



Институт систем энергетики им. Л. А. Мелентьева

ИНФОРМАЦИОННЫЕ И МАТЕМАТИЧЕСКИЕ  
ТЕХНОЛОГИИ В НАУКЕ И УПРАВЛЕНИИ

ТЕЗИСЫ XXVII Байкальской  
Всероссийской конференции  
с международным участием  
29 июня - 8 июля

Иркутск 2022

**КОНФЕРЕНЦИЯ**  
**«ИНФОРМАЦИОННЫЕ И МАТЕМАТИЧЕСКИЕ**  
**ТЕХНОЛОГИИ В НАУКЕ И УПРАВЛЕНИИ»,**  
**ВКЛЮЧАЮЩАЯ МОЛОДЕЖНУЮ ШКОЛУ-СЕМИНАР**

**ТЕЗИСЫ ДОКЛАДОВ**

**29 июня – 8 июля**

**2022**

# ОБЪЕКТИВИЗАЦИЯ БАЗ ЗНАНИЙ СИСТЕМ, ОСНОВАННЫХ НА ЗНАНИЯХ, НА ОСНОВЕ ИНДУКТИВНОГО ВЫВОДА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ НЕСТРОГИХ ВЕРОЯТНОСТЕЙ

Аршинский Л.В., Лебедев В.С.

Иркутский государственный университет путей сообщения, Иркутск

[larsh@mail.ru](mailto:larsh@mail.ru)

Одной из проблем использования знаниевых технологий является субъективизм в построении баз знаний (БЗ) экспертных систем и их аналогов (т.н. системы, основанные на знаниях – СОЗ). С одной стороны, это плата за возможность использовать знания экспертов при построении подобных систем, с другой – стимул для поиска способов объективизации единиц знаний в БЗ. Одним из подходов к объективизации может являться анализ больших данных (АБД).

Как известно, АБД – это набор технологий, позволяющих извлекать знания из информационных массивов. Особенно в этом смысле интересны хорошо структурированные, табличные данные, составляющие основу хранилищ и баз данных различных приложений. Табличное представление позволяет эффективно использовать, к примеру, методы OLAP-анализа, вероятностно-статистические, таксономические и другие подходы. Большой интерес представляют и методы индуктивного вывода, изначально предназначенные для генерации общих гипотез на основе частных случаев.

Среди методов индуктивного вывода центральное место занимают методы единственного сходства, единственного различия и объединённый метод сходства и различия. Для АБД они интересны тем, что при их использовании применяются таблицы совместной встречаемости, что хорошо ложится на технологию реляционных БД.

**Таблица 1.** Совместная встречаемость факторов  $a_i$  и  $b$

	$a_1$	$a_2$	...	$a_n$	$b$
<b>1</b>	$a_{11}$	$a_{21}$	...	$a_{n1}$	$b_1$
<b>2</b>	$a_{12}$	$a_{22}$	...	$a_{n2}$	$b_2$
...	...	...	...	...	...
<b>K</b>	$a_{1K}$	$a_{2K}$	...	$a_{nK}$	$b_K$

Здесь  $a_{ik}, b_k \in \{0,1\}$  – истинности утверждения о наличии факторов;  $K$  – число опытов.

На основе подобных таблиц генерируются гипотезы вроде  $a_i \rightarrow b$ . Однако, если не все строки поддерживают гипотезу, приходится говорить о её частичной справедливости, вводя числовые показатели уверенности на основе вероятностных представлений. При этом, если сведения о наличии  $a_{ik}, b_k$  в достаточной степени ненадёжны и противоречивы, булево представление истинности в таблице 1 целесообразно заменить на векторное, когда  $a_{ik}$  и  $b_k$  представляются векторами типа  $\langle \text{Истина}; \text{Ложь} \rangle$  и использовать при генерации гипотез технику нестрогих вероятностей, когда вероятность события  $A$  описывается вектором  $P(A) = \langle P^+(A); P^-(A) \rangle$ . Обсуждению этого вопроса и посвящён доклад.

# АВТОМАТИЗИРОВАННОЕ УПРАВЛЕНИЕ КОНФИГУРАЦИЕЙ ПЛАТФОРМЫ ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ИНФРАСТРУКТУРНЫХ ОБЪЕКТОВ

Костромин Р.О.<sup>1</sup>, Ружников Г.М.<sup>1</sup>, Фереферов Е.С.<sup>1</sup>,

Сидоров И.А.<sup>1</sup>, Воскобойников М.Л.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>*Институт динамики систем и теории управления им. В.М. Матросова СО РАН, Иркутск*

<sup>2</sup>*Иркутский национальный исследовательский технический университет, Иркутск*

[kostromin@icc.ru](mailto:kostromin@icc.ru)

В докладе представлена архитектура платформы выполнения имитационных моделей в формате GPSS в распределенной вычислительной среде [1], а также средства для ее конфигурирования. Данная платформа имитационного моделирования реализована в виде веб-ориентированной приборной панели управления научным экспериментом. Соответствующие программные компоненты запуска и организации вычислений, управления и распределения вычислительных ресурсов, обработки результатов моделирования построены в рамках сервис-ориентированного подхода.

Практические эксперименты по моделированию системы отопления детского оздоровительного лагеря с помощью прототипа обсуждаемой платформы продемонстрировали значительное сокращение времени на проведение вычислительного эксперимента, а также позволили наглядно визуализировать изменение наблюдаемых параметров в реальном времени средствами платформы. Сбор, агрегация и подготовка данных осуществляется программными агентами в рамках туманных вычислений.

**Благодарности.** Работа выполнена при поддержке финансовой РФФИ и Правительства Иркутской области, проект № 20-47-380002-р\_а «Математическое и информационное моделирование инфраструктурных объектов Байкальской природной территории», а также Министерства науки и высшего образования Российской Федерации, проект № FWEW-2021-0005 «Технологии разработки и анализа предметно-ориентированных интеллектуальных систем группового управления в недетерминированных распределенных средах».

## Список литературы

1. Kostromin R., Basharina O., Feoktistov A., Sidorov I. Microservice-Based Approach to Simulating Environmentally-Friendly Equipment of Infrastructure Objects Taking into Account Meteorological Data // Atmosphere. 2021. Vol. 12. № 9-1217. P. 1–24.

# ТЕХНОЛОГИЯ КАЧЕСТВЕННОГО ИССЛЕДОВАНИЯ ДВОИЧНЫХ ДИНАМИЧЕСКИХ СИСТЕМ В МИКРОСЕРВИСНОЙ ИНФРАСТРУКТУРЕ

Пашинин А.А., Богданова В.Г.

*Институт динамики систем и теории управления им. В.М. Матросова СО РАН, Иркутск*  
[apcrol@gmail.com](mailto:apcrol@gmail.com)

Решение задач качественного исследования двоичных динамических систем (ДДС) на основе метода булевых ограничений (Boolean Constraints Method, ВСМ) обеспечивает, в отличие от других методов, возможность естественного параллелизма по данным при проведении распределенных вычислений. Суть ВСМ состоит в сведении задач качественного исследования синхронных ДДС, функционирующих на конечном промежутке времени, к решению SAT или 2QBF задач путем построения булевой модели динамического свойства. В основе предлагаемой технологии лежат программные средства, методы, модели и инструментарий автоматизации решения задач качественного исследования ДДС в микросервисной вычислительной инфраструктуре. Программное обеспечение (ПО) включает средства построения булевых моделей и проверки их выполнимости. В рамках нашего подхода ПО реализовано в виде пакета прикладных микросервисов (Applied Microservices Package, AMP). Микросервисная архитектура поддерживает модульность, инкапсуляцию, частичное развертывание и децентрализованное управление, повышающее отказоустойчивость распределенной системы. Запуском микросервиса управляют агенты, создаваемые на основе инструментальной платформы HPCSOMAS-MS, устанавливаемые в вычислительных узлах. Разработаны средства автоматизации подготовки окружения вычислительного ресурса к работе с системой HPCSOMAS-MS. В случае реализации AMP с микросервисами в виде образа виртуальной машины обеспечивается быстрое развертывание на различных ресурсах под управлением любой ОС, поддерживающей виртуализацию. Виртуальные образы создаются на базе CentOS (URL: <https://www.centos.org/>) и содержат также установленные и настроенные Java SE и Apache TomEE. В сформированной инфраструктуре выполняется двухуровневое распараллеливание булевой модели. Полученные на верхнем уровне расщепления подзадачи распределяются по узлам нижнего уровня, подвергаются углубленному расщеплению и решаются параллельно как независимые. Вычислительные эксперименты исследования ДДС с большой размерностью вектора состояния показали эффективность предложенной технологии. Широта использования ДДС в качестве моделей объектов при проведении исследований в разнообразных предметных областях обуславливает практическую значимость разработанных инструментальных средств.

# МОДЕЛЬ ВИРТУАЛЬНОГО ТРЕНАЖЕРА С БИОЛОГИЧЕСКОЙ ОБРАТНОЙ СВЯЗЬЮ

Стрекалёв В.О.<sup>1</sup>, Грибова В.В.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>*Дальневосточный федеральный университет, Владивосток*

<sup>2</sup>*Институт автоматизации и процессов управления ДВО РАН, Владивосток*

На сегодняшний день современные информационные системы позволяют создавать виртуальные среды, в том числе виртуальные тренажеры (ВТ), для решения различных задач и отработки различных навыков и ситуаций. Вместе с тем их настройка и адаптация к конкретному пользователю остается сложной и не всегда разрешимой задачей. Наиболее эффективным методом решения этой проблемы является использование биологической обратной связи (БОС), которое заключается в непрерывном мониторинге различных физиологических показателей пользователя и корректировке виртуального окружения в соответствии с полученными показателями.

Авторами предлагается подход к созданию виртуального тренажера с БОС по его модели, для формирования которой используется онтологический подход и семантическое представление информации. Модель состоит из набора связанных компонентов, каждый из которых формируется под управлением соответствующей онтологии.

Модель ВТ с БОС включает следующие компоненты:

- модель виртуальной среды, состоит из множества сцен, включающих объекты, с набором параметров и функций, необходимых для управления виртуальным окружением;
- модель исследований, содержит систему понятий, правила и ограничения для формирования исследования (либо модели тренинга) и создания индивидуального сценария работы, с учетом параметров пользователя;
- модель знаний о состояниях пользователя, включает условия, диагностируемых состояний, причинно-следственных связи между условиями и диагностируемыми состояниями;
- модель карты пользователя, состоящая из записей данных сеанса и результатов проведенных исследований;
- модель оборудования, которая включает описание различного оборудования и способов работы с ним.

Предложенная модель виртуального тренажера с биологической обратной связью позволяет формировать информационное наполнение: описывать виртуальные среды, создавать на основе них исследования, использовать данные, получаемые с оборудования для определения состояний пользователя и определять сценарий с учетом индивидуальных характеристик пользователя. С использованием описанной модели разработана экспериментальная версия тренажера для тестирования человека на высоте. В настоящее время продолжаются работы по описанию сценариев для различных методов исследования на основе представленной модели и их реализация.

# АВТОМАТИЗИРОВАННОЕ РАБОЧЕЕ МЕСТО ПРЕДМЕТНО-ОРИЕНТИРОВАННОЙ СРЕДЫ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ЖИВУЧЕСТИ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ

Еделев А.В.<sup>1</sup>, Фереферов Е.С.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>*Институт систем энергетики им. Мелентьева СО РАН, Иркутск*

<sup>2</sup>*Институт динамики систем и теории управления им. В.М. Матросова СО РАН, Иркутск*  
[flower@isem.irk.ru](mailto:flower@isem.irk.ru)

Схема исследования живучести энергетической инфраструктуры (ЭИ) строится на последовательном решении нескольких задач.

Анализ уязвимости ЭИ играет центральную роль в исследовании живучести [1]. Уязвимость в данном случае характеризует масштаб негативных последствий для системы в целом в результате воздействия крупного возмущения.

Анализ уязвимости ЭИ начинается с формирования множества возможных состояний ЭИ, отражающих наиболее представительные или характерные сочетания внешних условий их развития и функционирования в рассматриваемом временном интервале. А также согласно заданным классам возмущений формируются сценарии возмущений, описывающие их воздействие на ЭИ.

Далее анализ уязвимости разбивается на подвиды: глобальный и пространственный, а также поиск критических элементов. Каждый из подвидов характеризуется своими способами моделирования возмущений и оценки последствий их воздействия. Воздействие возмущений в общем виде моделируется в виде деформации структуры ЭИ, снижения функциональных возможностей их элементов.

Оценка эффективности и приемлемости мероприятий по повышению живучести происходит одинаково для всех подвидов анализа уязвимости. Одним из главных эффектов проведения мероприятий по повышению живучести ЭИ является снижение прямых и косвенных ущербов вследствие уменьшения недопоставки энергоресурсов.

Среди наиболее эффективных отбираются те мероприятия, которые инвариантны по отношению к некоторым подмножествам условий и классам возмущений, и принимается решения об их реализуемости.

Решение вышеописанных задач происходит в рамках предметно-ориентированной среды (ПОС) [2]. Её главным достоинством является поддержка комплексного (интегрированного) подхода к исследованию живучести ЭИ. Разнообразные модели систем и методы анализа их уязвимости реализуются в виде модулей распределённого пакета прикладных программ (РППП).

ПОС также способствует решению следующих проблем: рассмотрение взаимосвязанных инфраструктур; обработку больших данных, описывающих процесс функционирования и развития ЭИ; обеспечение многокритериальной оценки эффективности мероприятий по повышению живучести; автоматизацию подготовки и проведения многовариантных расчётов; использование слабоструктурированной предметной информации; учёт интенсивного изменения критериев формирования множества возможных состояний ЭИ и сценариев возмущений, приводящего к модификации прикладного программного обеспечения.

В ПОС помимо РППП при формировании множества сценариев возмущений и расчётных состояний ЭИ используются электронные таблицы, системы управления базами

данных (СУБД), геоинформационные системы (ГИС). Для моделирования возмущений и оценки их последствий используются высокопроизводительные вычисления [2].

Для проведения вычислительных экспериментов эксперту необходимо иметь автоматизированное рабочее место для взаимодействия с расчетными данными, подготовки параметров для расчетов, настройки и запуска вычислительных модулей, просмотра результатов вычислений. Такой интерфейс пользователя обеспечивают информационные системы для взаимодействия с базами данных (БД), реализованные на основе ГеоАРМ [3]. Автоматизацию создания таких информационных систем достигается за счет применения декларативных спецификаций приложений. Спецификация содержит минимально необходимую информацию о структуре БД, которой достаточно для автоматической реализации приложения, в частности, создания пользовательских интерфейсов, построения пользовательских запросов, поддержки взаимодействия с пространственными данными, а также организации взаимодействия с внешними подключаемыми модулями для решения, например, вычислительных задач. ГеоАРМ обеспечивает как создание спецификаций приложений, так и их интерпретацию, становясь прикладной информационной системой. При этом поддерживается работа с большинством современных СУБД (MS SQL Server, Oracle, Interbase, FireBird, PostgreSQL, MySQL, SQLite).

**Благодарности.** Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства Образование и Наука России в рамках проекта государственного задания FWEU-2021-0003 № АААА-А21-121012090014-5 программы фундаментальных исследований РФ на 2021-2030 гг. с использованием ресурсов ЦКП "Высокотемпературный контур" (Минобрнауки России, проект № 13.ЦКП.21.0038), а также при финансовой поддержке РФФИ и Правительства Иркутской области в рамках научного проекта № 20 47 380002 р\_а. Авторы выражают благодарность Иркутскому суперкомпьютерному центру СО РАН за предоставление доступа к высокопроизводительному кластеру «Академик В.М. Матросов» (Иркутский суперкомпьютерный центр СО РАН, Иркутск: ИДСТУ СО РАН; <http://hpc.icc.ru>).

#### Список литературы

1. Zio E. Challenges in the vulnerability and risk analysis of critical infrastructures // Reliability Engineering and System Safety. 2016. Vol. 152. P.137-150.
2. И. В. Бычков, С. А. Горский, А. В. Еделев, Р. О. Костромин, И. А. Сидоров, А. Г. Феоктистов, Е. С. Фереферов, Р. К. Федоров. Поддержка управления живучестью систем энергетики на основе комбинаторного подхода //Известия РАН. Теория и системы управления, 2021, № 6, с. 122–135.
3. Bychkov I.V., Hmelnov A.E., Fereferov E.S., Rugnikov G.M., Gachenko A.S. Methods and tools for automation of development of information systems using specifications of database applications // Proceedings of the 3rd Russian-Pacific Conference on Computer Technology and Applications (RPC - 2018), Vladivostok, 4 October 2018.



# О РАЗМЕЩЕНИИ ЧАСТИЦ В ДВЕ СОВОКУПНОСТИ ЯЧЕЕК, ЕСЛИ ЧИСЛО РАЗМЕЩАЕМЫХ ЧАСТИЦ – СЛУЧАЙНАЯ ВЕЛИЧИНА, ИМЕЮЩАЯ ГЕОМЕТРИЧЕСКОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ

Колокольникова Н.А.

*Иркутский государственный университет, Иркутск*

[kna05@mail.ru](mailto:kna05@mail.ru)

Случайные размещения частиц по ячейкам служат удобными математическими моделями, позволяющими решать разнообразные задачи, возникающие в физике элементарных частиц, теории надежности, теории страхования, экономике и др. Эти модели предполагают, что в ячейках случайным образом размещаются частицы. Условия, в которых производится размещение частиц, могут быть весьма разнообразны.

Постановка задачи. Имеется две совокупности ячеек объемом соответственно  $N_1$  и  $N_2$ . Каждая из размещаемых частиц с вероятностью  $\alpha$  попадает в первую совокупность и с вероятностью  $\beta=1-\alpha$  – во вторую. Попадая в какую-либо совокупность ячеек, частица с одинаковой вероятностью может оказаться в любой ячейке этой совокупности (т.е. попадание в каждую ячейку первой совокупности возможно с вероятностью  $1/N_1$ , а в любую ячейку второй совокупности с вероятностью  $1/N_2$ ). Предположим, что число размещаемых частиц  $v$  – это случайная величина, имеющая геометрическое распределение:

$$P\{v=n\} = [(1-p)]^{n-1} p, n=(1, \infty).$$

Пусть  $\xi = \xi_v$  – число ячеек, в которых после размещения оказалась хотя бы одна частица.

Основные результаты

Теорема 1. В описанных выше условиях число ячеек, в которые попала хотя бы одна частица, имеет распределение

$$P\{\xi=k\} = p/q \cdot (1/S)_k / (1/Sq-1)_k, k \leq \min(N_1, N_2),$$

$$\text{где } S = \alpha^2/N_1 + \beta^2/N_2, (x)_k = x(x-1)\dots(x-k+1).$$

Найдены числовые характеристики изучаемой случайной величины.

Теорема 2. Математическое ожидание и дисперсия величины  $\xi$  задаются соответственно равенствами:

$$E\xi = 1/(p+Sq), D\xi = (1-S)pq / ((p+Sq)^2 (p+2Sq)).$$

Замечание. Случай, когда  $N_1=N_2=N/2$ ,  $\alpha=\beta=1/2$ , рассмотрен в работе [1], а вариант случайного размещения неслучайного числа частиц в несколько совокупностей ячеек – в статье [2].

## Список литературы

1. Колокольникова Н.А. Число непустых ячеек при геометрическом распределении числа размещаемых частиц / Н.А. Колокольникова // Вопросы прикладного дискретного анализа. – Иркутск: Изд-во ИГУ, 2022 – Вып.8. – С.49-57.
2. Колокольникова Н.А. Случайные размещения частиц в ячейки нескольких типов / Н.А. Колокольникова. // Прикладные задачи дискретного анализа. – Иркутск: Изд-во ИГУ, 2019. – Вып.5. – С.55-63.

# ПРИМЕНЕНИЕ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ ДЛЯ ИДЕНТИФИКАЦИИ ПАРАМЕТРОВ ОРИЕНТАЦИИ МУЛЬТИКРИСТАЛЛИЧЕСКОГО КРЕМНИЯ ДЛЯ СОЛНЕЧНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ

Шишкин Д.В.<sup>1</sup>, Осипова Е.А.<sup>1</sup>, Аршинский В.Л.<sup>1</sup>,

Пещерова С.М.<sup>2</sup>, Чуешова А.Г.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Иркутский национальный исследовательский технический университет, Иркутск

<sup>2</sup>Институт геохимии им. А. П. Виноградова СО РАН, Иркутск

[a13xd3nt0n@gmail.com](mailto:a13xd3nt0n@gmail.com)

Фотогальваника (PV) является мировым трендом, и для её развития на данный момент предпринимаются усилия, направленные в сторону снижения затрат на производство солнечных элементов и повышение эффективности преобразования солнечной энергии в электрическую. Применение методов машинного обучения наряду с традиционными методами исследования и диагностики свойств материалов, представляющих наибольший интерес для солнечной энергетики – мульткристаллического кремния и перовскитов, позволяет существенно сократить количество дорогостоящих экспериментов, повысить эффективность аналитических работ и оптимизировать поиск методов для улучшения качества и эксплуатационных свойств материалов. Основным фактором, определяющим эффективность преобразования мульткристаллическим кремнием солнечной энергии в электрическую, является взаимная разориентация и плотность на единицу объема монокристаллических зёрен, из которых он состоит. Экспериментальные методы исследований параметров ориентации поликристаллических материалов постоянно развиваются и совершенствуются во многом благодаря возможности применения автоматизированных систем анализа данных и изображений [1-3]. Определение параметров ориентации с помощью нейронных сетей в мульткристаллическом кремнии уже реализовано, однако данный подход требует большого количества данных фотолюминесценции [4]. В данной работе предлагается метод определения параметров ориентации с помощью нейронных сетей на основе анализа сканированных изображений крупногабаритных пластин мульткристаллического кремния (Рис. 1).

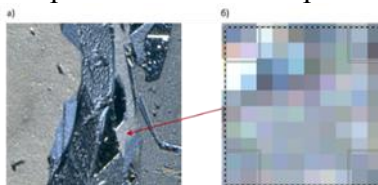


Рис. 1. а – фрагмент сканированной поверхности мульткристаллического кремния, б – минимальная область анализа из набора данных для нейронной сети.

