку путем рейтинговых задач. На данном этапе можно избежать ошибок с помощью преподавателя, количество задач, которые обучающиеся могут решить, не ограничено. После решения задачи обучающийся получает новую задачу продуктивного уровня и продолжает работать лично до тех пор, пока решение задачи будет соответствовать установленным критериям.

Преподаватель переходит на заключительный этап, цель окончательного контроля состоит в том, чтобы определить уровень приобретения навыков при работе с ИКТ.

Заключение. Реализация пошагового алгоритма педагогического взаимодействия позволяет каждому преподавателю выбирать образовательный путь в определенном направлении (адаптивного типа, образовательной и творческой ориентации) в зависимости от уровня готовности к использованию системы мониторинга во время уроков.

Поэтапный мониторинг занятия предполагает диагностику, анализ успешной реализации этапов и коррекцию времени всех структурных компонентов. Обучающая деятельность в мониторинге занятий позволяет реализовать качественный подход к образовательному процессу.

Формирование навыков мониторинга с использованием ИКТ преподавателями имеет большое значение. Многократное использование мониторинга учебного процесса на занятиях, проводимых с использованием ИКТ может существенно улучшить процесс обучения.

Мониторинг учебного процесса на занятиях, проводимых с использованием информационных технологий, дает нам возможность: проследить динамику формирования знаний у обучающегося в течение определенного периода обучения, возможность постоянно корректировать работу преподавателя на основе анализа динамики; возможность для преподавателя знать и влиять на сильные и слабые стороны обучающегося и всей аудитории; систематически контролировать качество знаний, приобретенных студентами с учетом индивидуальных способностей. Организованная совместная деятельность по мониторингу преподавателя и студентов устанавливает параллельную эволюцию навыков мониторинга, приводит к образованию адекватной самооценки посредством самопроверки. Использование ИКТ при осуществлении мониторинга образовательного процесса делает процесс обучения более комфортным для студентов. Использование таких технологий, как анимация, видео и звук, делают изучение событий и явлений более видимыми и, следовательно, доступными для студентов. Использование ИКТ в мониторинге образовательного процесса позволяет преподавателям и студентам самостоятельно организовать свое рабочее время в аудитории.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Перовщикова Е.Н. Критериальный подход к оцениванию как ключевой компонент системы независимой оценки образовательных результатов будущих педагогов // Вестник Мининского университета. Т. 9. № 3. С. 6. Режим доступа: <https://vestnik.mininuniver.ru/jour/article/view/1254/844> (дата обращения: 03.12.2021).
2. Lebedeva O., Bykova S., Masalimova A.R., Sokolova N.L., Kryukova N.I. Peculiarities of developing high school students' lexical skills by means of the programmed learning technology. *XLinguae*. 11(1). Pp. 186- 202. DOI: 10.18355/XL.2018.11.01.16.
3. Бершадская М.Д., Серова А.В., Чепуренко А.Ю., Зима Е.А. Компетентностный подход к оценке образовательных результатов: опыт российского социологического образования // Высшее образование в России. Т. 28. № 2. С. 38-50. DOI: 10.31992/0869- 3617-2019-28-2-38-50.

4. Поначугин А.В. Выбор веб-сервиса для проведения потоковых лекций у студентов инженерных специальностей // Вестник Мининского университета. Т. 9. № 3. С.7. Режим доступа: <https://vestnik.mininuniver.ru/jour/article/view/1255/850> (дата обращения: 03.12.2021).
 5. Зарипова Р.С., Пырнова О.А. Особенности и тенденции развития современного инженерного образования // Современные исследования социальных проблем. Т. 9. № 8-2. С. 43-46.
 6. Chen L.L. Improving Teachers' Teaching with Communication Technology. Journal of Educational Technology Systems. 40(1). Pp. 35-43. DOI: 10.2190/ET.40.1.d.
 7. Khan M.S., Bib S., Hasan M. Australian Technical Teachers' Experience of Technology Integration in Teaching. SAGE Open. 6(3). Pp. 1-12. DOI: 10.1177/2158244016663609.
 8. Bedesem P.L., Dieker L.A. Self-Monitoring with a Twist. Journal of Positive Behavior Interventions. 16(4). Pp. 246-254. DOI: 10.1177/1098300713492857.
 9. Asadullin R. Pedagogics of the subject-oriented education. Ufa: M. Aknulla BSPU.
 10. Seo D., McGrane J., Taherbhai H. The Role of Student Growth Percentiles in Monitoring Learning and Predicting Learning Outcomes. Educational Assessment. 20(2). Pp.151-163. DOI: 10.1080/10627197.2015.1028621.
 11. Bundick M.J., Quaglia R.J., Corso M.J., Haywood D.E. Promoting Student Engagement in the Classroom. Teachers College Record. 116(4). Pp. 1-34.
-