Обсуждаются различные подходы к созданию топологии нейронных сетей и эффективность их применения для достижения точности и воспроизводимости результатов.

## Список литературы

1. Pchenko O. et al. Fast and quantitative 2D and 3D orientation mapping using Raman microscopy //Nature communications. – 2019. – Т. 10. – №. 1. – С. 1-10;
2. Speidel A. et al. Crystallographic texture can be rapidly determined by electrochemical surface analytics //Acta Materialia. – 2018. – Т. 159. – С. 89-101;
3. Wang X. et al. Measuring crystal orientation from etched surfaces via directional reflectance microscopy //Journal of Materials Science. – 2020. – Т. 55. – №. 25. – С. 11669-11678;
4. Usami N. Application of Machine Learning for High-Performance Multicrystalline Materials //ECS Transactions. – 2021. – Т. 102. – №. 4. – С. 11.

# ФОРМИРОВАНИЕ ТУРИСТСКОГО ПРОФИЛЯ ТЕРРИТОРИИ НА ОСНОВЕ ОТКРЫТЫХ ИСТОЧНИКОВ ДАННЫХ

Пестова Ю.В., Николайчук О.А.

*Институт динамики систем и теории управления им. В.М. Матросова СО РАН, Иркутск*

[yupest@gmail.com](mailto:yupest@gmail.com)

В настоящее время организован официальный сбор отдельных статистических показателей развития туризма, которые, как отмечают специалисты, не отражают полное и достоверное состояние сферы регионального туризма. Большая часть информации о туризме в Иркутской области имеет разрозненный и неполный характер. Официальная информация скупо и сухо представлена на портале Правительство Иркутской области на странице агентства по туризму. Информация о местах размещения может быть найдена на сайтах агрегаторах, информационных сайтах о территории или сайтах туристических фирм. На сайтах агрегаторах большей частью представлены гостиницы и турбазы, имеющие многолетний опыт функционирования, и не представлены небольшие гостевые дома или частные апартаменты. Также имеется недостаточно информации о видах услуг и их качестве, последнюю информацию можно извлечь исключительно из отзывов туристов. Анализ ресурсов позволяет сделать вывод, что сложно осуществить выбор туристических услуг (мест размещения, достопримечательностей, экскурсий, маршрутов посещения и др.) при отсутствии на сайтах функций агрегирования информации и сравнения всех необходимых услуг на рассматриваемой территории. Однако современные информационные технологии позволяют осуществить сбор разнородной информации и ее комплексное представление для заинтересованных пользователей (туристов, предпринимателей, представителей административного управления).

Целью работы является создание программного средства, обеспечивающего представление туристского профиля территории на основе открытых источников данных, в частности, данных из социальных сетей и информационных сервисов сферы туризма.

Апробация результатов работы осуществлена для Байкальской территории.

В качестве открытых источников выбраны сообщество социальной сети ВКонтакте «Байкал» ([https://vk.com/baikal\\_region](https://vk.com/baikal_region)) для анализа популярных мест отдыха и сайт-агрегатор 101hotels (<https://101hotels.com/>) для анализа мест размещения.

Сообщество социальной сети «Байкал» знакомит аудиторию с природой и памятниками Байкальского региона, где пользователи делятся своими медиа (зачастую фотографиями), указывая названия туристических мест и дату посещения. На основе анализа данного ресурса сформирован корпус из текстов постов, которые были обработаны и получены данные о значимых для туристов мест Байкальского региона с помощью методов идентификации именованных сущностей и морфологического анализа.

Анализ данных сайта-агрегатора 101hotels позволил собрать данные об объектах размещения. Для мониторинга мест размещений выделены показатели: категорирование мест размещение по территориям (районам) с возможностью интерактивного подбора ключевых параметров пользователем, отображение агрегированных ключевых мер по районам для определения лучшей территории по заданной мере (максимальные или минимальные значения), выявление характеристик лучших мест отдыха.

Данные собраны на основе методов извлечения информации из открытых источников с помощью API VK и веб-скрапинга (web-scraping). Оба метода были реализованы с помощью программного алгоритма на языке Python с использованием библиотек: requests для отправки запросов на сервер и Selenium. Первый метод предоставляет набор правил и готовых методов для получения информации из социальной сети ВКонтакте. Второй метод подразумевает извлечение информации из структуры языка разметки html. Был создан роботизированный агент с помощью Selenium, который имитирует действия пользователя: извлекал информацию переходя по страницам.

Возможность представления и анализа информации обеспечена средством BI-платформы Tableau. Система бизнес-аналитики позволила загрузить данные из разных источников, сформировать информационные интерактивные панели из графиков и диаграмм с возможностью их интерактивного управления через фильтры и параметры.

# ПОЛУЧЕНИЕ ФУНКЦИЙ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ ДЛЯ МНОГОКОНТУРНЫХ АВТОМАТИЧЕСКИХ СИСТЕМ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ПИ-РЕГУЛЯТОРОВ С ПЕРЕМЕННОЙ СТРУКТУРОЙ

Куликов В.В., Куцкий Н.Н.

*Иркутский национальный исследовательский технический университет, Иркутск*

[godefired@mail.ru](mailto:godefired@mail.ru)

В работе рассматривается получение функций чувствительности для автоматических систем, которым присуща многоконтурность. На основе сформированных функций чувствительности в дальнейшем строится градиентный алгоритм параметрического синтеза ПИ-регуляторов с переменной структурой  $x$  в таких автоматических системах. В достаточно общем виде можно представить выражения, описывающие процессы в рассматриваемых автоматических системах:

$$\begin{aligned} u_n(t) &= \lambda(t), \\ \varepsilon_i(t) &= u_{i+1}(t) - x_i(t), \\ u_i(t) &= Gc_i(p)\varepsilon_i(t), \\ Gc_i(p) &= \begin{cases} q_{1i} + \frac{q_{2i}}{p}, \Psi_i(t, \varepsilon_i(t)) > 0; \\ q_{3i} + \frac{q_{4i}}{p}, \Psi_i(t, \varepsilon_i(t)) < 0. \end{cases}, \\ x_i(t) &= Gp_i(p)u_i(t), (i = 1, \dots, n), \end{aligned} \tag{1}$$

где  $\varepsilon_i(t)$  - рассогласование в  $i$ -ом контуре;  $x_i(t)$  - выходная координата в  $i$ -ом контуре;  $Gc_i(p)$  - оператор регулятора с переменной структурой в  $i$ -ом контуре;  $u_i(t)$  - выходная координата регулятора  $Gc_i(p)$ ;  $Gp_i(p)$  - оператор объекта в  $i$ -ом контуре;  $p$  - оператор дифференцирования по времени;  $\lambda(t)$  - задающее воздействие;  $q_{ki}, (k = 1, \dots, 4; i = 1, \dots, n)$  - настраиваемые параметры.  $\Psi(t, \varepsilon(t))$  - функции переключения структур регуляторов.

Выражения для вычисления функций чувствительности с учётом элементов системы (1) в данной работе определены как [1]:

$$\begin{aligned} \frac{\partial u_i(t)}{\partial q_{ki}} &= \frac{\partial Gc_i(p)}{\partial q_{ki}} \varepsilon_i(t) - Gc_i(p)\xi_{ki}(t), \\ \xi_{ki}(t) &= Gp_i(p) \frac{\partial u_i(t)}{\partial q_{ki}} - \sum_m \Delta U t_{im} \frac{dt_{im}}{dq_{ki}} Gp_i(p) \delta(t - t_{im}), (k = 1, \dots, 4; i = 1, \dots, n; m = 0, 1, 2, \dots), \end{aligned} \tag{2}$$

где  $\xi(t)$  - функции чувствительности;  $\Delta U t_{im}$  - величина скачка  $u_i(t)$  в моменты его разрыва  $t_{im}$ ;  $\delta(t - t_{im})$  - дельта-функция, смещенная на время  $t_{im}$ .

## Список литературы

1. Розенвассер, Е.Н. Чувствительность систем управления / Е.Н. Розенвассер, Р.М. Юсупов. - М.: Наука, 1981. - 464 с.

# МОДЕЛИРОВАНИЕ КОТЕЛЬНОГО АГРЕГАТА В СИСТЕМАХ АВТОМАТИЗАЦИИ

Подкорытов А.А., Куцый Н.Н.

*Иркутский национальный исследовательский технический университет, Иркутск*

[podkorytovleha@mail.ru](mailto:podkorytovleha@mail.ru)

Цель – разработать модель, учитывающую динамику работы топочного устройства котельного агрегата. В статье рассмотрено применение методики Д.Ж. Бокса и Г. Дженкинса для идентификации процесса производства пара. В качестве объекта исследования выбран котельный агрегат, применяемый в системах автоматизации транспортной инфраструктуры. Котельный агрегат, представляет собой динамический стохастический объект с неконтролируемыми возмущающими воздействиями. С использованием статистических методов получена математическая модель, которая может быть использована для прогнозирования и регулирования режимами работы котельного агрегата.

# ОНТОЛОГИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ БАЗЫ ДАННЫХ ДЛЯ ОЦЕНКИ ПОВТОРЯЕМОСТИ ОТКАЗОВ ЭЛЕМЕНТОВ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СЕТИ

Бендик Н.В., Полковская М.Н.

*Иркутский государственный аграрный университет им. А.А. Ежевского, Иркутск*

[starkovan@list.ru](mailto:starkovan@list.ru)

Основной задачей функционирования энергетических компаний является бесперебойное снабжение потребителей электроэнергией. В связи с этим уменьшение числа отказов элементов электрической сети – актуальная проблема, требующая своевременного решения. Для прогнозирования аварийных отключений часто используются методы теории вероятностей и математической статистики, а также корреляционно-регрессионного анализа.

Для эффективного использования математического аппарата для прогнозирования аварийных отключений элементов электрической сети необходимы хорошо формализованные информация и знания. Онтологическое моделирование является одним из способов описания семантических аспектов предметной области и представляет особый интерес в формализации информации и знаний для оценки повторяемости отказов элементов электрической сети [1]. Семантическое описание предметной области является начальным этапом представления знаний, позволяющим выявить основные понятия и их взаимосвязи [2]. В связи с чем целью работы является создание онтологической модели базы данных для моделирования аварийных отключений в электрических сетях.

Систематизацию данных по аварийным отключениям для их прогнозирования и предупреждения необходимо осуществлять во всех энергоснабжающих предприятиях независимо от их расположения и размера. Поэтому построение онтологической модели для вероятностной оценки и прогнозирования аварийных отключений в электрических сетях является актуальной задачей.

В качестве материалов для составления онтологической модели базы данных применены журналы отключений на подстанциях Южных электрических сетей г. Иркутска. Данные о метеорологических факторах, влияющих на работу электрических сетей в г. Иркутске, взяты в ФГБУ «Иркутское управление по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды».

Созданная онтологическая модель базы данных ориентирована на сети г. Иркутска. Однако она может быть использована и для сетей других населенных пунктов. Модель включает в себя аварийные отключения, а также различные характеристики объектов наблюдения; журнал аварийных отключений; подстанции; напряжение; математические модели для вероятностной оценки и прогнозирования и т.п. Полученная онтология позволяет анализировать причины и продолжительности аварийных отключений, потери электроэнергии, выявлять внутрирядные связи, определять регрессионные зависимости и осуществлять прогноз отказов с использованием различных моделей.

Таким образом, на основе исследований, касающихся моделирования аварийных отключений, разработана онтологическая модель базы данных для оценки повторяемости отказов элементов электрической сети применительно к электрическим сетям г. Иркутска. Полученная модель может быть использована для вероятностной оценки и краткосрочного прогноза исследуемого параметра с учетом наличия автокорреляции, зависимости исследуемого параметра от времени и метеорологических факторов.

## Список литературы

1. Shunkevich D. *Ontology-based Design of Knowledge Processing Machines // Open Semantic Technologies for Intelligent Systems: материалы межд. науч.-техн. конф.* – Минск, 2017. – Вып. 1. – С. 73-94.
2. 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.
3. Платицын В.А. *Практический справочник по построению Онтологий OWL в Protégé 4 [Электронный ресурс].* – Режим доступа: <http://www.co-ode.org>. (дата обращения: 25.02.2022)

# УПРАВЛЕНИЕ ПРОИЗВОДСТВОМ АГРАРНОЙ ПРОДУКЦИИ: НЕОДНОРОДНОСТЬ ЗЕМЕЛЬ, РИСКИ, ОПТИМИЗАЦИЯ

Иваньо Я.М., Ковадло И.А.

*Иркутский государственный аграрный университет им. А.А. Ежевского, Иркутск*

[kovadlo95@gmail.com](mailto:kovadlo95@gmail.com)

В работе описана разработка и реализация модели оптимизации производства аграрной продукции, учитывающая неоднородность и риски, связанные с гидрометеорологическими, биологическими событиями и их сочетанием. Полученная модель является модификацией моделей, разработанных для оптимизации получения продукции с учетом участков сельскохозяйственных угодий разной продуктивности.

В этой модели в качестве целевой функции может быть использован доход или прибыль организации, муниципального района, природно-климатической зоны от деятельности сельскохозяйственных товаропроизводителей. Ограничением задачи математического программирования являются земельные, производственные и топливные ресурсы, соответствующие показателю продуктивности участков пашни. Деление на неоднородные участки с разной продуктивностью, определяющей потенциал урожая, осуществляется с помощью мониторинга качества земель.

Помимо неоднородности участков земельных ресурсов в модели учитываются риски, связанные с неблагоприятными климатическими условиями и экстремальными событиями, а также вредителями и болезнями растений, заразными и незаразными болезнями сельскохозяйственных животных. Возможно сочетание биологических и гидрометеорологических событий в течение одного года.

С одной стороны учет неоднородности земель способствует повышению уровня адекватности описания реальной ситуации при производстве аграрной продукции. Однако повышение доходов сельскохозяйственного товаропроизводителя при правильном использовании разных по продуктивности участков не гарантирует потерь, вызванных неблагоприятными гидрометеорологическими и биологическими событиями. Эти события с разной степенью влияют на производственно-экономические показатели хозяйства, муниципального района и природно-климатической зоны, включающей в себя группу районов. Особый интерес вызывает моделирование производства аграрной продукции при формировании редкого события.

Приведена реализация модели оптимизации получения продукции с одним и двумя экстремальными событиями, которые описываются с помощью вероятностных распределений. Результаты сравнивались с решением задачи математического программирования без учета экстремальных событий.

Разработанная модель имеет значение для реализации мероприятий по смягчению потерь на разных уровнях агрегирования получения аграрной продукции.

# АГРОЛАНДШАФТНЫЕ РАЙОНЫ, РИСКИ И МОДЕЛИ ОПТИМИЗАЦИИ ПОЛУЧЕНИЯ ПРОДОВОЛЬСТВЕННОЙ ПРОДУКЦИИ

Иваньо Я.М., Петрова С.А., Федурин Н.И.

*Иркутский государственный аграрный университет им. А.А. Ежевского, Иркутск*

[iasa\\_econ@rambler.ru](mailto:iasa_econ@rambler.ru)

В работе описан алгоритм пространственно-временной оценки рисков для моделирования получения продовольственной продукции.

На первом этапе осуществляется сбор данных о многолетней динамике экономических показателей сельскохозяйственного производства и заготовки пищевой дикорастущей продукции по муниципальным районам и агроландшафтным территориям. Эти сведения могут быть дополнены данными сельскохозяйственных товаропроизводителей разных категорий.

На втором этапе выполняется систематизация экстремальных гидрометеорологических и биологических событий, влияющих на процессы получения продовольственной продукции в соответствии с их пространственно-временной изменчивостью.

На третьем этапе определяются статистические особенности рядов экономических показателей: наличие автокорреляционных связей, трендов, значимых факторов.

На четвертом этапе с помощью полученных вероятностно-детерминированных моделей оцениваются потенциальные риски с выделением аномальных уровней и редких событий.

На пятом этапе с учетом выявленных рисков определяются варианты оптимизационных моделей, позволяющих получать оптимальные решения производства растениеводческой, животноводческой продукции и их сочетания, а также заготовки пищевой дикорастущей продукции. При этом рассматриваются задачи математического программирования сочетания производства сельскохозяйственной продукции и заготовки дикоросов.

Результатом алгоритма является оценка климатических и биологических рисков при получении продовольственной продукции для агроландшафтных территорий региона, а также муниципальных районов. Кроме того, найденные риски учитываются при построении моделей оптимизации производства сельскохозяйственной продукции, заготовки дикоросов и их сочетании. Определение той или иной модели для решения прикладных задач связано со степенью неопределенности экономических показателей, которые характеризуются разной величиной рассеяния.

Опыт моделирования получения продовольственной продукции показывает, что в некоторых случаях применимы детерминированные модели. Вместе с тем часто приходится использовать задачи стохастического программирования. Значительная неопределенность коэффициентов при неизвестных и сложность их описания законами распределения вероятностей предполагает применение оптимизационных моделей с интервальными оценками. Это, прежде всего, касается моделирования заготовки дикоросов.



# **МОДУЛЬ «ПЛАНИРОВАНИЕ В УСЛОВИЯХ РИСКОВ» ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА «ЭКОЛОГО-МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ АГРАРНОГО ПРОИЗВОДСТВА»**

Ковалева Е.А., Иваньо Я.М.

*Иркутский государственный аграрный университет имени А.А. Ежевского, Иркутск*

[iasa\\_econ@rambler.ru](mailto:iasa_econ@rambler.ru)

Авторами создан программный комплекс «Эколого-математическое моделирование аграрного производства» с разработанным специальным математическим, алгоритмическим и информационным обеспечением.

Программный комплекс позволяет осуществлять статистическую обработку производственно-экономических, природно-климатических и экологических показателей. На основе статистической обработки временных рядов определяются математические модели, которые используются для решения задач оптимизации производства аграрной продукции с учетом ущербов окружающей среде в условиях неопределенности.

С помощью программного комплекса апробированы эколого-математические модели с детерминированными, интервальными и вероятностными коэффициентами при неизвестных целевой функции и ограничений с критерием оптимальности в виде минимизации ущерба окружающей среде или максимизации доходов с учетом минимизации отрицательного воздействия на природную систему. При этом система позволяет получать оптимальные решения для разных отраслей сельского хозяйства и их сочетания в условиях орошаемого и неорошаемого земледелия.

Отдельно следует выделить задачи математического программирования, позволяющие оптимизировать производство аграрной продукции в условиях проявления экстремальных гидрометеорологических и биологических событий. Реализация такой задачи с помощью программного комплекса требует разработки дополнительного модуля, позволяющего выполнять следующие функции: 1) выделять события разными способами в зависимости от особенностей временного ряда; 2) оценивать их вероятности появления; 3) решать задачи оптимизации производства аграрной продукции с учетом минимизации ущерба окружающей среде в условиях проявления экстремальных событий.

Первая функция связана с особенностью временного ряда. Если обосновано, что он является случайным, то оценить вероятность события можно с помощью закона распределения вероятностей. Возможен другой вариант, когда ряд может быть описан значимым трендом или авторегрессионным выражением. В такой ситуации применимы многоуровневые динамико-стохастические модели, позволяющие определять тенденции производственно-экономических, природно-климатических и экологических показателей, а также выделять экстремальные события или аномальные уровни для их вероятностной оценки.

Исходя из выявленных статистических свойств показателей, формируется эколого-математическая модель. Если коэффициенты модели, правые части ограничений представляют собой случайные величины, то решается задача стохастического программирования, в которой целевая функция и оптимальные планы связаны с вероятностями событий. В случае наличия в модели показателей, характеризующихся тенденциями, для оптимизации производства аграрной продукции применима задача параметрического программирования с вероятностными оценками.

Для реализации модуля планирования в условиях рисков программного комплекса «Эколого-математическое моделирование аграрного производства» предложено математическое, алгоритмическое и информационное обеспечение. Выбраны и решены тестовые задачи.

# СРАВНЕНИЕ РАСЧЕТНЫХ МЕТОДОВ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ФРАКЦИИ ХОЛЕСТЕРИНА ЛИПОПРОТЕИНОВ НИЗКОЙ ПЛОТНОСТИ

Кузьменко В.В., Гаврилов Д.А.

*Иркутская государственная медицинская академия последипломного образования, Иркутск*

[kw7@mail.ru](mailto:kw7@mail.ru)

Снижение стоимости лабораторных исследований, в целях повышения их доступности, возможно путем применения расчетных методов оценки концентрации компонентов в биологических жидкостях вместо дорогостоящих инструментальных методов измерения.

**Цель исследования.** Поиск модели для расчета концентрации фракции ХЛПНП, дающей минимальную погрешность в сравнении с прямым (инструментальным) методом исследования этого показателя.

## **Задачи исследования.**

1. Составить математические модели расчета ХЛПНП, используя методики линейной регрессии и регрессий с нелинейными компонентами.
2. Сравнить полученные модели с расчетным методом Фридвальда, который широко применяется в клинических лабораториях.
3. Сравнить модель, полученную с использованием формулы линейной регрессии, с моделями нелинейной регрессии.

## **Материалы и методы.**

Для проведения расчетов была составлена случайным образом выборка, состоящая из 212 наблюдений. В нее вошли результаты лабораторного обследования пациентов, у которых из одного образца сыворотки на современном оборудовании определена концентрация следующих показателей: триглицериды, общий холестерин и его фракции (ХЛПВП, ХЛПНП).

Расчет формулы линейной и нелинейных регрессий был осуществлен с использованием программы STATISTICA, версии 6.0. Эффективность моделей для повышения точности расчета ХЛПНП оценивалась путем сравнения систематических и случайных ошибок при расчетах, выполненных на этих моделях.

Для сравнения значимости отличий средних значений и дисперсий анализируемых выборок был применен пакет анализа данных программы MS Excel.

## **Результаты.**

**На первом этапе** для построения моделей были проведены расчеты линейной регрессии и регрессий с нелинейными компонентами, в качестве которых по очереди использовались нелинейные функции преобразований ( $x^2$ ;  $x^3$ ;  $x^4$ ;  $x^5$ ; SQRT(x) – квадратный корень; LN(x) – натуральный логарифм; LOG(x) – log 10;  $e^x$ ;  $10^x$ ;  $1/x$ ).

**На втором этапе** были рассчитаны концентрации ХЛПНП с использованием формул, предложенных программой. Затем было проведено сравнение расчетных значений этого показателя, полученных разными способами, с результатами его измерения на анализаторе.

В ходе многовариантных вычислительных экспериментов установлено, что все 11 используемых моделей имеют меньшие систематические ошибки (как в абсолютном, так и в относительном измерениях) по сравнению с результатами, рассчитанными по формуле, предложенной Фридвальдом ( $P < 0,001$ ), кроме того, 9 из 11 тестируемых моделей позволяют провести расчеты и со значительно меньшими случайными ошибками (с меньшей дисперсией).

**На третьем этапе** исследовалась целесообразность применения регрессий с нелинейными компонентами в сравнении с моделью с линейной регрессией, которая была выбрана, как метод достаточно хорошо известный, легко понимаемый и представленный во многих статистических программах. Оказалось, что для нашего материала методы с нелинейными компонентами не имеют значимых преимуществ перед методом линейной регрессии.

**Вывод.** Для расчета фракций холестерина в сыворотке крови вполне достаточно применение уравнения линейной регрессии, но с коэффициентами, рассчитанными в зависимости от аналитических методов, используемых в лаборатории.

# ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТОДОВ НЕЧЁТКОЙ ЛОГИКИ ДЛЯ СРЕДНЕСРОЧНОГО ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ В БАЙКАЛЬСКОЙ РИФТОВОЙ ЗОНЕ

Куклин Е.В.

*Иркутский национальный исследовательский технический университет, Иркутск*

[brainer1995@gmail.com](mailto:brainer1995@gmail.com)

Землетрясения, как наиболее актуальная для Байкальского региона природная опасность, являются также и наименее подверженной точному прогнозированию вследствие того, что ни один из существующих предвестников землетрясения и ни одно из их сочетаний (концентрация эпицентров, наличие активных разломов, изменение количества, энерговыделения, накопления энергии землетрясений за некий рассматриваемый период) [1] не являются необходимыми и достаточными для предсказания времени, места и интенсивности потенциального землетрясения со степенью надежности, достаточной для обоснованного принятия мер по митигации его последствий.

Процесс среднесрочного (3 месяца) прогнозирования землетрясений в Байкальской рифтовой зоне осуществляется на базе Института земной коры (ИЗК) с использованием выходных данных (набора графиков и картографической информации) программного комплекса «Prediction», на вход которого подаются данные каталога землетрясений за период с 1950 года по настоящее время [1]. Роль «Prediction» в процессе среднесрочного прогноза заключается в оценке набора и значимости критериев для прогнозирования параметров места и энергии очагов землетрясений магнитудой от 4.5 и выше в задаваемых интервалах времени. По результатам её работы специалист-сейсмолог получает набор визуальных и статистических данных, которым он, руководствуясь выработанной методикой анализа, даёт экспертную оценку, что на выходе даёт перечень и схему расположения потенциально сейсмически опасных районов Байкальской рифтовой зоны (БРЗ) с оценкой потенциальной энергии на предстоящий трёхмесячный период [2]. Последний этап является нуждающимся в автоматизации, и вследствие сложности методики анализа и большого количества разнородных нечетких данных был сделан акцент на использование методов нечеткой логики и создание экспертной системы, основанной на использовании данных методов.

Использование нечетких экспертных систем для прогнозирования землетрясений наиболее подробно описано в работах [3, 4], демонстрируя актуальность данного подхода относительно рассматриваемой проблемы. Используемые в них подходы могут послужить основой для разработки адаптированной под условия БРЗ экспертной системы, однако наличествует необходимость их конвертации с учетом особенностей процесса прогнозирования и сейсмической картины, характерной для БРЗ.

Разрабатываемую систему предполагается объединить с «Prediction» в единую информационную систему, предназначенную для автоматизированного среднесрочного прогнозирования землетрясений, где выходные данные первого этапа работы «Prediction» используются в качестве входных данных экспертной системы, выходные данные которой применяются уже «Prediction» для нанесения на карту эпицентров потенциальных землетрясений и построения изосейст, иллюстрирующих падение интенсивности по мере отдаления от эпицентра и дающих картину сейсмической активности по региону.

## Список литературы

1. Левина Е.А. Геоинформационная система для прогноза землетрясений и горных ударов: разработка и примеры применения в Байкальской рифтовой зоне и Норильском месторождении // Геоинформационные системы. Геоинформатика–2016 3 №1
2. Пономарёва Е.И., Ружич В.В., Левина Е.А. Оперативный среднесрочный прогноз землетрясений в Прибайкалье и его возможности // Известия Иркутского государственного университета. Серия «Науки о земле». 2014. Т. 8. С. 67-78.
3. Earthquake hazard assessment in the Zagros Orogenic Belt of Iran using a fuzzy rule-based model / Sedigheh Farahi Ghasre Aboonahr, Ahmad Zamani, Fatemeh Razavipour, Reza Boostani / Institute of Geophysics, Polish Academy of Sciences & Polish Academy of Sciences, June 2017
4. Fuzzy Expert System for Earthquake Prediction in Western Himalayan Range / Rabia Tehseen, Abnan Abid, Shoaib Frooq / Elektronika ir Elektrotechnika, June 2020

# ФРАКТАЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ: ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ

Потапов А.А.

*Институт радиотехники и электроники им. В.А. Котельникова РАН, Москва*

[potapov@cplire.ru](mailto:potapov@cplire.ru)

В пленарном докладе рассматриваются основные направления внедрения текстур, фракталов, дробных операторов, динамического хаоса и методов нелинейной динамики в задачи науки и техники для создания новых информационных (прорывных) технологий. Исследования проводятся в фундаментальном научном направлении «Фрактальная радиофизика и фрактальная радиоэлектроника: проектирование фрактальных радиосистем», инициированного и разрабатываемого автором в ИРЭ им. В.А. Котельникова РАН с 1979 г. по настоящее время. Актуальность проведения данных исследований связана с необходимостью более точного описания всех реальных процессов, происходящих в радиофизических и радиотехнических системах. Это, прежде всего, учет эрдитарности (памяти), негауссовости и скейлинга физических сигналов и полей. Выполненные исследования являются приоритетными в мире (доклады в 23 странах, 2 крупных международных гранта – США и Китай, лаборатория в Китае – с 2012 г.) и служат базой для дальнейшего развития и обоснования практического применения фрактально-скейлинговых и текстурных методов в современной радиофизике, радиолокации и нанотехнологиях, а также для принципиально новых топологических текстурно-фрактальных методов обнаружения сигналов в пространственно-временном канале распространения волн с рассеянием (новый вид радиолокации). Применение фрактальных систем, датчиков и узлов является принципиально новым решением, существенно меняющим принципы построения интеллектуальных радиотехнических систем и устройств. Фрактальные методы обработки информации дают повышение качества детализации объектов и целей в несколько раз. В итоге: по монографиям автора поставлены курсы лекций по фракталам в различных университетах России и стран ближнего зарубежья, а также, в Китае; на начало 2022 г. результаты фундаментальных исследований автора отражены в более чем 1 200 работах и 45 книгах и главах в них на русском и английском языках (см. например [1-3] и ссылки в них).

## Список литературы

1. Потапов А. А. Фракталы в радиофизике и радиолокации. – М.: Логос, 2002. – 664 с.; см. также: Потапов А. А. Фракталы в радиофизике и радиолокации: Топология выборки. Изд. 2-е, перераб. и доп. – М.: Университетская книга, 2005. – 848 с.
2. Профессор Александр Алексеевич Потапов. Фракталы в действии: Библиографический указатель / Под ред. академика Ю. В. Гуляева. – М.: ЦПУ “Радуга”, 2019. – 256 с. (Одобрено Ученым советом ИРЭ им. В. А. Котельникова РАН 26.12.2018).
3. Potapov Alexander A., Wu Hao, Xiong Shan. Fractality of Wave Fields and Processes in Radar and Control. – Guangzhou: South China University of Technology Press (First edition: November 2020), 2020. – 280 pp.

# АТОМНАЯ ЭНЕРГЕТИКА КАК ОДНО ИЗ НАПРАВЛЕНИЙ УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

Зорина Т.Г.

*Институт энергетики НАН Беларуси, Минск*

[tanyazorina@tut.by](mailto:tanyazorina@tut.by)

В докладе рассмотрены вопросы развития атомной энергетики в Республике Беларусь в контексте устойчивого энергетического развития. На основе авторской методики проведен анализ динамики устойчивого энергетического развития Республики Беларусь в 1995-2020 гг. Определены направления устойчивого энергетического развития Республики Беларусь до 2030 г. Построена формализованная модель энергетической системы Республики Беларусь, собрана база исходных данных для моделирования энергопроизводства электрической энергии на среднесрочный период в программе MESSAGE. Построены сценарии развития энергосистемы Республики Беларусь с учетом ввода в эксплуатацию Белорусской атомной станции в зависимости от разных темпов роста спроса на электроэнергию. Выполнены прогнозы производства и стоимости электрической энергии в энергетической системе Республики Беларусь на период до 2050 г. согласно выбранным сценариям. Проведен сравнительный анализ результатов моделирования по следующим критериям: структура энергопроизводства, объемы и структура вводимых мощностей, расход топлива на производство электроэнергии, стоимость электроэнергии.

# ПРИОРИТЕТНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ ГЕОЦИФРОВОГО ЭКОЛОГО-ГЕОГРАФИЧЕСКОГО АНАЛИЗА (НА МАТЕРИАЛАХ АЛТАЙСКОГО КРАЯ)

Ротанова И.Н.

*Алтайский государственный университет, Барнаул*

[rotanova@mail.asu.ru](mailto:rotanova@mail.asu.ru)

Современный этап социально-экономического регионального развития вызывает необходимость обоснованных и своевременных управленческих решений, основывающихся на результатах региональных эколого-географических и социально-экономических исследований, выполняемых с применением современных геоцифровых технологий. Более чем в 30 субъектах РФ в настоящее время ведутся работы по созданию региональных ГИС (РГИС), в которых получает развитие геоцифровое (геоинформационное) эколого-географическое картографирование, что отвечает требованиям политики цифровизации Российской Федерации. Выработан базовый алгоритм геоцифрового эколого-географического картографирования:

- анализ эколого-природного (эколого-ресурсного) потенциала территории, в том числе природных условий жизнедеятельности (жизнеобеспечения) – среды обитания – населения;
- анализ антропогенных факторов воздействия и происходящих изменений окружающей природной среды;
- выявление экологических (эколого-географических, геоэкологических) проблем;
- оценка последствий изменения природной среды, влияние на сохранение биоразнообразия, на социально-экономическое развитие и природопользование, на качество среды и здоровьесбережение населения.

Для Алтайского края экологический императив является одним из приоритетных в стратегиях социально-экономического развития. На основе анализа географических условий и особенностей Алтайского края, в частности, развитого аграрного комплекса, разнообразия природных ресурсов и нестабильности экологической обстановки, предложены концепты формирования РГИС. Определены приоритетные направления прототипа РГИС, как для территории края в целом, так и для модельных административных районов: аграрное, природно-ресурсное, экологическое. В рамках геоцифровизации Алтайского края и разработки РГИС предложен ее формат в виде ГИС-атласа и геопортала, создан ряд локальных ГИС, в частности, эколого-ландшафтная ГИС, в составе которой построен ряд геоинформационных карт: карта эколого-природного потенциала ландшафтов, карта природных процессов и антропогенного воздействия на ландшафты, карта измененности ландшафтов; эколого-экономическая карта; карта экологических ситуаций и др. Другим примером служат ГИС на модельные административные районы Алтайского края: Алтайский, Смоленский, Советский. Основная тематика карт данных ГИС эколого-аграрная: почвенная, плодородие почв, ветровая и водная эрозия, риски истощения почв; площади сельскохозяйственных угодий и др.

РГИС Алтайского края позволит значительно продвинуться в информатизации сфер деятельности, связанных с рациональным использованием природно-ресурсного потенциала, в частности, почвенного и водного, с мониторингом экологической ситуации, с развитием рекреации и т.д.

**Благодарности.** Исследование выполнено в рамках гранта РНФ № 22-27-20135 и Стратегического проекта «АгроБиоТех» программы «Приоритет – 2030» в Алтайском госуниверситете.

# ИНТЕГРАЦИЯ КОНЦЕПТОВ ЦИФРОВЫХ ДВОЙНИКОВ И СИТУАЦИОННОЙ ОСВЕДОМЛЕННОСТИ В СИСТЕМУ МОДЕЛИРОВАНИЯ КРИТИЧЕСКИХ ИНФРАСТРУКТУР

Фридман А.Я.

*Институт информатики и математического моделирования ФИЦ КНЦ РАН, Апатиты*

[fridman@iimm.ru](mailto:fridman@iimm.ru)

Рассмотрена интеллектуальная информационная технология ситуационного моделирования промышленно-природных комплексов (ППК) различного масштаба в целях стратегического и оперативного управления ими, ориентированная на комплексную обработку разнородной информации о статических и динамических характеристиках подобных систем. Актуальность задачи вызвана: усложнением и взаимопроникновением ППК; ростом неопределенностей в мире из-за ускорения развития ППК; увеличением доступности данных в связи с рождением Интернета Вещей (IoT).

Новизна подхода состоит в интеграции средств изучения слабо формализованных сложных нестационарных пространственных объектов в рамках причинно-следственных моделей и комплексном использовании экспертных знаний для формирования критериев и выбора предпочтительных вариантов реализации структуры ППК, изучаемых более детально в имитационном режиме с помощью цифровых двойников компонентов ППК.

Стратегическое моделирование ППК направлено на анализ структуры проектируемых потенциально опасных объектов и их взаимосвязей для выявления возможностей зависимых (сложных, комплексных) отказов (ЗСКО), которые порождают цепочки событий, приводящие к самым значительным ущербам в нештатных и чрезвычайных ситуациях. Этот режим решает задачу превентивной аналитики для поиска и сценарного прогнозирования «узких мест» в структуре ППК с возможностью оценки ущербов от ЗСКО и обоснования рациональных мер по их предупреждению. Для повышения безопасности, целесообразно до встраивания новых устройств и систем в реальный мир встроить их модели в мир виртуальный.

Для оперативного моделирования ППК предложены количественные оценки ситуационной осведомленности (СО) ЛПР, участвующих в работе ППК, путем метризации пространства всех трех основных аспектов СО, что позволяет объективизировать оценку достигнутой степени СО и особенно важно, когда различные составные части одного ППК входят в зоны ответственности нескольких ЛПР. Для этого случая предложенный подход позволяет координировать действия ЛПР и предотвратить конфликты между ними.

ППК рассматриваются как иерархические системы, при росте их масштаба возможен переход к сетцентрической модели, при этом зоны ответственности ЛПР формируются динамически по результатам оценки их СО.

Распределенная реализация предложенной технологии позволяет решать вопросы правообладания и режимности применения локальных подмоделей составных частей ППК по аналогии с GRID-технологиями. Разработчики новых компонентов ППК смогут обосновывать безопасность включения своего объекта в структуру ППК, учитывая его взаимосвязи с другими компонентами, уже специфицированными в системе моделирования. Такой анализ может стать важным аспектом повышения объективности технико-экономического обоснования предполагаемых структурных решений и представляется существенным в современном стиле цифровизации экономики России.

# МЕТОДОЛОГИЯ ИССЛЕДОВАНИЯ И ДОЛГОСРОЧНОГО ПРОГНОЗИРОВАНИЯ КОНЪЮНКТУРЫ НА РЕГИОНАЛЬНЫХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ РЫНКАХ С УЧЕТОМ ПОВЕДЕНИЯ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ

Гальперова Е.В.

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

[galper@isem.irk.ru](mailto:galper@isem.irk.ru)

Исследование долгосрочной динамики спроса и цен на региональных энергетических рынках первостепенная задача при прогнозировании путей повышения качества жизни населения и принятии стратегических решений в области экономической и энергетической безопасности. В настоящее время решение этой задачи усложняется возрастающей неопределенностью основных и появлением новых факторов, формирующих спрос и цены на энергоресурсы. Это связано, в том числе, с очередным энергетическим переходом, который предполагает кардинальное изменение роли потребителей в системе энергоснабжения. Появление у потребителей возможности регулировать свое потребление, производить, накапливать энергию, взаимодействовать с энергосистемой вызывает необходимость развития существующих подходов к прогнозным исследованиям. В ИСЭМ СО РАН разработан и постоянно совершенствуется методический подход к повышению обоснованности перспектив развития ТЭК [1]. В рамках подхода разрабатывается методология исследования долгосрочной динамики спроса на энергоносители, которая представляет собой последовательный итеративный процесс решения разного вида взаимосвязанных задач, выделяемых на отдельных временных интервалах прогнозного периода [2]. Для решения задачи оценки влияния на спрос и цену на энергоносители в регионе поведения потребителей в методологии необходимо учесть дополнительные прямые и обратные связи энергосистемы и потребителей. Последних следует рассматривать одновременно как объекты потребления, так и производства. Описывающая потребителей модель должна состоять из блока взаимосвязи с энергосистемой и блоков, описывающих параметры и особенности энергопотребляющих процессов и имеющихся установок по производству и хранению энергии. В качестве основы для моделирования может использоваться ранее разработанный прототип многоагентной модели просьюмера [3]. Учет новых факторов в прогнозных исследованиях позволит повысить обоснованность долгосрочных прогнозов, а результаты исследований могут быть полезны при обосновании региональных программ и стратегий развития.

**Благодарности.** Исследование выполняется при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 20-010-00204.

## Список литературы

1. Кононов Ю.Д. Пути повышения обоснованности долгосрочных прогнозов развития ТЭК. – Новосибирск: Наука, 2015.
2. Гальперова Е.В. Методология исследования долгосрочной динамики спроса на энергоносители для повышения обоснованности перспектив развития ТЭК: состав задач, методы и модели. Изв. РАН. Энергетика. 2021. № 1. С. 101–108. DOI: 10.31857/S0002331021010064.
3. Гальперова Е.В., Гальперов В.И. Моделирование поведения активного потребителя на основе агентного подхода // Информационные и математические технологии в науке и управлении. – 2017. - №4(8). – с. 28-38.



# ДВУХУРОВНЕВАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ИССЛЕДОВАНИЯ УГРОЗ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ С ПРИМЕНЕНИЕМ МЕТОДОВ КОГНИТИВНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ И ЛИНЕЙНЫХ ОПТИМИЗАЦИОННЫХ МОДЕЛЕЙ

Пяткова Н.И., Массель А.Г.

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

[nata@isem.irk.ru](mailto:nata@isem.irk.ru)

Для проведения исследований по оценке влияния угроз энергетической безопасности на надежность энергоснабжения потребителей в условиях нештатных (критических) ситуаций в ИСЭМ СО РАН предлагается использовать двухуровневую технологию, интегрирующую этапы качественного анализа (с использованием инструментальных средств семантического моделирования) и количественного анализа (с использованием линейных экономико-математических моделей и традиционных программных комплексов) (рис.1).

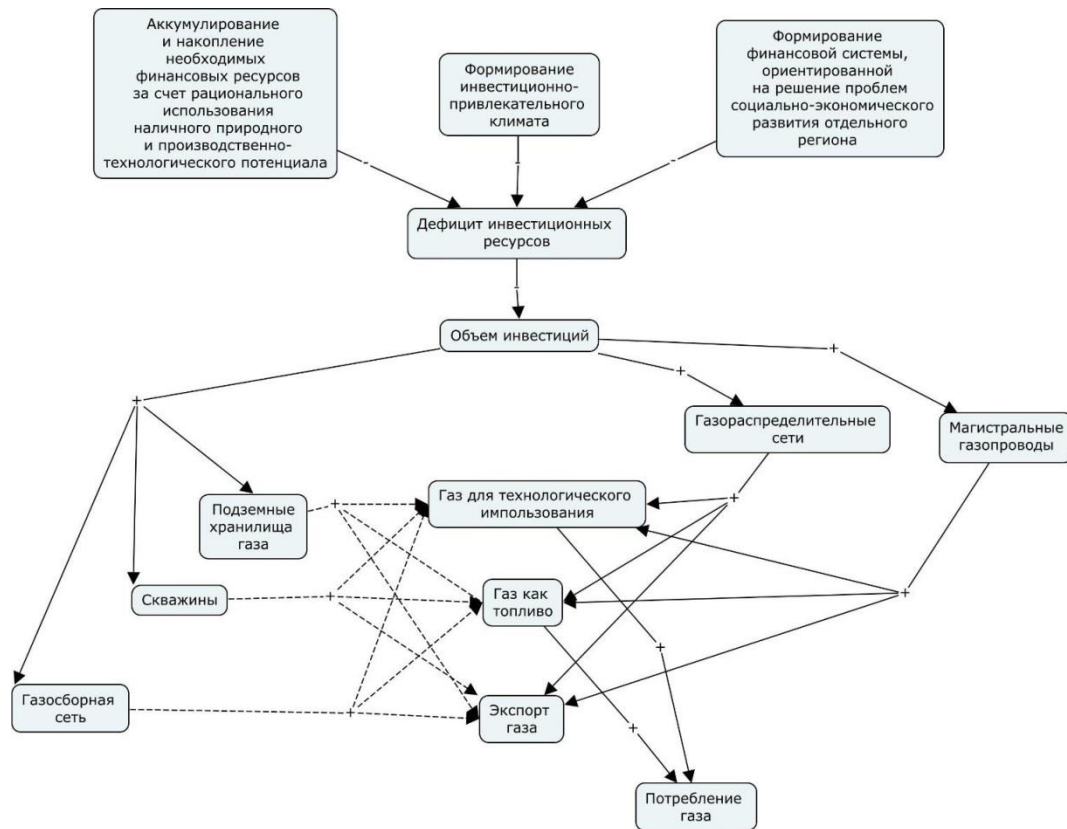


**Рис. 1.** Схема взаимодействия задач и модельно-инструментальных средств

Для проведения комплексного эксперимента по анализу основной угрозы энергетической безопасности «Недостаток инвестиций в отрасли энергетики» предполагается совместное использование когнитивных моделей систем энергетики (газовой, угольной, электроэнергетики) и модели оптимизации вариантов развития ТЭК с учетом факторов энергетической безопасности.