UDC 378.14.015.62

A MODERN APPROACH TO MONITORING THE PROGRESS OF STUDENTS WITH THE USE OF INFORMATION AND COMMUNICATION TECHNOLOGIES

Alexander V. Ponachugin

candidate of economic sciences, associate professor,

Department of Applied Informatics and Information Technologies in Education

Minin state pedagogical university of Nizhny Novgorod (Minin University),

e-mail: sasha3@bk.ru

603005 Nizhny Novgorod, Ulyanov st., 1.

Abstract. The purpose of the article is to substantiate the effectiveness of the stage-by-stage monitoring of students' progress using information and communication technologies. The relevance of the topic is due to the fact that an important issue of modern education is the development of a system for monitoring the quality of the educational process in universities. The main method is monitoring, which can improve the state of the educational process through problems and purposeful work. The article uses the implementation of step-by-step monitoring with the use of information and communication technologies in the classroom, conducted with information technology.

Based on the results of the research, conclusions were drawn about the stage-by-stage monitoring in the classroom, aimed at managing the audience, developing educational work and an impartial assessment of students' progress.

Keywords: information and communication technologies, monitoring, educational process, step-by-step monitoring, efficiency.

REFERENCES

1. Perevoshchikova Ye.N. Kriterial'nyi podkhod k otsenivaniyu kak klyuchevoi komponent sistemy nezavisimoi otsenki obrazovatel'nykh rezul'tatov budushchikh pedagogov [Criteria approach to assessment as a key component of the system of independent assessment of the educational results of future teachers] // Vestnik Mininskogo universiteta = Bulletin of the Mininsky University. Available at: <https://vestnik.mininuniver.ru/jour/article/view/1254/844/>. (accessed 03.12.2021).
2. Lebedeva O., Bykova S., Masalimova A.R., Sokolova N.L., Kryukova N. I. Peculiarities of developing high school students' lexical skills by means of the programmed learning technology. *XLinguae*. 11(1). Pp. 186- 202. DOI: 10.18355/XL.2018.11.01.16.
3. Bershadskaya M.D., Serova A.V., Chepurenko A.Yu., Zima Ye.A. Kompetentnostnyi podkhod k otsenke obrazovatel'nykh rezul'tatov: opyt rossiiskogo sotsiologicheskogo obrazovaniya [Competence-based approach to assessing educational results: the experience of Russian sociological education] // Vyssheye obrazovaniye v Rossii = Higher education in Russia. Vol. 28. No. 2. Pp. 38-50. DOI: 10.31992 / 0869- 3617-2019-28-2-38-50.
4. Ponachugin A.V. Vybore veb-servisa dlya provedeniya potokovykh lektsii u studentov inzhenernykh spetsial'nostei [The choice of a web service for conducting streaming lectures for students of engineering specialties] // Vestnik Mininskogo universiteta= Bulletin of the Minin University. Vol. 9. No. 3. 7p. Available at: <https://vestnik.mininuniver.ru /jour/ article/ view/1255/850> (accessed 03.12.2021).
5. Zaripova R.S., Purnova O.A. Osobennosti i tendentsii razvitiya sovremennogo inzhener'nogo obrazovaniya [Purnova Features and development trends of modern engineering education] // Sovremennyye issledovaniya sotsial'nykh problem = Modern studies of social problems. Vol. 9. No. 8-2. Pp. 43-46.
6. Chen L.L. Improving Teachers' Teaching with Communication Technology. *Journal of Educational Technology Systems*. 40(1). Pp. 35-43. DOI: 10.2190/ET.40.1.d.
7. Khan M.S., Bib S., Hasan M. Australian Technical Teachers' Experience of Technology Integration in Teaching. *SAGE Open*. 6(3). Pp. 1-12. DOI: 10.1177/2158244016663609.
8. Bedesem P.L., Dieker L.A. Self-Monitoring with a Twist. *Journal of Positive Behavior Interventions*. 16(4). Pp. 246-254. DOI: 10.1177/1098300713492857.
9. Asadullin R. *Pedagogics of the subject-oriented education*. Ufa: M. Aknulla BSPU.
10. Seo D., McGrane J., Taherbhai H. The Role of Student Growth Percentiles in Monitoring Learning and Predicting Learning Outcomes. *Educational Assessment*. 20(2). Pp.151-163. DOI: 10.1080/10627197.2015.1028621.
11. Bundick M.J., Quaglia R.J., Corso M.J., Haywood D.E. Promoting Student Engagement in the Classroom. *Teachers College Record*. 116(4). Pp. 1-34.

Статья поступила в редакцию 16.12.2021; одобрена после рецензирования 20.12.2021; принята к публикации 24.12.2021.

The article was submitted 16.12.2021; approved after reviewing 20.12.2021; accepted for publication 24.12.2021.