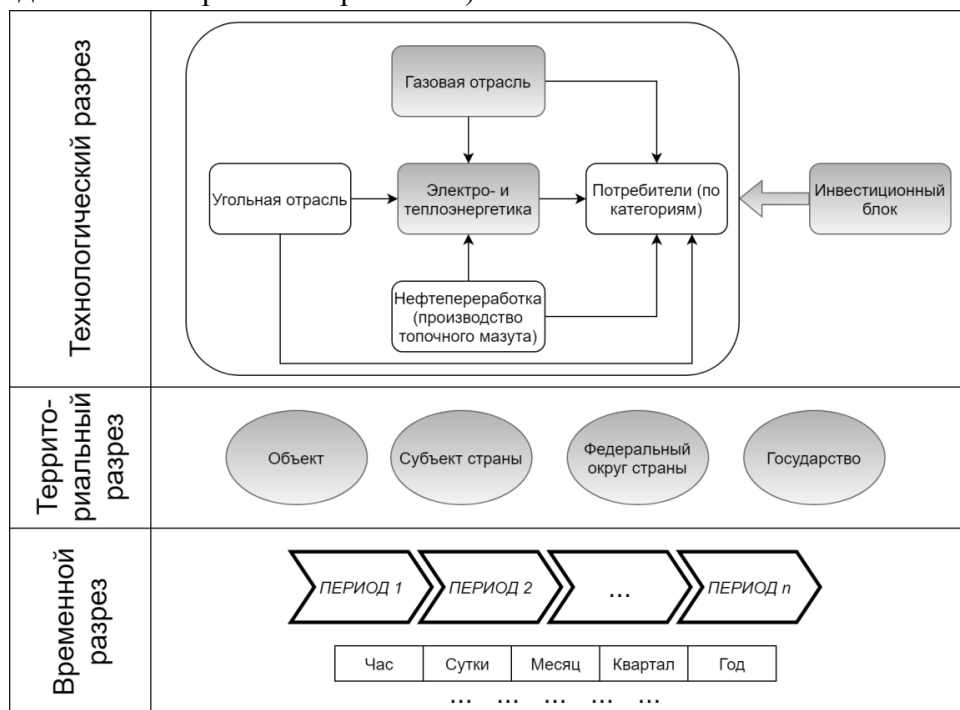
Для первого этапа качественного уровня сформирована когнитивная модель угрозы «Недостаток инвестиций» для газовой отрасли (рис. 2).

На втором (количественном уровне) предлагается использовать экономико-математическую модель (ЭММ) для оптимизации вариантов развития ТЭК с учетом энергетической безопасности. Модель объединяет блоки, моделирующие отраслевые подсистемы энергетического комплекса (газовой, угольной, нефтеперерабатывающей (в части мазутоснабжения) отраслями, электро- и теплоэнергетикой).



**Рис. 2.** Когнитивная карта угрозы «Недостаток инвестиций» для газовой отрасли

Структура моделей ТЭК представлена на рис. 3. Технологически она состоит из отраслевых подсистем энергетического комплекса (газовой, угольной, нефтеперерабатывающей (в части мазутоснабжения) отраслями, электро- и теплоэнергетикой) и блока потребителей (потребление энергоресурсов на различных типах электростанций и котельных для выработки электроэнергии и тепла, прочих потребителей, отдельно выделены экспортные потребители).



**Рис. 3.** Территориальная, временная и технологическая структура моделей

В финансовый блок модели введены инвестиционные показатели (переменные) на реконструкцию, модернизацию действующих мощностей, вывод устаревшего оборудования, ввод новых мощностей на объектах энергетических отраслей. Учет этих составляющих представлен в модели дополнительными уравнениями, описывающими удельные капиталовложения на единицу новых мощностей по всем технологическим этапам. Для выполнения вычислительного эксперимента с использованием ЭММ предлагается следующий алгоритм.

На основе когнитивных моделей отраслей энергетики формируется блок корректирующих коэффициентов для модели количественного уровня, который включает коэффициенты корректировки переменных, верхних ограничений и правых частей матрицы условий.

Предполагается проведение следующих этапов эксперимента:

1. Расчет инвестиций по всем энергетическим отраслям без внесения возмущений.

2. Расчет при заданных ограничениях на инвестиции (10%, 20% и т.д. на капвложения):

- по отдельным отраслям;

- по отдельным технологическим этапам (добыча-производство, транспорт).

В результате экспериментальных расчетов определяется динамика возможных дефицитов у отдельных категорий потребителей по территории страны и по видам энергоресурсов.

Проведение оптимизационных расчетов проводится с использованием модифицированного программного комплекса «ИНТЭК-А».

На данном этапе с использованием этого ПВК получена новая версия модели развития ТЭК с учетом фактора энергетической безопасности на перспективу до 2035 г., проводится отладка в рамках выявления информационных и логических ошибок и на соответствие и адекватность разработанной модели.

**Благодарности.** Работа была выполнена при частичной финансовой поддержке грантов РФФИ № 20-08-00367

# МОДЕЛИРОВАНИЕ ПОВЕДЕНИЯ БИЗНЕСА И ПОТРЕБИТЕЛЕЙ ПРИ ПРИНЯТИИ РЕШЕНИЙ ПО РАЗВИТИЮ ИНФРАСТРУКТУРЫ ГОРОДОВ

Хан В.В.<sup>1</sup>, Деканова Н.П.<sup>2</sup>, Хан П.В.<sup>3</sup>

<sup>1</sup>*Иркутский национальный исследовательский технический университет, Иркутск*

<sup>2</sup>*Иркутский государственный университет путей сообщения, Иркутск*

<sup>3</sup>*Институт систем энергетики им. Л.А. Мелентьева СО РАН, Иркутск*

[khanvv51@gmail.com](mailto:khanvv51@gmail.com)

При принятии решений по развитию инфраструктуры поселений, направленных на устойчивое развитие региона, важно учитывать поведение сторон, принимающих участие в процессах создания и эксплуатации инфраструктурных объектов, а также потребителей. Учет поведения сторон в дальней перспективе может существенно повлиять на оценки эффективности планируемых мероприятий. Исследованию поведения бизнеса и потребителей в мировой практике уделяется серьезное внимание [1-4].

Важным условием для развития малых и средних поселений представляется создание благоприятной среды для проживания населения и развития бизнеса. В работе рассматриваются виды бизнеса, характерные для малых и средних населенных мест Восточной Сибири. Основные факторы, определяющие поведение бизнеса: демографическая ситуация, состояние транспортной и коммунальной инфраструктур, тарифы на энергетические ресурсы, перспективы рынка. Для различных зон Иркутской области к перспективным направлениям развития бизнеса относятся сферы лесопереработки, сельского хозяйства и туризма. При этом состояние транспортной и коммунальной инфраструктур, тарифы, спрос, предложение, экология, играют существенную роль.

Проблема большинства прогнозных моделей состоит в том, что они строятся на экстраполяции статистических данных. При принятии решения о сценарии развития поселения необходимо рассмотреть динамику сопутствующих условий. В работе обсуждаются варианты использования байесовских сетей [5] для моделирования поведения бизнеса и населения при различных сценариях развития инфраструктуры поселений.

**Благодарности.** Работа выполнена в рамках проекта государственного задания (№ FWEU-2021-0005) программы фундаментальных исследований РФ на 2021-2030 гг.

## Список литературы

1. A Behavioral Theory of the Firm, par Richard M. Cyert et James G. March, Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs, New Jersey, 1963, 332 pages.
2. Блэкуэлл Р., Миниард П., Энджел Дж. Поведение потребителей. 10-е изд. / Пер. с англ. — СПб.: Питер, 2007. — 944 с:
3. Cheng-Chih Chou and Liang-Rui Chen, An Analysis of Behavioral Models Relating to Renewable Energy in Taiwan. Sustainability 2021, 13, 7296. <https://doi.org/10.3390/su13137296>
4. Nicholson M., Xiao S. H. Consumer behavior analysis and social marketing practice // The Service Industries Journal. 2011. Vol. 31, no. 15. P. 2529–2542.
5. Звягин Л.С. Байесовский подход в современном экономическом анализе и имитационном моделировании // Мягкие измерения и вычисления, 2018 № 1.-С.17-26.

# РАЗРАБОТКА МЕТОДИЧЕСКОГО ПОДХОДА К ОЦЕНКЕ КОМПЛЕКСНОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ ЭНЕРГОТЕХНОЛОГИЙ НА ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ

Зароднюк М.С., Еделева О.А.

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

[mas@isem.irk.ru](mailto:mas@isem.irk.ru)

Современные научные подходы к комплексному оцениванию энерготехнологий с позиций их взаимодействия с окружающей средой базируются на рассмотрении всего жизненного цикла [1-3], что позволяет более полно представить картину, и зачастую выбор эффективных энерготехнологий с учетом этого может оказаться неожиданным для исследователя, так как отсутствие выбросов вредных веществ только в процессе эксплуатации с избытком может компенсироваться вредным для окружающей среды производством оборудования и последующей его утилизацией.

В докладе предлагается методический подход к оценке комплексного воздействия энерготехнологий на окружающую среду с помощью методов многокритериального анализа [4, 5]. Сам подход, основанный на критериях с последующем их ранжированием с помощью методов многокритериального анализа не является новым и используется многими исследователями [2, 3]. Особенностью же предлагаемого авторами методического подхода является более глубокое формирование и расчет критериев оценки, так как от них зависит в целом получение конечных результатов и последующий выбор среди всех рассматриваемых энерготехнологий экологически более эффективных.

Для расчета критериев на всех этапах жизненного цикла энерготехнологий исследовались технологические цепочки производства сырья и материалов с учетом побочных продуктов химических реакций, сопровождающих технологические процессы.

В рамках этой работы проведены практические расчеты на примере сравнения двух энерготехнологий: на базе ВИЭ (возобновляемых источников энергии) и традиционной на угле, которые показывают работоспособность предлагаемого методического подхода и его реализуемость для научных исследований.

**Благодарности.** Работа выполнена в рамках проекта государственного задания (№ FWEU-2021-0002) программы фундаментальных исследований РФ на 2021-2030 гг.

## Список литературы

1. Дегтярев К.С. ВИЭ и побочные экологические эффекты // Сантехника. Отопление. Кондиционирование, №5, 2015, с. 90-94.
2. Nadiana. S., Madanib K. A system of systems approach to energy sustainability assessment: Are all renewables really green? // Ecological Indicators. 2015. № 52. P. 194–206.
3. Kahraman C., Kaya I. A fuzzy multicriteria methodology for selection among energy alternatives // Expert Systems with Applications. 2010. №37. P. 6270–6281.
4. Barina A., Canhaa L.N., Abaidea A.R, Magnagoa K.F., Matosb M.A., Orling R.B. A novel fuzzy-based expert system for RET selection // Journal of Intelligent & Fuzzy Systems. 2013. №25. P. 325–333.
5. Jahanshahloo G.R., Hosseinzadeh Lofti F. and Izadikhah, M. An algorithmic method to extend TOPSIS for decision-making problems with interval data // Applied Mathematics and Computation. 2006. №175. P. 1375-1384.

# МОДЕЛИРОВАНИЕ НАКОПИТЕЛЕЙ ЭНЕРГИИ ДЛЯ ОЦЕНКИ ДЕФИЦИТОВ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ НА ПРИМЕРЕ ТРЁХУЗЛОВОЙ СХЕМЫ

Пискунова В.М.<sup>1,2</sup>, Щукин Н.И.<sup>2</sup>, Гальфингер А.Г.<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>*Иркутский национальный исследовательский технический университет, Иркутск*

<sup>2</sup>*Институт систем энергетики им. Мелентьева СО РАН, Иркутск*

[vita.piskunova98@gmail.com](mailto:vita.piskunova98@gmail.com)

Тенденции энергетического перехода оказывают значительное влияние на традиционную архитектуру топливно-энергетического комплекса (ТЭК) [1]. Энергетические системы во всем мире становятся все более интеллектуальными и связанными. Это расширение открывает множество возможностей, но также и новые проблемы, поскольку генерирующие компании и правительства стремятся обеспечить безопасность этих систем.

Реализация долгосрочных государственных программ по сокращению углеродного следа энергетики приводит к постепенному сокращению использования источников энергии на ископаемом топливе. Что порождает ещё одну составляющую перехода – возобновляемые источники энергии (ВИЭ). Вместе с вереницей положительных эффектов ВИЭ, из-за сезонных колебаний ветровой и солнечной энергии затрудняют прогнозирование генерации, и, как следствие, не могут обеспечить непрерывный поток энергии. В этом контексте традиционная генерация получает дополнительную роль – обеспечение резервов ВИЭ.

Одним из возможных решений, сглаживающих подобный недостаток, может стать внедрение систем накопления энергии (СНЭ). В последние десятилетия устойчивое снижение стоимости и повышение эффективности накопителей позволило расширить сферу их применения. Постепенная интеграция СНЭ позволит переступить классическую парадигму единовременной выработки и потребления энергии, позволяя отложить процесс потребления, не останавливая выработку, заранее обеспечив ещё не сформированную потребность в энергии. Ввиду этого СНЭ могут стать ключевым элементом при переходе от традиционной архитектуры к новой итерации развития ТЭК. Однако включение накопителей в структуру энергосистем меняет режимы работы, профиль загрузки станций и подход к управлению системой. В связи с этим необходимо оценить риски и эффективность внедрения СНЭ.

В рамках данной работы была сформирована математическая модель накопителя энергии. Работоспособность модели оценивалась на примере трёхузловой схемы. Каждый узел содержит потребителя электроэнергии, электростанцию и систему накопления. Узлы, имитирующие энергорайоны, соединены двунаправленными связями, которые моделируют ЛЭП. Каждый тип оборудования описывается набором переменных, для которых устанавливаются ограничения. Эти ограничения не только задают граничные режимы работы, но и помогают более точно учесть специфику оборудования (например, различные виды накопителей и свойственные им параметры работы). Модель нелинейно из-за учёта зависимости пропускной способности ЛЭП от нагрузки [2].

**Благодарности.** Работа выполнена в рамках проекта государственного задания (№ FWEU-2021-0003) программы фундаментальных исследований РФ на 2021-2030 гг., при финансовой поддержке гранта РФФИ № 20-08-00367.

## Список литературы

1. Smil V. Energy Transitions: Global and National Perspectives, 2nd Edition; 2017.
2. Senderov S., Pyatkova N., Krupenev D. Hierarchy of models for the study of national and regional energy security // Energy Systems Research. 2019. Т. 2. № 4 (8). С. 32-42.

# ОНТОЛОГИЧЕСКИЙ ИНЖИНИРИНГ В ПОСТРОЕНИИ ЦИФРОВОГО ДВОЙНИКА ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ

Цыбиков А.Р., Массель Л.В., Массель А.Г., Щукин Н.И.

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

[tsibikow@mail.ru](mailto:tsibikow@mail.ru)

В докладе рассматривается разработка цифрового двойника солнечной электростанции, основанная на использовании онтологического инжиниринга для формулировки задач и проектирования цифрового двойника.

Цифровой двойник – это реальное отображение всех компонентов в жизненном цикле продукта с использованием физических данных, виртуальных данных и данных взаимодействия между ними, то есть цифровой двойник создает виртуальный прототип реального объекта, с помощью которого можно проводить эксперименты и проверять гипотезы, прогнозировать поведение объекта и решать задачу управления его жизненным циклом [1].

Онтология – это формальная спецификация концептуализации, которая имеет место в некотором контексте предметной области. Понятие онтологического инжиниринга относится к инженерии знаний – разделу инженерной деятельности, направленной на использование знаний в компьютерных системах для решения сложных задач [2].

Онтологии используются, с одной стороны, для структурирования знаний предметной области, с другой, как основа для разработки модели данных при проектировании баз данных. В рамках онтологического инжиниринга построена также онтология задач для проектирования, функционирования и разработки цифрового двойника. Она включает описание основных задач, методы и способы решения этих задач и относится скорее к структурированию знаний при разработке цифрового двойника. В зависимости от характера потоков данных между физическим и цифровым объектами выделены три основных этапа построения ЦД реального объекта: цифровая модель, цифровая тень и цифровой двойник. Реализован прототип цифрового двойника фотоэлектрической системы.

**Благодарности.** Результаты получены в рамках выполнения базового проекта ИСЭМ СО РАН АААА-А21-121012090007-7 по госзаданию FWEU-2021-0007 и проекта по гранту РФФИ №20-07-00994.

## Список литературы

1. Никитина Е. Попали в сети: как работают цифровые двойники в электроэнергетике. Режим доступа: <https://pro.rbc.ru/news/5db1b59a9a79474bb142a3fe>
2. Гаврилова Т. А., Кудрявцев Д. В., Муромцев Д. И. Инженерия знаний. Модели и методы: Учебник. — СПб.: Издательство «Лань», 2016. — 324 с.

# РЕАЛИЗАЦИЯ ПРОТОТИПА ЦИФРОВОГО ДВОЙНИКА ВЕТРОВОЙ ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ

Массель Л.В., Массель А.Г., Щукин Н.И., Цыбиков А.Р.

*Институт систем энергетики им. Мелентьева СО РАН, Иркутск*

[niksha14@mail.ru](mailto:niksha14@mail.ru)

В работе рассматривается реализация цифрового двойника ветровой электростанции, являющаяся следующим шагом развития работы авторов [1].

При разработке цифрового двойника необходимо реализовать программную составляющую ЦД. В свою очередь, она включает следующие компоненты.

- SCADA-система:
  - оКомпоненты визуализации.
  - оКомпоненты эмуляции данных.
  - оКомпоненты управления.
- Цифровая тень:
  - оКомпонент взаимодействия с базой данных.
  - оКомпонент прогнозирования.
- Цифровая модель:
  - оМатематическая модель.
- Система управления ВЭС.

Для визуализации процессов, происходящих на ветровой электростанции, и управляющего воздействия цифрового двойника на неё, было решено разработать эмулятор SCADA-системы (SCADA). В дополнение к визуализации SCADA будет использоваться как инструмент управления ветровой электростанцией. Следующим компонентом SCADA является эмулятор данных. Этот компонент содержит в себе несколько моделей данных, необходимых для эмуляции данных, таких как: модель данных потребителя, модель данных погодных условий (используемых для расчета выработки электроэнергии ветротурбиной) и модель данных дизель генератора. «Компоненты управления» необходимы для внесения пользователем управляющего воздействия на ветровую электростанцию.

Для взаимодействия с базой данных был реализован «Компонент взаимодействия с базой данных», состоящий из интерфейсов и программной логики, взаимодействующей с СУБД (в нашем случае используется СУБД PostgreSQL).

Компонент «Система управления ВЭС» цифрового двойника используется для внесения автоматического управляющего воздействия на наблюдаемый объект, с которым цифровой двойник взаимодействует.

**Благодарности.** Результаты получены в рамках выполнения базового проекта ИСЭМ СО РАН АААА-А21-121012090007-7 по госзаданию FWEU-2021-0007 и проекта по гранту РФФИ №20-07-00994.

## Список литературы

1. Массель Л.В., Массель А.Г., Щукин Н.И., Цыбиков А.Р. Разработка цифрового двойника ветровой электростанции: постановка задачи и проектирование // Информационные и математические технологии в науке и управлении. – 2022. – № 1 (25). – С. 79-90. – DOI:10.38028/ESI.2022.25.1.007.



# ПРОЕКТИРОВАНИЕ ИНСТРУМЕНТАРИЯ ВИЗУАЛИЗАЦИИ ДЛЯ РЕАЛИЗАЦИИ ЦИФРОВОГО ДВОЙНИКА ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ С ПОМОЩЬЮ СПЕЦИАЛИЗИРОВАННОГО ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ UNITY

Лосев А.С.

*Институт систем энергетики им. Мелентьева СО РАН, Иркутск*

[Losef.aleksei@gmail.com](mailto:Losef.aleksei@gmail.com)

Важными этапами реализации цифрового двойника являются проектирование и разработка пользовательского интерфейса. Визуализация цифровых двойников производства включает визуализацию данных датчиков (и самого реального объекта) для отображения рабочего состояния физической сущности. Похожим образом элементы визуализации используют в численном моделировании. Элементы визуализации зависят от жизненного цикла продукта. Так как информация, предоставляемая цифровыми двойниками производства, меняется на протяжении жизненного цикла планирования, проектирования, производства, эксплуатации и технического обслуживания или утилизации, элементы визуализации так же меняются на протяжении всего жизненного цикла продукта.

В то же время, сам подход к визуализации зависит от масштаба реального объекта и от технических требований к цифровому двойнику. Выделяют следующие варианты технической реализации визуализации:

- панели индикаторов (дашборды),
- CAD и BIM системы,
- специализированное ПО и фреймворки.

Традиционно используют CAD-системы для физического моделирования и BIM системы для информационного моделирования. Однако эти системы не очень удобны в эксплуатации – в рамках одного проекта можно моделировать лишь один реальный объект (или комплекс объектов), которые нельзя скомпилировать в исполняемый файл для развертки на другом устройстве без предустановленного программного обеспечения.

В настоящее время продолжает возрастать роль возобновляемой энергии в производстве электричества, поскольку возобновляемые источники энергии становятся многообещающей альтернативой для мира в целом. Однако, если речь идет об установке небольших электростанций в специфических регионах, например, на Крайнем севере, необходимо обосновать целесообразность такого решения. Для наглядного обоснования будет полезным разработать инструментарий для моделирования будущей электростанции с последующим его преобразованием в цифровой двойник.

В данной работе предложена система для проектирования электростанции в специфических регионах с помощью специализированного ПО Unity. Система позволяет выбрать один из двух источников возобновляемой энергии (ветер или солнечное излучение) и проводить их сравнение в зависимости от погодных данных выбранного региона.

# К ВОПРОСУ О ФОРМАЛИЗАЦИИ ЭТИКИ ПОВЕДЕНИЯ КОЛЛАБОРАТИВНОГО РОБОТА

Карпов В.Э.<sup>1</sup>, Королева М.Н.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Национальный Исследовательский Центр «Курчатовский Институт», Москва

<sup>2</sup>Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана, Москва

[karpov.ve@gmail.com](mailto:karpov.ve@gmail.com)

В работе рассматриваются вопросы создания механизмов, позволяющих коллаборативному роботу считаться моральным агентом. Коллаборативный робот (агент) – это робот, непосредственно взаимодействующий с человеком при выполнении совместных работ. Технические регламенты и ограничения функционирования в естественной, недетерминированной среде, не всегда позволяют роботу выбирать требуемое поведение, существуют ситуации, когда рациональный выбор действия не будет предпочтительным с точки зрения человека-оператора. Если принимаемое решение не может быть однозначно определено, исходя из технических (нажать на тормоз) и правовых (причинение минимального вреда) требований, то должны быть применены некие дополнительные фильтры в виде эвристик (сделать так, чтоб было "хорошо"). Такими эвристиками и являются моральные соображения.

В качестве этических теорий, закладываемых в основу поведения робота, рассматриваются утилитаризм в понимании И. Бентама и Дж. С. Милля [1] в комбинации с аксиологической системой правил гедонизма [2]. Для качественного анализа применяются когнитивные карты [3, 4]. В качестве частного примера когнитивной карты, соответствующей правилам утилитаризма и гедонизма, приведена схема задачи определения, какое действие или поведение должен реализовать агент (рис. 1).

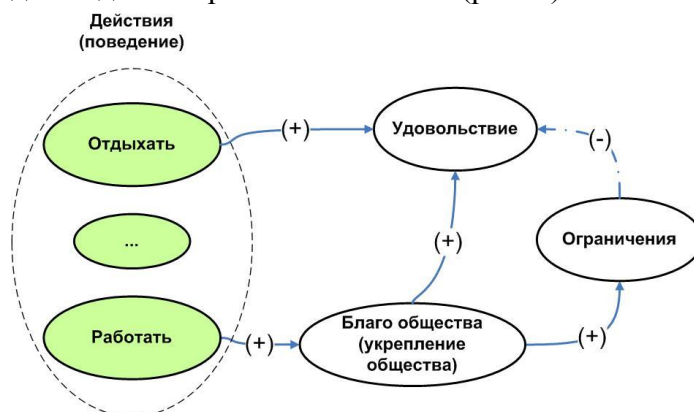


Рис. 1. Выбор действия в условиях противоречий.

При этом могут возникать противоречия вида  $\{\alpha, \neg\alpha\} \vdash \beta$ . Действие "Работать", согласно фрагменту схемы, приведет, с одной стороны, к получению удовольствия, а с другой – к его отрицанию через ограничения, накладываемые социумом. Формально это означает наличие нескольких путей из вершины "Работать" в вершину "Удовольствие" с разными знаками. Эти противоречия формально можно решить с помощью паранепротиворечивых релевантных логик [5–7]. Но модификация моральной схемы, введение новых сущностей, разрешение семантических неоднозначностей – это уход от проблемы, перенос проблемных вопросов на другой уровень. Необходимо понять, как действовать именно в условиях неустрашимых противоречий.

После ряда формальных и логических выкладок получены утверждения: (1) поведение агента определяется текущими актуальными потребностями и состоянием его системы

восприятия, (2) в основе моральности поведения лежит результат сопоставления конспецификов с «Я», т.е. определение степени "свой-чужой" [8], (3) схема моральных представлений нужна, чтобы определить значимость потребностей и особенности системы восприятия, а главное – обосновать выбранное агентом поведение. В ситуации противоречия агент все равно стабилизирует свое поведение, выбрав что-то одно. Но поведение коллаборативного робота должно быть предельно прозрачным, т.е. объяснимым, причем на уровне простых и наглядных цепочек рассуждений. Таким образом, задача моральной системы заключается в том, чтобы реализовывать объяснительный компонент поведения.

**Благодарности.** Исследование выполнено при частичной финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 20-07-00770.

#### Список литературы

1. Сушенцова М.С. Утилитаризм И. Бентама и Дж. С. Милля: от добродетели к рациональности // Вестник СПбГУ. Экономика. 2017. Т. 3. № 1. С. 17–25.
2. Гусейнов А.А., Апресян Р.Г. Этика. М.: Гардарики, 2000. 472 с.
3. Кузнецов О.П. Интеллектуализация поддержки управляющих решений и создание интеллектуальных систем // Проблемы управления. 2009. № 3.1. С. 64–72.
4. Кулинич А.А. Компьютерные системы моделирования когнитивных карт: подходы и методы // Проблемы управления. 2010. № 3. С. 2–16.
5. Девяткин Л.Ю. О подлинно паранепротиворечивых и подлинно парapolных многозначных логиках // Логические исследования. 2019. Т. 25. № 2. С. 26–45.
6. Сидоренко Е.А. Релевантная логика (предпосылки, исчисления, семантика). М.: ИФРАН, 2000. 243 с.
7. Карпенко А.С. Логика паранепротиворечивая [Электронный ресурс]. URL: <https://gtmarket.ru/concepts/6976> (дата обращения: 22.05.2022).
8. Карпов В.Э., Сорокоумов П.С. К вопросу о моральных аспектах адаптивного поведения искусственных агентов // Искусственные общества. 2021. Т. 16. № 2.

# КОГНИТИВНЫЙ ИНЖИНИРИНГ

Массель А.Г.

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

[amassel@isem.irk.ru](mailto:amassel@isem.irk.ru)

Не смотря на то, что термин «когнитивная карта» возник в 1948 в работе американского психолога Э. Толмена «Когнитивные карты у крыс и человека», они отображали несколько другие факторы восприятия мира. Впоследствии, в 1976 году Аксельрод сформулировал методологию когнитивного моделирования, где когнитивные карты уже представлены в виде орграфа (F,W), где F – множество факторов влияющих на ситуацию, а W – множество причинно-следственных отношений между факторами.

В последнее время, когнитивное моделирование в экономических, социальных, политических и технических сферах воспринимается в отрыве от понятия когнитивной психологии, где когнитивная карта определяется как некоторый «созданный мысленный образ, то есть своего рода мысленной репрезентации для восприятия». И хотя в когнитивной психологии рассматривается направление когнитивного моделирования гораздо шире, чем в ситуационном управлении, но эти два понятия не противоречат друг другу. И там и там, когнитивная карта представляет некоторую абстракцию, которая позволяет работать со знаниями, памятью, восприятием человека.

В докладе представляется система когнитивных карт, разного уровня детализации для оценки ситуаций, поскольку использование одиночных когнитивных карт дает лишь незначительное представление о ситуации. Связано это с ограниченностью восприятия человека, так как идеология когнитивного моделирования в первую очередь направлена на работу с экспертами, обладающими неявными знаниями, извлечение и формализация которых позволит нивелировать влияние факторов неопределенности при принятии решений.

В 2012 году к.т.н., доцент СибАДИ Л.И. Рыженко предложил термин когнитивного инжиниринга и дал следующее определение: «Когнитивным инжинирингом мы называем инжиниринг (конструирование, изменение) предметной области, осуществляемый интеллектуальной системой, использующей преобразование информации в смыслы при помощи соответствующего (когнитивного) инструментария»

Автор предлагает уточнить данный термин с использованием понятий когнитивного моделирования. Будем понимать под когнитивным инжинирингом выявление основных концептов предметной области и установление причинно-следственных связей (отношений) между ними. Результатом когнитивного инжиниринга является построение системы когнитивных моделей (графически – когнитивных карт) определенной предметной области. Предлагается выделить основные этапы когнитивного инжиниринга:

1. Выделение мета уровня (уровней) в предметной области, и построения когнитивных мета-моделей (агрегированных когнитивных карт, выявляющие основные причинно-следственные отношения в предметной области).

2. Конкретизация когнитивных мета-карт с учетом необходимого уровня рассматриваемых ситуаций.

3. Использование логико-лингвистических правил для автоматизации обработки когнитивных карт и перехода от двойственного субъективного восприятия когнитивной карты к конкретным рассуждениям.

4. При возможности, переход от когнитивных карт к математическим моделям, расчету изменения отдельных концептов и выявлению корреляции с другими концептами.

5. Визуализация динамики развития ситуаций с помощью динамических когнитивных карт.

# СТРУКТУРА ОНТОЛОГИЧЕСКОГО ПРОСТРАНСТВА ЗНАНИЙ ДЛЯ СИСТЕМНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ЭНЕРГЕТИКИ

Ворожцова Т.Н.

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

[tnn@isem.irk.ru](mailto:tnn@isem.irk.ru)

Работа выполняется в рамках проекта «Методология построения IT-инфраструктуры для разработки интеллектуальных систем управления развитием и функционированием систем энергетики». В работе предлагается описание структуры знаний и разрабатываемого онтологического пространства в области энергетики, представляющего собой систему взаимосвязанных онтологий, обеспечивающих интеграцию и структурирование знаний предметных областей. Используемый для этого онтологический подход позволяет представить требуемые компоненты знаний в виде семантической (смысловой) сети с целью установления основных взаимосвязей между понятиями предметных областей выполняемых исследований.

Компонентами данного онтологического пространства знаний являются онтологии, отражающие основные направления исследований энергетики и взаимосвязи с другими предметными областями исследований. Основные разделы формируемого пространства знаний представлены метаонтологией, которая содержит такие понятия как направление исследований, предмет, объект, метод исследования и другие.

Для структурирования разрабатываемого онтологического пространства знаний используется фрактальный подход, обеспечивающий переход от онтологий верхнего уровня (метаонтологий), включающих наиболее общие понятия, к более детальным, описывающим различные разделы системных исследований. Предлагаемая система онтологий базируется на анализе основных направлений исследований, выполняемых в ИСЭМ СО РАН. Такими направлениями являются теоретические основы, модели и методы управления развитием и функционированием интеллектуальных электроэнергетических систем, интеллектуальных трубопроводных систем энергетики, исследования проблем энергетической безопасности ТЭК и другие. Практическое использование онтологического подхода заключается в возможности наглядного представления взаимосвязей между выполняемыми исследованиями, объектами исследований, методами исследований.

Предлагаемая структура онтологического пространства знаний позволяет выполнять дальнейшую детализацию и расширение системы онтологий, что предполагает представление объектов исследований на все более детальном уровне, вплоть до описания характеристик конкретных энергетических объектов.

**Благодарности.** Работа выполнена в рамках проекта государственного задания (№ FWEU-2021-0007) программы фундаментальных исследований РФ на 2021-2030 гг. и за счет средств гранта Российского фонда фундаментальных исследований (проект № 20-07-00195) с использованием ресурсов ЦКП "Высокотемпературный контур" (Минобрнауки России, проект № 13.ЦКП.21.0038).

# РАЗРАБОТКА ЭКСПЕРТНОЙ СИСТЕМЫ ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ ВЕКТОРОВ УГРОЗ НА ИНТЕРНЕТ ВЕЩЕЙ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ОБЪЕКТА

Гаськова Д.А.<sup>1</sup>, Бекишева Е.В.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>*Институт систем энергетики им. Мелентьева СО РАН, Иркутск*

<sup>2</sup>*Иркутский национальный исследовательский технический университет, Иркутск*

[gaskovada@gmail.com](mailto:gaskovada@gmail.com)

Применение новых цифровых технологий, которые сопровождают внедрение Интернета вещей на промышленных предприятиях, с одной стороны, увеличивает эффективность управления и упрощает взаимодействие между пользователями и физическими элементами производства, а с другой, увеличивает количество «точек входа» для реализации киберугроз. Не смотря на интеллектуализацию программного обеспечения безопасности в компьютерной сети, интерпретация больших объемов получаемых данных является довольно сложной задачей, требующей высокой квалификации эксперта-аналитика. В работе предлагается использовать фреймовую и продукционную модели представления знаний при построении векторов киберугроз на киберсреду энергетического объекта, которые позволяют формализовать экспертные знания, и в дальнейшем тиражировать их.

С целью повышения осведомленности о возможных векторах киберугроз разработан прототип экспертной системы. Разработана фреймо-продукционная модель знаний, в рамках которой последовательность этапов вектора киберугрозы на актив киберсреды отражается продукционными правилами, а иерархичность актива – фреймовой моделью. Построение семантических моделей в общем виде сводятся к задачам идентификации основных понятий, установления связей между ними, определения стратегий для принятия решений на разработанной модели. Построение модели вектора угроз в киберсреде энергетического предприятия предлагается выполнять в несколько этапов, представленных в таблице 1.

**Таблица 1.** Основные этапы построения модели знаний, отражающей вектор угроз.

№	Название этапа	Описание
1	Идентификация основных понятий предметной области	Построение фреймов актива, уязвимости, угроз и определение экземпляров таких фреймов
2	Установление связей между основными понятиями	Описание причинно-следственных связей элементов вектора угроз с помощью продукционных правил.
3	Определение стратегий для принятия решений	Режим тиражирования знаний, ввод фактов о рассматриваемых активах, выбор векторов угроз для дальнейшего моделирования.

Построение базы знаний о возможных векторах киберугроз на Интернет вещей рассматривается в рамках первого этапа анализа киберситуационной осведомленности.

**Благодарности.** Результаты получены в рамках выполнения проекта по госзаданию ИСЭМ СО РАН FWEU-2021-0007 № АААА-А21-121012090007-7, отдельные аспекты прорабатывались в рамках проекта, поддержанного грантом РФФИ № 20-010-00204.

# СТРУКТУРИРОВАНИЕ ЗНАНИЙ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ВЛИЯНИЯ ОБЪЕКТОВ ЭНЕРГЕТИКИ НА ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ

Кузьмин В.Р.

*Институт систем энергетики им. Мелентьева СО РАН, Иркутск*

[rulisp@vigo.su](mailto:rulisp@vigo.su)

В настоящее время, оценка влияния объектов энергетики на окружающую среду выполняется путем мониторинга объёмов выбросов вредных веществ и проведения замеров. Для этого также используют различную статистическую информацию. Однако, в том случае, если информация отсутствует, то исследования по оценке влияния объектов энергетики на окружающую среду проводят при помощи нормативных методик, которые, в свою очередь, требуют наличия разнообразных сведений: технических характеристик объекта энергетики, параметров используемого топлива и прочих данных. Стоит отметить, что необходимый набор сведений зачастую является значительным по размеру, а сами сведения разрознены, что затрудняет его формирование. Также, подобные исследования требуют привлечения экспертов из разных предметных областей.

В докладе рассматривается система онтологий, которая интегрирует в себе:

- онтологии объектов энергетики;
- онтологии топлив;
- онтологии влияния объектов энергетики на окружающую среду;
- онтологии методик для выполнения оценок выбросов;
- онтологии вспомогательных данных (например, метеоданных).

Онтологии объектов энергетики описывают виды объектов энергетики, технические характеристики используемого оборудования и используемые ими виды топлива. Онтология топлив содержит сведения о видах топлива и их характеристиках, а также онтологию этапа преобразования топлива при его сжигании. Онтологии методик для выполнения оценок выбросов описывают существующие нормативные методики: их применимость к тем или иным объектам энергетики; описание методов расчёта, включающее набор параметров, используемых этим методом и источники информации, откуда можно получить значения этих параметров, если они являются справочными.

Выполненное структурирование знаний позволяет упростить проведение исследований влияния объектов энергетики на окружающую среду, упрощая поиск необходимой информации и помогая в работе экспертов. В дальнейшем планируется применить онтологии методик для выполнения оценок выбросов для построения событийных моделей, которые будут использованы в качестве агентных сценариев в информационно-вычислительной системе «WICS» для оценки загрязнения окружающей среды энергетическими объектами.

**Благодарности.** Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 22-21-00841.

# ТЕХНОЛОГИЯ ИНТЕГРАЦИИ СЕМАНТИЧЕСКОГО И МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ УСТОЙЧИВОСТИ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ И СОЦИО-ЭКОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Пестерев Д.В.

*Институт систем энергетики им. Мелентьева СО РАН, Иркутск*

[pesterev.dmitriy@gmail.com](mailto:pesterev.dmitriy@gmail.com)

В настоящее время в мировом научном сообществе активно развивается направление, связанное с исследованиями устойчивости. Исследования устойчивости затрагивают широкий круг областей, систем и т.п. К их числу можно отнести как технические системы, так и слабоформализуемые системы, такие как социальные, экологические и т.п. Отдельное направление исследования таких слабоформализованных систем занимает устойчивость, которая на английском языке называется «resilience». На русский это можно перевести как «упругость» или же «упругая» устойчивость. При таком подходе устойчивость (resilience) определяется как способность системы возвращаться к равновесному состоянию после временного нарушения.

Традиционно в отечественных исследованиях рассматривалась устойчивость технических систем, при этом акцент был сделан на исследованиях живучести. Современные тенденции развития энергетики, например, тенденция уменьшения углеродного следа энергетики, делают актуальными совместные исследования как энергетических, так и социо-экологических факторов. Такое направление исследований предполагает использование «упругой» устойчивости. Автором предлагается использовать семантические технологии, а именно онтологическое и когнитивное моделирование, для поддержки совместных исследований устойчивости энергетических и экологических систем, а также интеграцию семантических технологий с инструментальными средствами, реализующими математическое моделирование на примере программного комплекса ИНТЭК-А.

Исследования устойчивости энергетических систем основываются на исследованиях энергетической безопасности (ЭБ), предполагающих рассмотрение экстремальных ситуаций (ЭКС), для оценки которых используют шкалы, например, шкалу состояний «норма-предкризис-кризис». Моменты перехода из одного состояния в другое описываются количественными индикаторами энергетической безопасности. Однако при исследованиях устойчивости ситуации не всегда можно описать количественно.

Предлагается для качественного описания сценариев ситуаций использовать когнитивное моделирование. Когнитивные модели можно описать графом, где вершинам соответствуют важные для исследования понятия предметной области (их принято называть концептами), а ребрам причинно-следственные отношения концептов. Наряду с концептами, определяющими состояние исследуемой области, выделяют возмущения и мероприятия. Первые могут приводить к возникновению ЭКС, вторые предотвращают возникновение ЭКС или ликвидируют их последствия. Концепты предметной области предлагается определять с использованием соответствующих онтологий.

Однако для оценки устойчивости требуется иметь некоторые количественные показатели. Для этого предлагается интегрировать семантические и математические технологии. Описанные когнитивными моделями сценарии ситуаций предлагается передавать в ранее реализованный программный комплекс ИНТЭК-А, который используется для исследований проблем энергетической безопасности.

Предлагаемая технология будет поддержана инструментальным средством когнитивного моделирования, которое реализуется взамен унаследованного (legacy) инструментального средства CogMap, а так же многоагентным ПК ИНТЭК-А, прошедший реинжиниринг в коллективе, представляемым автором.

**Благодарности.** Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 22-21-00841.



## АГЕНТ КОГНИТИВНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ В ПК «ИНТЭК-А»

Массель А.Г., Мамедов Т.Г.

*Институт систем энергетики им. Мелентьева СО РАН, Иркутск*

[tamedowtymur@yandex.ru](mailto:tamedowtymur@yandex.ru)

В ИСЭМ СО РАН активно проводятся исследования энергетической безопасности страны и регионов, где для количественной оценки уровня энергетической безопасности был разработан программный комплекс (ПК) «ИНТЭК». ПК «ИНТЭК» предназначен для исследования направлений развития топливно-энергетического комплекса с позиций энергетической безопасности. Такие исследования носят многовариантный характер [1]. Новая версия ПК «ИНТЭК-А» была получена в результате выполнения прямого реинжиниринга в связи с тем, что предыдущие версии ПК перешли в категорию унаследованного программного обеспечения.

В ПК реализована модель топливно-энергетического комплекса, разработанная в ИСЭМ СО РАН, описывающая производство, хранение, транспорт и потребление топливно-энергетических ресурсов (ТЭР) по районам [2].

В ИСЭМ СО РАН была разработана двухуровневая технология поддержки принятия решений, интегрирующая этапы качественного и количественного анализа [3]. Для качественного анализа используются средства семантического моделирования, а для количественного анализа традиционно используются программные комплексы, разработанные в ИСЭМ СО РАН. Предполагается, что при использовании уровня качественного анализа может быть значительно снижена нагрузка на эксперта. Одним из средств качественного анализа является когнитивное моделирование.

Интеграция когнитивного моделирования в ПК «ИНТЭК-А» даст следующие возможности: визуализация результатов расчетов с помощью когнитивных моделей; снижение нагрузки на экспертов за счет ограничения вариантов расчетов; интерфейс для работы с моделью прогнозных исследований ТЭК; выявление неявных связей, в явном виде, и их формализация. Предлагается интегрировать поддержку когнитивного моделирования ПК «ИНТЭК-А».

**Благодарности.** Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 22-21-00841, <https://rscf.ru/project/22-21-00841/>.

### Список литературы

1. Массель, Л. В. Интеллектуальные вычисления в исследованиях направлений развития энергетики / Л. В. Массель, А. Г. Массель // Известия Томского политехнического университета. – 2012. – Т. 321. – № 5. – С. 135-140
2. Система моделей для исследований проблем энергетической безопасности и методы анализа их решений / Бондаренко А.Н., Криворучий Л.Д., Пяткова Н.И. и др. // Надежность систем энергетики: достижения, проблемы, перспективы / под ред. Н.И. Воропая — Новосибирск: Наука, 1999, с. 122-129
3. Применение двухуровневой технологии исследований при решении проблем энергетической безопасности / Пяткова Н.И., Сендеров С.М., Чельцов М.Б. и др. // Известия РАН. Энергетика, 2000, №6, с. 31-39

# ЦИФРОВИЗАЦИЯ И ИНДИЙСКАЯ ЭКОНОМИКА: ЗАКОНОМЕРНОСТИ И ВОПРОСЫ

Лазанюк И.В.<sup>1</sup>, Swati Modi<sup>2</sup>

<sup>1</sup>*Российский университет дружбы народов, Москва*

<sup>2</sup>*Gujarat Law Society University, Ахмедабад*

[lazanyuk-iv@rudn.ru](mailto:lazanyuk-iv@rudn.ru)

Процесс цифровизации, являясь объективным процессом, затрагивает все сферы социально-экономической системы. Происходит их трансформация под воздействием меняющихся требований внешней и внутренней среды. В исследовательской литературе выявлен значительный вклад, который цифровизация внесла в экономический рост и рост производительности, а также эффективность на макроэкономическом и микроэкономическом уровнях.

Процессу формирования новых цифровых реалий в Индии содействовали не только усилия правительства, активные действия индийского бизнеса, но и совместные шаги индийских государственных структур и частных предпринимателей, в равной степени понимающих значение, сложности и перспективы цифровой трансформации для индийской экономики и общества в целом.

Цифровые технологии играют решающую роль в повышении конкурентоспособности экономики и содействии экономическому росту во многих странах. Статья посвящена развитию цифровизации в современной экономике Индии и ее влиянию на экономические процессы, определяющие экономический рост страны.

Методология исследования основана на анализе вторичных данных. Вторичные данные, были получены из надежных государственных источников, исследовательских работ известных исследователей, веб-сайтов, журналов и т. д. Исследование также включает в себя признание проблем и возможностей цифровой Индии во всех аспектах передового опыта и повышение личной удовлетворенности жителей. В исследовании представлена оптимистичная методология предоставления более широких возможностей трудоустройства для молодежи, чтобы помочь экономике страны добиться положительного роста.

Мы проанализировали изменения уровня безработицы, операций по дебетовым и кредитным картам, косвенных налоговых поступлений, экспорта и объемов торговли. В данной работе мы использовали анализ и методы корреляционно-регрессионного анализа, включая эконометрическое моделирование. Мы обнаружили положительную связь между количеством транзакций по дебетовым и кредитным картам для взимания косвенных налогов. Также нами было подтверждено, что цифровизация повлияла на рост экспорта и объемов торговли, увеличив роль электронной коммерции, но не повысив уровень безработицы.

Исследование показало доказательства вклада цифровизации в индийскую экономику. Гипотеза о том, что подключение пользователей к широкополосной связи увеличивает уровень безработицы, не подтвердилась. Использование смартфонов повлияло на цифровые транзакции и повысило прозрачность и подотчетность финансовой системы. Мы вновь подтверждаем важность финансовой грамотности, которая может изменить фазу развития стран с развивающейся экономикой, таких как Индия. Использование Интернета в значительной степени положительно связано с косвенными налоговыми поступлениями. В связи с модернизацией индийского фондового рынка, особенно онлайн-торговли, объемы торгов увеличились. Существует значительная положительная связь между использованием Интернета и объемами торгов, что указывает на всплеск активности фондового рынка из-за цифровизации.

Нынешний кризис, связанный с пандемией, формирует новые потребительские привычки и повышает спрос на качественные изменения подходов к проблемам экономического развития многих стран мира в будущем. Правильное внедрение цифровизации может изменить фазу развития индийской экономики и позволить ей в будущем стать третьей по величине экономикой.

# ПРИМЕНЕНИЕ ЛОГИТ- И ПРОБИТ- МОДЕЛЕЙ ДЛЯ АНАЛИЗА ВЕРОЯТНОСТИ УХУДШЕНИЯ МАТЕРИАЛЬНОГО ПОЛОЖЕНИЯ РОССИЯН НА ФОНЕ ПАНДЕМИИ COVID-19

Балашова С.А.

*Российский университет дружбы народов, Москва*

[balashova-sa@rudn.ru](mailto:balashova-sa@rudn.ru)

В статье анализируются статистические данные Росстата о структуре и динамике денежных доходов россиян в период с 2013 по 2020г. [1], а также результаты лонгитюдного исследования домохозяйств РМЭЗ НИУ ВШЭ [2].

Статистические данные свидетельствуют о том, что при росте номинальных денежных доходов реальные доходы населения сокращались с 2014 г. Эта тенденция была приостановлена в 2018- 2019 гг., однако на фоне пандемии и введенных ограничений падение реальных денежных доходов продолжилось.

В структуре денежных доходов населения основную долю имеют доходы от трудовой деятельности (более 50% в течение всего рассматриваемого периода наблюдений), а также социальные выплаты (их доля составляла 18–19% период с 2013 до 2019 и выросла до 21.5% в 2020 г.).

Крайне неравномерное распределение денежных доходов среди населения, сформировавшееся в еще в начале 2000 гг., снизилось по формальным показателям в 2020 г. (произошло снижение коэффициента Джини и децильного коэффициента фондов), однако, как показывает анализ, это произошло не за счет более равномерного распределения доходов, а за счет воздействия ограничений, связанных с COVID-19, на доходы богатых россиян. Медианный среднедушевой доход в ценах 2013 г. практически не изменился в 2020 г. по сравнению с 2013. Однако процент населения, имеющего среднедушевые доходы больше 45 тыс. рублей в месяц (в ценах 2013 года) сократился с 13.3% в 2013 г до 8.2% в 2020, в то время как процент населения, имеющего доходы от 10 до 27 тыс.руб. в месяц на человека (в ценах 2013 года) вырос с 47 до 56%. При этом (благодаря увеличению социальных пособий) доля малообеспеченных россиян (с доходом меньше 10 тыс. рублей на человека в ценах 2013 г.) сократилась.

Для анализа вероятности ухудшения материального положения россиян по их субъективной оценке на фоне пандемии COVID-19 в зависимости от ряда факторов использовались логит и пробит- модели. В качестве зависимой переменной регрессионной модели для определения соответствующей вероятности выступала фиктивная переменная, принимающая значение 1, если респондент заявил об ухудшении материального положения семьи в 2020г., и 0 в противном случае (ответы в этом случае варьировались от «не изменилось» до «значительно улучшилось»). Объясняющими переменными выступили демографические показатели (пол, возраст), уровень образования, доход, занятость и сфера деятельности.

Оценки показали, что в 2020г. с большей вероятностью ухудшение материального положения наступило у россиян, имеющих высшее образование, работающих по найму или предпринимателей. Более защищенными оказались россияне, работающие на государственных предприятиях.

Различия в оценках при применении логит- или пробит-анализа оказались несущественными. В то же время, полученные оценки значительно отличаются от оценок для предшествующих лет.

## Список литературы

1. Федеральная службы государственной статистики. Раздел «Уровень жизни». <https://rosstat.gov.ru/folder/13397>
2. Российский мониторинг экономического положения и здоровья населения НИУ ВШЭ (RLMS HSE)», проводимый Национальным исследовательским университетом "Высшая школа экономики" и ООО «Демоскоп» при участии Центра народонаселения Университета Северной Каролины в Чапел Хилле и Института социологии Федерального научно-исследовательского социологического центра РАН. (Сайты обследования RLMS HSE: <http://www.hse.ru/flms> и <https://rlms-hse.cpc.unc.edu>)

# ПРОБЛЕМЫ БЕСКОНТАКНОЙ РЕГИСТРАЦИИ ПОТОКОВ В ГИДРОДИНАМИЧЕСКОЙ ТРУБЕ

Новиков М.М.<sup>1</sup>, Ипполитов Е.В.<sup>1</sup>, Камаев С.В.<sup>1</sup>, Марков М.А.<sup>1</sup>,  
Князь В.А.<sup>2</sup>, Степаньянц Д.Г.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>*Институт проблем лазерных и информационных технологий, Шатура*

<sup>2</sup>*«ГосНИИ авиационных систем», Москва*

[novikov@rambler.ru](mailto:novikov@rambler.ru)

Безопасность полетов является одним из наиболее важных факторов, которые необходимо учитывать при проектировании и эксплуатации воздушного судна. В большинстве случаев невозможно изучать характеристики самолета в реальных критических условиях полета, поэтому для анализа поведения потока обычно используется физическое моделирование в аэродинамических или гидродинамических трубах. Гидродинамическая труба является одним из эффективных средств для изучения процессов обтекания летательных аппаратов в аэродинамике (1). Она позволяет моделировать особые условия и изучать характеристики потока обтекания, которые не могут быть исследованы в реальном полете.

Для проведения бесконтактных трёхмерных измерений в гидродинамических трубах фотограмметрическими методами требуется уточнение стандартной модели формирования изображения в съёмочной камере, учитывающее эффект преломления лучей на границах оптических сред, а именно, на границе воздух – стекло и стекло – рабочая жидкость. В статье представлены модель формирования изображения для случая съёмки в рабочем пространстве, включающем различные оптические среды, и методика калибровки оптической системы для проведения трёхмерных измерений координат объектов сцены с учётом имеющихся границ оптических сред. Приведены результаты экспериментальных исследований по калибровке системы трёхмерных измерений для случая съёмки объекта через две границы оптических сред.

**Благодарности.** Данная работа сделана при финансовой поддержке РФФИ (Грант мк №19-29-13040).

## Список литературы

1. Головкин М.А., Головкина Е.В. Визуализация структур течения в окрестности моделей летательных аппаратов в гидродинамической трубе малых скоростей (самолетные аэродинамические компоновки)/Труды МАИ. Выпуск № 90, 2016, <https://trudymai.ru/published.php?ID=74692>.
2. Князь, В.А., Степаньянц Д.Г., Царева О.Ю. Калибровка оптической системы для трёхмерных измерений в гидродинамической трубе. Компьютерная оптика. 2021, Т. 45, № 1. С. 58-65. – DOI: 10.18287/2412-6179-СО-741.

# МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПОТОКА ВЧ-ПЛАЗМЫ ПОНИЖЕННОГО ДАВЛЕНИЯ С УЧЕТОМ МОДЕЛЬНОГО ОБРАЗЦА

Шемахин А.Ю., Желтухин В.С.

*Казанский (Приволжский) федеральный университет, Казань*

[shemakhin@gmail.com](mailto:shemakhin@gmail.com)

В работе описана математическая модель потока высокочастотной (ВЧ) плазмы пониженного давления. ВЧ-плазма, создаваемая разрядами при пониженных давлениях ( $p = 15 - 150$  Па) успешно используется для модификации материалов различной физической природы: сталь, титан, полиэтилен, кожа мех и др. [1]. Температура электронов исследуемого вида плазмы в расчетах составляет 1-2 эВ, степень ионизации  $10^{-7}-10^{-5}$ , концентрация электронов  $10^{15}-10^{19}$  м<sup>-3</sup>.

Разработанная гибридная математическая модель включает в себя уравнение Больцмана для нейтральной компоненты ВЧ-плазмы, уравнение непрерывности и теплопроводности для электронной компоненты, уравнение Пуассона для потенциальной компоненты электромагнитного поля, телеграфные уравнения для вихревой компоненты электромагнитного поля и уравнения непрерывности для ионной и метастабильной компонент.

Для расчета основных характеристик потока ВЧ-плазмы разработана программа, которая позволяет найти пространственное распределение основных характеристик потока плазмы пониженного давления для заданной геометрии вакуумной камеры для струи с модельным заряженным образцом. Программа, использует библиотеки пакета OpenFOAM и работает под управлением ОС Linux [2,3].

Расчеты газо- и плазменно-динамических характеристик проведены для ВЧ-плазмы пониженного давления при наличии в струе образца. Параметры вакуумной камеры в расчетах (радиус, длина, радиус выхода разрядной камеры):  $R_{vk}=0,048$  м,  $L_{vk}=0,128$  м,  $R_{gk}=0,012$  м. Получены результаты расчетов температуры, давления и скорости потока несущего газа аргона, распределение концентраций электронов, ионов, метастабильных атомов и параметры потенциальной и вихревой составляющих электромагнитного поля.

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

## Список литературы

1. Абдуллин И.Ш. Модификация нанослоев в высокочастотной плазме пониженного давления: монография / И.Ш. Абдуллин, В.С. Желтухин, И.Р. Сагбиев, М.Ф. Шаехов.- Казань: Изд-во Казан. гос. технол. ун-та, 2007.- 356 с.
2. Берд Г.А. Молекулярная газовая динамика. Москва, 1981.
3. Пакет OpenFOAM. Электронный ресурс. Режим доступа – <http://openfoam.com>

# ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЗАКРУЧЕННОГО ПОТОКА ВОДЯНОГО ПАРА С МИКРО – И НАНОЧАСТИЦАМИ АЛЮМИНИЯ И ИСТОЧНИКОМ НАГРЕВА

Кнестяпин В.Н., Завершинский И.П.

*Самарский национальный исследовательский университет им. С.П. Королева, Самара*

[knestyapin@rambler.ru](mailto:knestyapin@rambler.ru)

В настоящее время существенный интерес проявляется к исследованиям по созданию экологически чистых источников энергии, в частности, автономных установок по производству водорода и тепловой энергии.

Относительно полная кинетическая схема плазмохимических реакций в разряде в водяных парах в присутствии металлических микро- и наночастиц включает значительное число реакций. Поэтому обычно разрабатываются упрощенные кинетические схемы, которые позволяют рассчитывать параметры разрядов и течений.

В работе была учтена гетерогенность рабочей смеси водяной пар/алюминиевый порошок. Анализ экспериментальных работ показал, что температура воспламенения частиц размером ~1 мкм составляет около 1500 К. В свою очередь упрощенная кинетическая схема химических реакций учитывает, что оксид алюминия  $Al_2O_3$  не существует в газовой фазе и очень быстро разлагается на суб-оксиды.

Константы скоростей получены из ряда работ и базы данных Национального института стандартов и технологий США и представлены в виде. Термодинамические параметры участвующих в реакциях веществ рассчитывались по семикозфициантовым полиномам NASA.

На основе решения системы усреднённых по Рейнольдсу уравнений Навье-Стокса были изучено трёхмерное многокомпонентное течение в ПВР, сопровождающееся горением подаваемого в виде порошка алюминия. Для замыкания системы применялась модель турбулентности SST k- $\omega$ . На входах завихрителя задавался постоянный массовый расход смеси, массовая доля металла и его температура.

Расчёты проводились с варьирующимися мощностью источника тепловыделения, который моделировал нагрев смеси в разрядной области, и массовой долей подаваемого алюминия. В рамках использованной схемы продемонстрировано увеличение максимальной концентрации как атомарного, так и молекулярного водорода при усилении нагрева и увеличении концентрации подаваемого металла.

**Благодарности.** Работа поддержана Минобрнауки РФ в рамках Государственного задания вузам и научным организациям в сфере научной деятельности, проект № FSSS-2020-0014.

# ИДЕНТИФИКАЦИЯ НАЧАЛЬНОГО УСЛОВИЯ ДЛЯ ОДНОМЕРНОГО НЕЛИНЕЙНОГО УРАВНЕНИЯ ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ

Колесник С.А., Стифеев Е.М.

*Московский авиационный институт (Национальный исследовательский университет),  
Москва*

[stifeev99@mail.ru](mailto:stifeev99@mail.ru)

В прямых задачах механики сплошных сред (МСС) вообще и теплопроводности, в частности, математическая модель описывает связь между причиной (начальные и граничные условия, коэффициенты, алгебраические, дифференциальные или интегральные уравнения) и следствием (тепловые потоки, температурные поля, теплофизические характеристики и т.п.).

В обратных задачах наоборот – по следствию определяются причины, которые не описываются математическими моделями, вследствие чего обратные задачи чаще всего являются некорректными.

При этом, причинные характеристики выводятся по экспериментальным данным, являющимися следствием с использованием прямых математических моделей и методов решения обратных задачах.

Если по этим экспериментальным данным – пространственно-временному распределению температур – восстанавливаются начальные условия, то обратная задача называется ретроспективной.

В данной работе описана методология численного решения обратных нелинейных ретроспективных задач теплопроводности в одномерной области на примере следующей квазилинейной задачи (1):

$$\begin{cases} \frac{\partial u}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} (\lambda(u) \frac{\partial u}{\partial x}), & 0 < x < l, t > 0, \\ u(x, 0) = \varphi(x), & t = 0, \\ u(0, t) = \mu_1(t), & x = 0, \\ u(l, t) = \mu_2(t), & x = l, \end{cases} \quad (1)$$

из которой требуется определить неизвестное начальное условие  $\varphi(x)$  по известным температурным наблюдениям:

$$u(x_i, t_k) = u_{ik}, i = 1, \dots, I, k = 1, \dots, K.$$

Решение построено с использованием следующих методов: метод конечных разностей, метод параметрической идентификации, неявный градиентный спуск, регуляризация квадратичного функционала невязки, решётчатый поиск параметра регуляризации.

Разработан алгоритм и программный комплекс, проведены вычислительные эксперименты по восстановлению начального условия, описанной выше задачи. Показано, что разработка и использование различных регуляризирующих функционалов позволяет использовать экспериментальные данные, полученные с высокой погрешностью, при этом погрешности результатов остаются в окрестности погрешности экспериментальных данных.

Работа в своей основе опирается на методологии для нелинейных двумерных задач из [1-4], однако дополнена новой нелинейной задачей (1) в одномерной постановке.

### Список литературы

1. Формалёв В.Ф., Колесник С.А. Математическое моделирование сопряжённого теплопереноса между вязкими газодинамическими течениями и анизотропными телами. М.: ЛЕНАНД, 2019. - 320 с.
2. Колесник С.А. Метод идентификации нелинейных компонентов тензора теплопроводности анизотропных материалов// Математическое моделирование. 2014. Т. 26. № 2. С. 119-132.
3. Колесник С.А. Идентификация компонентов тензора теплопроводности анизотропных композиционных материалов // Механика композиционных материалов и конструкций. 2012. Т. 18. № 1. С. 111-120.
4. Формалев В.Ф., Колесник С.А., Кузнецова Е.Л. Моделирование сопряженного теплообмена в пакетах малогабаритных плоских газодинамических сопел с охлаждением // Теплофизика высоких температур. 2015. Т. 53. № 5. С. 735.



# АЛГОРИТМЫ ПОВЫШЕННОЙ ТОЧНОСТИ ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ ДВУМЕРНЫХ ТЕЧЕНИЙ ВЯЗКОЙ НЕСЖИМАЕМОЙ СРЕДЫ ВИХРЕВЫМИ МЕТОДАМИ

Солдатова И.А., Марчевский И.К.

*Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана, Москва*

[i-soldatova@bk.ru](mailto:i-soldatova@bk.ru)

Вихревые методы относятся к классу бессеточных лагранжевых методов; первоначально они применялись для моделирования идеальных (невязких) течений. Со временем появились их модификации, позволяющие корректно учитывать влияние вязкости, т.е. решать уравнение Навье-Стокса. Первым из подобных подходов был стохастический метод случайных блужданий (random walk), предложенный А. Чориным [1] и основанный на классической работе А. Эйнштейна о броуновском движении (двумерное уравнение Навье-Стокса с точностью до обозначений совпадают с уравнением Фоккера-Планка-Колмогорова). Данный подход прост для реализации применительно к расчету динамики вихревых структур, однако его использование для моделирования обтекания профилей менее очевидно; кроме того, метод обладает невысокой точностью.

Другой (детерминированный) подход предложен в работе [2] и существенно развит Г.Я. Дынниковой [3], где он получил название метода вязких вихревых доменов (ВВД). Его суть состоит во введении в дополнение к скорости течения  $\vec{V}$  т.н. диффузионной скорости  $\vec{W} = -\nu \nabla \Omega / \Omega$  (где  $\Omega$  - поле завихренности), пропорциональной вязкости среды; в результате перемещение вихрей по суммарному полю  $\vec{V} + \vec{W}$  позволяет моделировать вязкую диффузию завихренности. Предложенные в ВВД алгоритмы позволяют корректно учитывать наличие обтекаемого профиля, а результаты расчетов хорошо согласуются с экспериментами [4].

Недостатком указанных алгоритмов является их сравнительно невысокая точность, проявляющаяся при решении модельных задач (для обеспечения малой погрешности приходится использовать весьма большое количество вихревых частиц). В частности, достаточно наглядной и показательной оказалась известная задача о диффузии круглого вихря – вихря Ламба. Начальное распределение завихренности задается по известному точному решению, и далее моделируется его вязкая диффузия. В ходе расчета измеряется циркуляция скорости по окружностям фиксированного радиуса; его легко сопоставить с известным точным аналитическим решением.

В работе рассмотрены возможные способы повышения точности расчета диффузионной скорости в рамках метода ВВД за счет применения различных алгоритмов сглаживания функций. На модельных задачах удается достичь 10-кратного повышения точности при неизменной дискретизации распределения завихренности. Более того, использование финитных ядер сглаживания, на которых достигнута наибольшая точность, снижает вычислительную сложность алгоритма диффузионных скоростей по сравнению с оригинальными алгоритмами.

## Список литературы

1. Chorin A.J. Computational Fluid Mechanics // Selected Papers: Academic press, inc., 1989. 223 p.
2. Ogami Y., Akamatsu T. Viscous flow simulation using the discrete vortex model – the diffusion velocity method // Computers & Fluids. 1991. Vol. 19, Is. 3–4. P. 433-441.
3. Дынникова Г.Я. Лагранжев подход к решению нестационарных уравнений Навье-Стокса // ДАН. 2004. Т. 399, №1. С. 42-46.
4. Kuzmina K., Marchevsky I., Soldatova I., Izmailova Y. On the scope of Lagrangian vortex methods for two-dimensional flow simulations and the POD technique application for data storing and analyzing // Entropy. 2021. V. 23. No. 1. Art. 118.

# БЫСТРЫЙ МЕТОД РЕШЕНИЯ ГРАНИЧНОГО ИНТЕГРАЛЬНОГО УРАВНЕНИЯ, ВОЗНИКАЮЩЕГО В ВИХРЕВЫХ МЕТОДАХ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ ГИДРОДИНАМИКИ

Рятина Е.П., Марчевский И.К.

*Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана, Москва*

[evgeniya.ryatina@yandex.ru](mailto:evgeniya.ryatina@yandex.ru)

Для решения задач моделирования внешнего обтекания профилей или тел потоком вязкой несжимаемой жидкости могут быть эффективно применены вихревые методы вычислительной гидродинамики, в которых в качестве первичной расчетной величины рассматривается поле завихренности. В области течения при этом происходит движение уже существующей завихренности, а новая генерируется лишь на обтекаемой поверхности в форме свободного вихревого слоя ("свободный" означает, что сосредоточенная в нем завихренность возникает на обтекаемой поверхности, а затем сходит в поток, образуя и пополняя вихревой след вблизи и позади обтекаемого тела). Его интенсивность может быть найдена из решения граничного интегрального уравнения (ГИУ), выражающего условие прилипания. Матрица системы линейных уравнений, являющейся дискретным аналогом ГИУ, является полностью заполненной и не обладает свойствами симметрии и положительной определенности; при большой размерности системы ее набор (вычисление), хранение и решение системы прямыми методами являются затратными операциями, в особенности при решении трехмерных задач, когда типичное значение размерности - от десятков до сотен тысяч. Использование итерационных алгоритмов позволяет лишь частично решить проблему вычислительной сложности процедуры решения системы. Учитывая, что большинство итерационных алгоритмов предполагают умножение матрицы системы на некоторый вектор (вектор предыдущего приближения, поправки, невязки и т.п.), данная операция может быть выполнена с логарифмической вычислительной сложностью при использовании специальных быстрых алгоритмов.

Для этих целей разработана модификация метода Барнса – Хата, в которой применены идеи быстрого метода мультиплией. Первоначально данная модификация была разработана для расчета конвективных скоростей вихревых частиц - операции, эквивалентной умножению некоторой матрицы (как правило не вычисляемой явно) на вектор. В данной работе метод адаптирован к решению систем линейных уравнений, получающейся в результате применения метода Галеркина к построению соответствующих дискретного аналога ГИУ. Предусмотрены возможности представления решения ГИУ - интенсивности свободного вихревого слоя - в виде кусочно-постоянного и кусочно-линейного распределения по границе профиля в двумерном случае и кусочно-постоянного в трехмерном. Разработанная модификация состоит в вычислении и учете мультипольных моментов панелей, что позволяет корректно учитывать вид распределения завихренности по панелям (участкам дискретизации профиля). Показана необходимость такого учёта для обеспечения точности, близкой к точности прямого расчета. Локальное интегрирование мультипольных разложений вдоль контрольных панелей позволяет учитывать интегральный характер обеспечения граничного условия (составляющий суть метода Галеркина), что значительно повышает точность решения ГИУ по сравнению с более простым методом коллокаций в контрольных точках.

Существенной чертой предложенного метода является отсутствие необходимости хранения матрицы системы целиком – целесообразно хранить лишь те коэффициенты, которые выражают влияние близкорасположенных панелей (они составляют не более 1-3 % всей матрицы, в зависимости от решаемой задачи).

Результаты решения тестовых задач подтверждают квазилинейную сложность и высокую точность разработанного алгоритма, применение которого на практике позволяет многократно (в сотни-тысячи раз) снизить время численного решения граничного интегрального уравнения в вихревых методах.

# МНОГОМЕРНЫЙ ХАОС ВО ВЗАИМОДЕЙСТВУЮЩИХ ГЕНЕРАТОРАХ КВАЗИПЕРИОДИЧЕСКИХ КОЛЕБАНИЙ

Станкевич Н.В.<sup>1</sup>, Кузнецов А.П.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>*Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики»,  
Нижний Новгород*

<sup>2</sup>*Саратовский филиал Института радиотехники и электроники им. В.А. Котельникова РАН,  
Саратов*

[stankevichnv@mail.ru](mailto:stankevichnv@mail.ru)

Динамический хаос является одним из фундаментальных свойств радиофизических генераторов [1]. Появление хаоса возможно в динамических системах размерности три и больше. При этом увеличение размерности фазового пространства влечет усложнение хаотического поведения. Еще одним фактором, приводящим к разнообразию в динамике системы является вовлечение новых частотных компонент, то есть ситуации, когда хаос возник на основе квазипериодических колебаний. В рамках данной работы с помощью математического моделирования на примерах различных радиофизических генераторов показано разнообразие хаотических аттракторов, возникающих в результате реализации различных сценариев их развития.

На примере системы двух связанных генераторов квазипериодических колебаний исследованы квазипериодические колебания и многочастотные торы, показано развитие хаоса, гиперхаоса и хаоса с дополнительными нулевыми показателями Ляпунова. В качестве базового генератора были выбраны два вида моделей: трехмерный генератор квазипериодических колебаний [2] и четырехмерный модифицированный генератор Анищенко-Астахова [3], в котором также наблюдаются квазипериодические колебания. Проведено исследование устройства плоскостей параметров с помощью анализа спектра показателей Ляпунова, исследованы сценарии развития различных хаотических аттракторов.

**Благодарности.** Работа выполнена при поддержке гранта РФФ (проект № 21-12-00121, проведение численных экспериментов, анализ свойств хаотических аттракторов) и гранта РФФИ (проект № 19-31-60030, описание сценариев развития гиперхаоса).

## Список литературы

1. Кузнецов С.П. Динамический хаос. 2-е изд-е перераб. и доп.: Физматлит, Москва, 2006, 356 с.
2. Kuznetsov A.P., Kuznetsov S.P., Mosekilde E., Stanevich N.V. Generators of quasiperiodic oscillations with three-dimensional phase space // European Physical Journal. Special Topics. 2013. (222). P. 2391-2398.
3. Анищенко В.С., Николаев С.М. Генератор квазипериодических колебаний. Бифуркация удвоения двумерного тора // Письма в ЖТФ. 2005. 31(19). С. 88-94.

# МЕТОДЫ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ МОДЕЛЬНЫХ НЕЙРОНОВ

Станкевич Н.В., Купцов П.В.

*Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики»,*

*Нижний Новгород*

[stankevichnv@mail.ru](mailto:stankevichnv@mail.ru)

Применение искусственных нейронных сетей в нелинейной динамике в некоторых аспектах является хорошо развитой областью. В основном это связано с моделированием систем, реконструкцией пространства состояний и прогнозированием временных рядов [1]. Учитывая успехи глубокого обучения в различных областях, использование методов машинного обучения для анализа сложной динамики может быть расширено. Многообещающая перспектива связана с обобщающей способностью сетей. Если сеть обучается на данных, сгенерированных динамической системой, можно предположить, что она извлечет суть обученных данных. Последующая оценка сети приведет к обнаружению новых функций, которые могли остаться незамеченными. Другая перспектива связана с тем, что нейронные сети можно рассматривать как универсальные аппроксиматоры [2]. Нейронную сеть можно научить восстанавливать практически любую, даже очень сложную функциональную зависимость. В частности, это означает, что сети можно использовать для моделирования динамических систем.

В рамках данной работы мы представляем результаты моделирования динамики с использованием нейронных сетей. Ранее мы рассматривали простую двухслойную сеть как рекуррентное отображение, способное моделировать различные динамические системы, включая систему Лоренца, систему Ресслера, а также модель Хиндмарша–Роуза [3], для которых созданная нейросетевая модель продемонстрировала высокое качество реконструкции. Однако оказалось, что динамика модели типа Ходжкина–Хаксли с двумя быстрыми и одной медленной переменной требует более сложного подхода. В рамках данной работы разработан алгоритм работы нейронной сети, позволяющий получить модель, генерирующую такой тип поведения, а также обнаружить в модели бистабильность.

**Благодарности.** Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ (проект № 20-71-10048).

## Список литературы

1. Haykin S. Neural networks and learning machines. 3rd Edition. Pearson Prentice Hall. 2009.
2. Cybenko G. Approximation by superpositions of a sigmoidal function // Mathematics of Control, Signals and Systems. 1989. 2(4). P. 303–314.
3. Kuptsov P.V., Kuptsova A.V., Stankevich N.V. Artificial neural network as a universal model of nonlinear dynamical systems // Russian Journal of Nonlinear Dynamics. 2021. 17(1). P. 5–21.

# МЕТОД И РЕЗУЛЬТАТЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ В АНАЛИТИЧЕСКОЙ ФОРМЕ ПАРАМЕТРОВ ТЕТРАЭДРИЧЕСКИХ РАСЩЕПЛЕНИЙ В МОЛЕКУЛАХ ТИПА СФЕРИЧЕСКОГО ВОЛЧКА

Уленеков О.Н., Громова О.В., Бехтерева Е.С.

*Национальный исследовательский Томский политехнический университет, Томск*

[ulenikov@mail.ru](mailto:ulenikov@mail.ru)

В сообщении рассматривается математическая основа решения важной и до сих пор нерешенной в аналитическом виде проблемы описания сложной так называемой тетраэдрической структуры спектров молекул типа сферического волчка, к которым относится одна из наиболее востребованных в задачах атмосферной оптики и астрофизики молекула метана  $\text{CH}_4$ . Основная сложность проблемы вплоть до недавнего времени заключалась в невозможности аналитического представления квантово-механических колебательно-вращательных волновых функций такого типа молекул. Нами с использованием теории неприводимых тензорных операторов впервые удалось эту проблему решить и получить в самом общем виде необходимые результаты (колебательно-вращательные волновые функции такого типа молекул для произвольных значений как колебательных, так и вращательных квантовых чисел) на основе специально разработанного на языке MAPLE пакета прикладных программ. Полученные результаты открывают широкие возможности для качественного (аналитического) исследования сложных задач описания тонкой колебательно-вращательной структуры молекул типа сферического волчка.

**Благодарности.** Работа выполнена в рамках проекта Томского политехнического университета «Приоритет-2030».

# РАЗРАБОТКА И ПРАКТИЧЕСКОЕ ПРИМЕНЕНИЕ АНАЛИТИЧЕСКИХ ВЫЧИСЛЕНИЙ НА КОМПЬЮТЕРЕ ДЛЯ ПРИМЕНЕНИЯ В ФИЗИКЕ МНОГОАТОМНЫХ МОЛЕКУЛ

Жиляков А.С., Бехтерева Е.С., Громова О.В., Уленеков О.Н.

*Национальный исследовательский Томский политехнический университет, Томск*

[ulenikov@mail.ru](mailto:ulenikov@mail.ru)

На основе операторной теории возмущений разработана и практически реализована на языках FORTRAN и MAPLE система аналитических вычислений, позволившая впервые получить в аналитической форме формулы, связывающие различные колебательные параметры

$$E_{v_1 \dots v_n} = \sum_{\lambda} \omega_{\lambda} \left( v_{\lambda} + \frac{1}{2} \right) + \sum_{\lambda, \mu \geq \lambda} x_{\lambda\mu} \left( v_{\lambda} + \frac{1}{2} \right) \left( v_{\mu} + \frac{1}{2} \right) + \sum_{\lambda, \mu \geq \lambda, \nu \geq \mu} y_{\lambda\mu\nu} \left( v_{\lambda} + \frac{1}{2} \right) \left( v_{\mu} + \frac{1}{2} \right) \left( v_{\nu} + \frac{1}{2} \right);$$

вращательные параметры

$$B_{\beta} = B_{\beta}^e - \sum_{\lambda} \alpha_{\lambda}^{\beta} \left( v_{\lambda} + \frac{1}{2} \right) + \sum_{\lambda, \mu \geq \lambda} \gamma_{\lambda\mu}^{\beta} \left( v_{\lambda} + \frac{1}{2} \right) \left( v_{\mu} + \frac{1}{2} \right);$$

параметры центробежного искажения

$$\Delta_i = \Delta_i^e + \sum_{\lambda} \delta_{\lambda}^i \left( v_{\lambda} + \frac{1}{2} \right).$$

а также различные параметры резонансов Ферми, Дарлинг-Деннисона и Кориолиса произвольных молекул типа асимметричного волчка с фундаментальными характеристиками (структурными и внутримолекулярными динамическими параметрами) такого типа молекул. Разработанные подходы и созданные на их основе компьютерные программы при небольших модификациях могут использоваться при решении подобных задач для всех других типов многоатомных молекул.

В разработанной версии, результаты получены на основе операторной теории возмущений до четвертого порядка малости с учетом параметров внутримолекулярной потенциальной функции шестого порядка малости.

# ПРИМЕНЕНИЕ РАЗРЫВНОГО МЕТОДА ГАЛЕРКИНА К МОДЕЛИРОВАНИЮ ВЯЗКИХ ТЕЧЕНИЙ

Сауткина С.М.

*Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана, Москва*

*Институт системного программирования им. В.П. Иванникова РАН, Москва*

[iliamarchevsky@bmstu.ru](mailto:iliamarchevsky@bmstu.ru)

В последнее время в среде исследователей, занимающихся вопросами численного решения задач газовой динамики, возрастает интерес к методам высокого порядка точности. Такие методы позволяют получать хорошие результаты на более грубых расчетных сетках по сравнению с традиционными методами контрольных объемов, обеспечивающими второй порядок точности. Одним из наиболее перспективных подходов к повышению точности аппроксимации определяющих соотношений на неструктурированных сетках является метод Галеркина с разрывными базовыми функциями (Discontinuous Galerkin, DG-метод). Этот метод сочетает в себе преимущества метода контрольных объемов и метода конечных элементов. Разрывный метод Галеркина обеспечивает консервативность решения, позволяет проводить расчеты на сетках невысокого качества и характеризуется компактным шаблоном аппроксимации. Кроме того, DG-метод обеспечивает возможность построения компактных численных схем произвольно высокого порядка точности.

Разрывный метод Галеркина для решения уравнений Эйлера, которые описывают течения идеального газа, хорошо изучен и успешно применяется различными исследователями [1]. Для решения уравнений Навье - Стокса известно несколько подходов к аппроксимации вязких потоков. Подход Bassi & Rebay 1 (BR1) [2] заключается в представлении уравнения в частных производных в виде расширенной системы с введением градиента скоростей в качестве нового неизвестного. Для решения уравнения, содержащего указанные градиенты, используется схема с вычислением среднего арифметического вязких потоков и среднего арифметического решения. На сегодняшний день эта схема является наиболее простой для дискретизации членов второго порядка. Несмотря на популярность схемы BR1, на практике возникают ограничения применения такой схемы.

В работе представлен анализ результатов применения схемы BR1 в сочетании с разрывным методом Галеркина и явными методами Рунге – Кутты. В качестве тестовых задач рассмотрены вязкие течения в двумерных областях. Факторами, влияющими на качество получаемого численного решения, являются порядок схемы, количество отрезков, которыми аппроксимируется обтекаемый профиль, размер и форма ячеек используемой сетки. Проведен анализ влияния этих и некоторых других параметров и исследована возможность получения более качественного численного решения.

## Список литературы

1. Korchagova V.N., Fufaev I.N., Lukin V.V., Sautkina S.M. Numerical modeling of twodimensional perfect gas flows using RKDG method on unstructured meshes // AIP Conference Proceedings. 2018. Vol. 2027.
2. Bassi F., Rebay S. A High-Order Accurate Discontinuous Finite Element Method for the Numerical Solution of the Compressible Navier-Stokes Equations // Journal of Computational Physics. 1997. Vol. 131(2). P. 267279.

# ПРОГРАММНЫЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ РАСЧЕТА ПРОСТРАНСТВЕННОГО ОБТЕКАНИЯ ТЕЛ ВИХРЕВЫМИ МЕТОДАМИ

Марчевский И.К., Щеглов Г.А., Дергачев С.А.

*Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана, Москва*

[iliamarchevsky@bmstu.ru](mailto:iliamarchevsky@bmstu.ru)

Несмотря на то, что вихревые методы, по-видимому, являются одними из первых методов вычислительной гидродинамики, и их развитие продолжается до сегодняшнего дня, общедоступные программные реализации соответствующих алгоритмов начинают появляться лишь в последние годы.

Ранее Марчевским И.К. с соавторами был создан программный комплекс VM2D [1] для моделирования плоских течений, показавший высокую эффективность, особенно с учетом возможности использования технологий параллельных вычислений (OpenMP, MPI, CUDA). На его основе авторами разработан программный комплекс VM3D для моделирования пространственных течений. Первичной расчетной величиной в вихревых методах является завихренность, однако выбор модели вихревого элемента в пространственном случае (в отличие от плоского, где таковым является круглый вихрь Рэнкина или Ламба) нетривиален. Большинство существующих моделей вихревых элементов обладают существенными недостатками принципиального характера, что делает их слабо пригодными для решения представляющих интерес инженерных задач по моделированию обтекания различных тел и оценке действующих на них нестационарных гидродинамических нагрузок. Наиболее перспективной представляется модель замкнутой вихревой петли [2]. Несмотря на кажущуюся принципиальную простоту такого подхода, его реализация применительно к вышеупомянутым задачам потребовала разработки множества подходов и алгоритмов, как достаточно "общих", имеющих самостоятельную теоретическую и практическую ценность, так и более "частных". К числу первых можно отнести:

- новый подход к определению интенсивности вихревого слоя, моделирующего обтекаемую поверхность, на основе решения граничного интегрального уравнения с абсолютно интегрируемым ядром методом Галеркина [3];
- алгоритм восстановления плотности потенциала двойного слоя на поверхности тела по известному его поверхностному градиенту (с точностью до множителя - интенсивности вихревого слоя) на основе метода наименьших квадратов;
- алгоритм построения кратчайшего (или близкого к нему) пути на триангулированной поверхности, где в качестве первого приближения использован алгоритм Э.Дейкстры, дающий путь, проходящий по ребрам соответствующей многогранной поверхности.

Помимо перечисленных в докладе обсуждаются "частные" алгоритмы, относящиеся к процедуре моделирования эволюции вихревых петель и реструктуризации вихревого следа. Без их применения обеспечить устойчивое моделирование движения вихревых петель оказывается невозможным.

Также в докладе затронуты упрощенные постановки задачи: расчет потенциального обтекания тел, определение компонент тензора присоединенных масс тела, расчет обтекания тел в присутствии экрана.

Использование технологий параллельных вычислений (OpenMP, MPI) позволяет существенно снизить время выполнения расчетов на многоядерных/многопроцессорных ЭВМ. Результаты решения модельных задач хорошо согласуются с известными точными



решениями, а числовые характеристики величин гидродинамических нагрузок, действующих на обтекаемые тела, удовлетворительно согласуются с данными экспериментов.

#### Список литературы

1. VM2D: <https://github.com/vortexmethods/VM2D.git>
2. Dergachev S.A., Marchevsky I.K., Shcheglov G.A. Flow simulation around 3D bodies by using Lagrangian vortex loops method with boundary condition satisfaction with respect to tangential velocity components // *Aerospace Science and Technology*. 2019. V. 94. Art. 105374. doi: 10.1016/j.ast.2019.105374
3. Марчевский И.К., Щеглов Г.А. Процедура определения интенсивности вихревого слоя при моделировании обтекания тела пространственным потоком несжимаемой среды // *Математическое моделирование*. 2019. Т. 31, № 11. С. 21-35. doi:10.1134/S0234087919110029

# МЕТОД РЕШЕНИЯ ОБРАТНЫХ СПЕКТРОСКОПИЧЕСКИХ ЗАДАЧ ДЛЯ МНОГОАТОМНЫХ МОЛЕКУЛ И ЕГО РЕАЛИЗАЦИИ В ВИДЕ ПАКЕТА КОМПЬЮТЕРНЫХ ПРОГРАММ

Уленеков О.Н., Бехтерева Е.С., Громова О.В.

*Национальный исследовательский Томский политехнический университет, Томск*

[ulenikov@mail.ru](mailto:ulenikov@mail.ru)

Предложен и реализован в виде пакета программ на языке FORTRAN высокоэффективный метод решения обратных спектроскопических задач, основанный на использовании свойств решения уравнения Шредингера для многоатомных молекул. Предложенный подход отличается от традиционно используемых аналогичных подходов решения обратных задач рядом особенностей:

1). Время расчета и объем используемой оперативной памяти. Будучи итерационной процедурой, разработанный метод позволяет сократить время выполнения одной итерации в  $(N+1)$  раз по сравнению с широко используемым так называемым «пошаговым» методом с использованием численного дифференцирования при решении обратной задачи (в данном случае  $N$  – число параметров математической модели, которые определяются в результате решения обратной спектроскопической задачи).

2). В отличие от многих других аналогичных подходов к решению обратных многоминимумных обратных задач, которые требуют достаточно хорошего начального приближения для варьируемых параметров, развитый подход позволяет получить результат при использовании практически любого начального приближения для искомых параметров (за исключением ситуации, когда начальные значения всех искомых параметров положены равными нулю).

3). Позволяет получить результат уже после 2-3 итераций, что несопоставимо меньше традиционных подходов.

В докладе предполагается обсудить математическую (квантово-механическую основу) развитого подхода.

**Благодарности.** Работа выполнена при финансовой поддержке Российского Научного Фонда (грант 22-22-00171).

# ДВУХКРИТЕРИАЛЬНАЯ ОПТИМИЗАЦИЯ ПАРАМЕТРОВ СИСТЕМЫ УРАВНЕНИЙ ДАРСИ-ФОРХГЕЙМЕРА ДЛЯ ПАРОВОДЯНОГО ПОТОКА ЧЕРЕЗ ЗАСЫПКУ ИЗ ШАРОВЫХ ЧАСТИЦ

Хан П.В., Таиров Э.А., Сафаров А.С.

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

[polinakhan@isem.irk.ru](mailto:polinakhan@isem.irk.ru)

Двухфазные потоки в пористой среде являются объектом исследования в различных научных и инженерных приложениях, в том числе и ядерной энергетике. На данный момент пароводяные потоки в засыпках изучены недостаточно. Для потоков с почти нулевой скоростью жидкой фазы на основе системы уравнений Дарси-Фохгеймера с коэффициентами Эргуна построены модели, в частности [1], дающие одновременно хорошее соответствие с экспериментальными значениями как перепада давления, так и истинного объемного паросодержания. Однако, как отмечено в работе [2], для скорости жидкой фазы, достигающей 0,018 м/с, ни одна из существующих моделей не дает удовлетворительного результата. В данном исследовании решается задача двухкритериальной оптимизации для подбора значений коэффициентов модели Дарси-Форхгеймера с целью достижения соответствия расчетных значений экспериментальным одновременно для перепада давления и истинного объемного паросодержания при более высоких скоростях жидкой фазы. На данном этапе исследования, изучена гипотеза пренебрежимо малых сил взаимодействия между жидкой и паровой фазами, что соответствует результатам, полученным в работе [1] для частиц размером менее 4 мм. Целевая функция представляет взвешенную сумму квадратов отклонений расчётных значений от экспериментальных по всем экспериментам для градиента давления и истинного объемного паросодержания. Поиск оптимального решения осуществлялся градиентным методом в пространстве коэффициентов уравнения для жидкой фазы. Коэффициенты для паровой фазы фиксированы. Для экспериментальных данных в диапазоне значений скорости жидкой фазы 0,009-0,165 м/с, паровой фазы 0,05-2,49 м/с, давления 0,3-0,9 МПа, массового расходного паросодержания 0,005-0,08 получены оптимальные значения, обеспечивающие соответствие 12% по градиенту давления и 13% по истинному объемному паросодержанию.

**Благодарности.** Работа выполнена в рамках проекта государственного задания (№ FWEU-2021-0005) программы фундаментальных исследований РФ на 2021-2030 гг. с использованием ресурсов ЦКП "Высокотемпературный контур" (Минобрнауки России, проект № 13.ЦКП.21.0038).

## Список литературы

1. Schulenberg T., Muller U. An improved model for two-phase flow through beds of coarse particles // Int. J. Multiph. Flow. 1987. Vol. 13. P. 87–97.
2. Chikhi N. et al. Pressure drop and average void fraction measurements for two-phase flow through highly permeable porous media // Ann. Nucl. Energy. Elsevier Ltd, 2016. Vol. 94. P. 422–432.

# ПСЕВДОГИПЕРБОЛИЧЕСКИЕ АТТРАКТОРЫ И ИХ ПРИМЕРЫ В ТРЕХМЕРНЫХ ОТОБРАЖЕНИЯХ

Гонченко А.С.<sup>1</sup>, Самылина Е.А.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>*Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского,  
Нижний Новгород*

<sup>2</sup>*Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики»,  
Нижний Новгород*

[agonchenko@mail.ru](mailto:agonchenko@mail.ru)

В докладе представлены элементы теории псевдогиперболических аттракторов многомерных отображений. Такие аттракторы, также как и гиперболические, являются настоящими странными аттракторами, однако допускают существование гомоклинических касаний. Мы также даем описание феноменологических сценариев возникновения псевдогиперболических аттракторов различных типов в однопараметрических семействах трехмерных диффеоморфизмов, а в качестве примеров рассматриваем ориентируемые и неориентируемые трехмерные отображения Эно.

**Благодарности.** Работа выполнена при поддержке гранта РФ (грант № 20-71-00079).

Е.А. Самылина благодарит грант Министерства науки и высшего образования РФ соглашение №075-15-2019-1931 при Лаборатории динамических систем и приложений НИУ ВШЭ.

# ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРОННО-ВОЛНОВОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ В РЕЗОНАТОРАХ ГИРОТРОНОВ НА ОСНОВЕ КОМПЛЕКСА ПРОГРАММ ANGEL

Семенов Е.С., Зуев А.С., Фокин А.П.

*Институт прикладной физики РАН, Нижний Новгород*

[semes@ipfran.ru](mailto:semes@ipfran.ru)

Перспективным генератором в миллиметровом и субмиллиметровом диапазоне длин волн является гиротрон [1] — вакуумный прибор, основными элементами которого являются активная среда (винтовой электронный пучок) и резонатор. Полноценный расчёт электронно-волнового взаимодействия в резонаторе гиротрона с учётом всех нюансов — вычислительно трудоёмкая задача, решение которой при помощи PIC-кодов (пакеты CST, KARAT и др.) требует мощных вычислительных комплексов и занимает до нескольких суток на одну реализацию. В ИПФ РАН создан комплекс программ ANGEL, в котором реализованы представленные в работе эффективные модели и алгоритмы, разработанные с учётом специфики работы гироприборов. Этот комплекс позволяет, в том числе, определить характеристики электродинамической системы и электронного пучка, рассчитать стартовые токи и эффективность электронно-волнового взаимодействия.

На первом этапе с учётом требований заказчика (частоты, мощности, длительности импульса излучения) определяются рабочие параметры гиротрона и оптимизируется профиль его резонатора. С целью нахождения электродинамических характеристик решается так называемая «холодная задача» — электродинамическая задача без учёта электронного пучка, основанная на решении задачи Штурма—Лиувилля для неоднородного уравнения струны. Такой подход позволяет для заданной геометрии резонатора найти частоту и добротность выбранной рабочей моды и определить продольную структуру ВЧ-поля.

Рабочая мода выбирается с учётом проблемы конкуренции мод, что особенно актуально в случае гиротронов, работающих на высоких циклотронных гармониках. Для первоначального анализа условий конкуренции строится спектр мод, частота которых располагается вблизи требуемой; при этом для каждой рассматриваемой моды определяется структурный фактор связи поля с пучком. Далее для анализа условий самовозбуждения рабочей моды и оценки вероятности возбуждения паразитных мод рассчитываются стартовые токи выбранной моды и соседних паразитных мод.

Различные системы уравнений, используемые при моделировании электронно-волнового взаимодействия в гиротроне, известны достаточно давно [1–4]. В данной работе эффективность (КПД) электронно-волнового взаимодействия и мощность выходного излучения находятся в рамках стационарной самосогласованной модели, учитывающей нефиксированность продольной структуры ВЧ-поля в резонаторе гиротрона, неоднородность статического магнитного поля, разброс осцилляторных скоростей электронов и разброс ведущих центров электронных траекторий. Нестационарные модели [1, 5] позволяют исследовать сценарии включения гиротрона и конкуренцию мод.

Для определения свойств электронного пучка на всей длине прибора от эмиттера до коллектора производится траекторный анализ, основанный на итерационном методе трубок тока для вычисления плотности пространственного заряда, а также на методе вспомогательных источников для нахождения статического электрического поля [6].

Описанные в данной работе модели и алгоритмы позволяют выполнить оптимизацию параметров гиротрона, используя минимальные вычислительные и временные ресурсы. Результаты расчётов прошли неоднократную проверку как в сравнении с расчётами в других

программах, так и с экспериментальными данными гиротронов. В настоящее время комплекс программ ANGEL активно используется в ИПФ РАН и ЗАО «НПП Гиком» при разработке гиротронов суб-ТГц и ТГц диапазона частот.

**Благодарности.** Работа поддержана грантом Президента РФ №МК-3413.2021.1.2

#### **Список литературы**

1. Nusinovich G.S. Introduction to the Physics of Gyrotrons. Baltimore: The Johns Hopkins University, 2004. 336 p.
2. Botton M., Antonsen T.M., Levush B., Nguyen K.T., Vlasov A.N. MAGY: a time-dependent code for simulation of slow and fast microwave sources // IEEE Trans. Plasma Sci. 1998. Vol. 26. No. 3. P. 882–892. DOI: 10.1109/27.700860.
3. Moiseev M.A., Zapevalov V.E., Zavolsky N.A. Efficiency enhancement of the relativistic gyrotron // Int. J. Infrared Millimeter Waves. 2001. Vol. 22. No. 6. P. 813–833. DOI: 10.1023/A:1014954012067
4. Завольский Н.А., Запевалов В.Е., Моисеев М.А. Численное моделирование процессов электронно-волнового взаимодействия в резонаторах мощных гиротронов с частотой 300 ГГц // Изв. вузов. Радиофизика. 2021. Т. 64, № 3. С. 192–205.
5. Semenov E., Zapevalov V., Zuev A. Methods for Simulation the Nonlinear Dynamics of Gyrotrons // Communications in Computer and Information Science. 2021. Vol. 1413. P. 49–62. DOI: 10.1007/978-3-030-78759-2\_4
6. Лыгин В.К., Мануилов В.Н., Цимринг Ш.Е. О методах интегральных уравнений и вспомогательных зарядов в траекторном анализе интенсивных электронных пучков // Электронная техника. Сер.1. Электроника СВЧ. 1987. №7 (401). С. 36.

# АЛГОРИТМЫ ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ ГИДРОУПРУГИХ КОЛЕБАНИЙ ПРОФИЛЕЙ В ВИХРЕВЫХ МЕТОДАХ

Измайлова Ю.А., Марчевский И.К.

*Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана, Москва*

[iliamarchevsky@bmstu.ru](mailto:iliamarchevsky@bmstu.ru)

Вихревые методы вычислительной гидродинамики [1] относятся к классу бессеточных лагранжевых методов моделирования течений, в которых первичной расчетной величиной является завихренность  $\Omega = \nabla \times V$ . Путем моделирования эволюции завихренности в области течения и ее генерации на границе обтекаемого профиля можно описать течение жидкости вокруг этого профиля, а также вычислить действующие на него гидродинамические нагрузки.

На сегодняшний день известно множество модификаций вихревых методов, при этом методы моделирования плоских течений развиты существенно лучше по сравнению с пространственными. В случае плоских течений завихренность фактически представляет собой скалярное поле, поскольку вектор  $\Omega$  имеет единственную ненулевую компоненту, ортогональную плоскости течения. Отсюда следует, что  $V \cdot \Omega = 0$ , а это, в свою очередь, позволяет построить математическую модель учета влияния вязкости, оставаясь при этом в рамках чисто лагранжева подхода к описанию эволюции завихренности. Представителем численных методов такого класса является метод вязких вихревых доменов (ВВД), разработанный проф. Г.Я. Дынниковой [2].

Вихревые методы, в силу сравнительно низкой вычислительной сложности, являются эффективными для ряда актуальных инженерных задач, а именно для моделирования существенно нестационарных режимов обтекания профилей или их систем, при этом профили могут быть подвижными или деформируемыми. Часто в подобных задачах представляет интерес расчет гидродинамических нагрузок, действующих на обтекаемый профиль, а не моделирование собственно течения. Необходимость расчета нестационарных гидродинамических нагрузок, сопровождающих вихревой отрывной характер обтекания, приводит к неприменимости упрощенных моделей обтекания (потенциальное обтекание, теория присоединенных масс, расчет по стационарным (осредненным) гидродинамическим коэффициентам) или к недопустимо большой их погрешности. В силу лагранжева характера описания движения вихревые методы особенно эффективно применимы для решения сопряженных задач гидроупругости, в которых профиль движется и/или деформируется под действием гидродинамических сил; при этом алгоритм расчета лишь незначительно усложняется по сравнению с расчетом неподвижного профиля.

При этом, в частности, имеется возможность моделирования произвольных больших перемещений и поворотов обтекаемого тела, что довольно сложно сделать сеточными методами, если только не прибегать к затратной процедуре полного перестроения сетки в области течения (или некотором ее блоке)

На сегодняшний день разработан программный комплекс VM2D [3] для решения плоских задач моделирования несжимаемых течений и расчета обтекания профилей. В его основу положен метод вязких вихревых доменов [2], а также некоторые оригинальные разработки авторов, связанные, главным образом, со схемами численного решения интегральных уравнений [4]. Данный комплекс на настоящий момент позволяет решать широкий класс задач, однако решение сопряженных задач гидроупругости для тел, чьи инерционные характеристики (масса, момент инерции) соизмеримы с таковыми для

вытесняемого объема среды, приводило к большой погрешности или вычислительной неустойчивости.

В настоящей работе реализован новый итерационный алгоритм моделирования гидроупругих колебаний «легких» профилей. Данный алгоритм основан на схеме расщепления и использует методику расчета компонентов тензора присоединенных масс профиля. Результаты продемонстрированы на модельной задаче о ветровом резонансе кругового профиля (моделирование обтекания потоком вязкой несжимаемой жидкости кругового цилиндра, совершающего колебания поперек набегающего потока).

#### Список литературы

1. Андронов П.Р., Гувернюк С.В., Дынникова Г.Я. Вихревые методы расчета нестационарных гидродинамических нагрузок. М.: Изд-во МГУ, 2006. 184 с.
2. Дынникова Г.Я. Лагранжев подход к решению нестационарных уравнений Навье-Стокса // ДАН. 2004. Т. 399, №1. С. 42-46.
3. Kuzmina K., Marchevsky I., Ryatina E. VM2D: Open source code for 2D incompressible flow simulation by using vortex methods // Communications in Computer and Information Science. 2018. V. 910. P. 251–265.
4. Kuzmina K.S., Marchevskii I.K. On the calculation of the vortex sheet and point vortices effects at approximate solution of the boundary integral equation in 2D vortex methods of computational hydrodynamics // Fluid Dynamics. 2019. Vol. 54, No. 7. P. 991–1001. doi: 10.1134/S0015462819070103



# СОЗДАНИЕ ЦИФРОВЫХ ДВОЙНИКОВ ГОРНЫХ ПОРОД (ТЕХНОЛОГИЯ «ЦИФРОВОЙ КЕРН»)

Прозорова Г.В.

*Тюменский индустриальный университет, Тюмень*

[prozorovagv@tyuiu.ru](mailto:prozorovagv@tyuiu.ru)

Одним из проектов в нефтегазовой отрасли является «Цифровой керн» (ЦК). В настоящее время разработки этой технологии автономно ведутся компаниями, университетами. В докладе приведен краткий обзор имеющихся решений.

Цель проекта ЦК в создании цифровых двойников, позволяющих на микроуровне изучать структуру и состав пород и происходящие в них процессы: фильтрационные, геомеханические и др. Технология ЦК направлена на дополнение и решение проблем традиционных лабораторных исследований: отсутствие кернового материала со скважин, лабораторного оборудования, разрушение и изменения свойств образцов при исследованиях и невозможность повторных экспериментов и др. Технология включает: 1) электронную микроскопию и компьютерную томографию образцов; 2) создание трехмерной модели и изучение структуры, пустотного пространства, минерального состава; 3) расчет петрофизических, гидродинамических и других свойств методами численного моделирования; 4) масштабирование свойств до уровня пласта.

Наиболее разработан этап формирования трехмерной модели по томограммам при их калибровке по фотографиям шлифов. Для идентификации пустот и минерального состава используют методы сегментации по характеристикам взаимодействия породы с видимым и рентгеновским излучением. Применяют специализированное ПО зарубежных компаний (PerGeos (Thermo Fisher Scientific) и др.), российской СМА/Эра (CSM), а также ПО для анализа компьютерной графики и томограмм [1,2,3]. Задачи численного моделирования реализованы в ПО компании Шлюмберже (симулятор DirectHydroDynamics), в комплексе DiMP-Hydro (ИПИМ им. М.В. Келдыша) [4,5]. Геометрия расчетной области предполагается воксельной и строится на основе сегментированных результатов микротомографии. Имеются работы по созданию цифровых моделей с использованием методов стохастической упаковки и молекулярной динамики и моделирования в них гидродинамических процессов [3]. Моделирование выполняется для идеализированного коллектора, применение его результатов в реальных задачах требует осмысления и адаптации. Этап ремасштабирования является сложным и наименее разработанным [6]. Геологические объекты характеризуются высокой изменчивостью, поэтому формальный апскейлинг проблематичен при переходе от масштабов микротомографии (микрометры) к масштабам лабораторных испытаний (сантиметры) и пласта (километры). Отдельной задачей является формирование репрезентативной выборки образцов керна для исследований.

## Список литературы

1. ПО Thermo Fisher Scientific PerGeos TechnoInfo //ТехноИнфо - <https://technoinfo.ru/catalog/po-thermo-fisher-scientific-pergeos/?ysclid=l4m78t93uf887609753>, дата обращения 20.05.2022.
2. CSMTTools//Сайт Эра/СМА. - <https://xn--b1aghhftcbpg0bw.xn--p1ai/#products>, дата обращения 10.05.2022.
3. Белозеров И.П. О концепции технологии определения фильтрационно- емкостных свойств терригенных коллекторов на цифровой модели керна / И.П.Белозеров, М.Г.Губайдуллин // Записки Горного института. 2020. Т. 244. С. 402-407.
4. Динариев О.Ю. Цифровой анализ керна в задачах проектирования разработки нефтяных и газовых месторождений//Neftegaz.RU. -№5, Май 2021.
5. Балашов В.А. Цифровой керн. Моделирование микротечений в поровом пространстве пород-коллекторов>//Neftegaz.RU. - №7, Июль 2019.
6. Специалисты «ТННЦ» разрабатывают технологию будущего "Цифровой керн"//Агентство нефтегазовой информации. - <https://www.angi.ru/news/2884103>, дата обращения 19.10.2020.

# НУЖНЫ ЛИ ОБЛАЧНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ПРИ СОЗДАНИИ И ФУНКЦИОНИРОВАНИИ ЦИФРОВЫХ ДВОЙНИКОВ ОБЪЕКТОВ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ ЭНЕРГОСИСТЕМЫ?

Колосок И.Н., Коркина Е.С.

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

[kolosok@isem.irk.ru](mailto:kolosok@isem.irk.ru)

Цифровой двойник (ЦД) – одна из ключевых концепций цифровой трансформации энергетики и создания интеллектуальной энергосистемы (ИЭС). Цифровой двойник в энергетике рассматривается в качестве основного инструмента интеллектуального управления объектами современной ЭЭС. При создании и функционировании цифровых двойников применяются различные современные информационные технологии (ИТ): онтологические модели, промышленный интернет вещей (IIoT), агентные, облачные и граничные вычисления и др. [1- 4 и др.], которые в той или иной степени уязвимы к кибератакам, что повышает риски нарушения кибербезопасности объектов энергетики при создании их ЦД.

ЦД с помощью компьютерного моделирования и средств визуализации создает виртуальный прототип реального объекта, позволяющий прогнозировать поведение объекта и решать задачи его сопровождения в течение всего жизненного цикла, начиная с идеи создания объекта, поддержки его эксплуатации и модернизации и заканчивая грамотной утилизацией.

Виртуальная модель ЦД для удобства доступа к ней разработчиков находится в “облаке”. Облачные технологии - это технология распределённой обработки данных в которой компьютерные ресурсы и мощности предоставляются пользователю как интернет-сервис с применением центров обработки данных (ЦОД). Основными недостатками облачных вычислений являются задержка в передаче данных между клиентом и ЦОД, а также конфиденциальность данных, хранимых в публичных «облаках», поскольку не рекомендуется хранить наиболее ценные для компании данные на публичном “облаке”. Если компания не хочет использовать публичное облако и выбирает частное или гибридное – ей понадобится собственная сложная и дорогая инфраструктура. Применение облачных технологий требует решения вопросов информационной безопасности, так как при передаче информации через глобально связанные каналы система становится уязвимой к потере данных или кибератакам. Кроме того, доступ к облачной системе может разрушиться при сбоях сети Интернет. По этим причинам облачные технологии не нашли пока широкого применения в электроэнергетических компаниях [5]. В ряде работ [6-8] на смену облачным вычислениям при создании ЦД предлагается использовать туманные и граничные вычисления. Граничные вычисления - самые защищенные, т.к. информацию можно не передавать в облака; они имеют высокую надежность, поскольку обработка информации происходит в непосредственной близости от получения данных без применения Интернета с практически нулевой задержкой в передаче данных.

Для ИЭС и ее объектов виртуальной моделью является математическая модель, для создания и актуализации которой используется информация, поступающая от систем сбора и обработки данных - SCADA, СМПП, АМІ. Высоковольтные и распределительная сети ЭЭС в разной степени обеспечены измерительными устройствами, в распределительной сети их, как правило, гораздо меньше, чем в передающей, в основном это датчики ТИ SCADA и счетчики измерительной инфраструктуры АМІ. Высоковольтные сети современных ЭЭС к

настоящему времени достаточно хорошо обеспечены телеметрией SCADA и синхронизированными векторными измерениями (СВИ), поступающие от СМПП.

Энергетические предприятия высоковольтных сетей обладают наиболее благоприятной почвой для применения технологии граничных вычислений из-за большого количества стационарных датчиков и микропроцессорных систем управления, которые позволяют собирать данные и проводить их обработку непосредственно на объекте в локальном концентраторе данных. Это позволяет получить виртуальную модель объекта, необходимую для создания его ЦД, не прибегая к использованию IoT и облачных технологий.

Для создания ЦД энергетических предприятий и сетей, в состав которых входит большое количество объектов распределенной генерации и ВИЭ, накопителей энергии, активных потребителей и просьюмеров, в недостаточной степени оснащенных измерительными устройствами SCADA и AMI, целесообразно использовать технологии IoT и облачных вычислений, уделяя должное внимание обеспечению их КБ.

**Благодарности.** Работа выполнена в рамках научного проекта «Теоретические основы, модели и методы управления развитием и функционированием интеллектуальных электроэнергетических систем» АААА-А21-121012190027-4.

#### Список литературы

1. Массель Л.В., Массель А.Г., Копайгородский А.Н. Эволюция технологий исследований энергетики и применения их результатов: от математических моделей и компьютерных программ к цифровым двойникам и цифровым образам // Информационные и математические технологии в науке и управлении. 2019. № 4 (16). С. 5-19.
2. Ерошенко С.А., Хальясмаа А.И. Технологии цифровых двойников в энергетике. Электроэнергетика глазами молодежи. В 3 т. Т. 1. Иркутск, 2019. С. 37-40.[
3. Андриюшкевич С.К., Ковалев С.П., Нефедов Е. Подходы к разработке и применению цифровых двойников энергетических систем // Цифровая подстанция. 2019. № 12. С. 38-43.
4. 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.
5. Emmanuel M., Rayudu R. Communication technologies for smart grid applications: a survey // Journal of Network and Computer Applications. 2016. № 74. P. 133–148.
6. Хрисанфова Е. Облачные, туманные и граничные вычисления: отличия и перспективы развития технологий. Режим доступа: <https://rb.ru/story/edge-computing/> (дата обращения 10.05.2022)
7. 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, 2019, Т. 7. № 5, С.105-115.
8. 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.28-39.

# ОНТОЛОГИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ АППАРАТА НА ДИНАМИЧЕСКОЙ ВОЗДУШНОЙ ПОДУШКЕ

Скоробогатова М.В.<sup>1</sup>, Аршинский Л.В.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>*Московский государственный университет гражданской авиации, Иркутский филиал,  
Иркутск*

<sup>2</sup>*Иркутский государственный университет путей сообщения, Иркутск*

[marina.vik@mail.ru](mailto:marina.vik@mail.ru)

Как представляется, полезность онтологического моделирования не только в том, что с его помощью можно представить основные концептуальные понятия предметной области и отношения между ними, но и в том, что общее описание предметной области, как системы, позволяет глубже понять какие проблемы в ней существуют и как их можно решать

Одной из интересных и практически востребованных предметных областей являются летательные аппараты (ЛА), движущиеся на малых и сверхмалых относительных отстояниях от границы раздела сред. Эти аппараты, называемые аппаратами на динамической воздушной подушке (АДП), характеризуются высокими эксплуатационными свойствами по сравнению с привычными транспортными средствами. От обычных ЛА они отличаются большой грузоподъемностью, от наземных и водных транспортных средств – высокой скоростью. Вместе с тем за это приходится платить другими проблемами: большими энергетическими затратами на старте с воды (где их в первую очередь предполагается эксплуатировать) и проблемами устойчивости. Особенно статической. Последнее связано с тем, что в отличие от обычных ЛА, движущихся в безграничной жидкости, здесь частью системы выступает опорная поверхность, вносящая существеннейший вклад в динамику и аэродинамические характеристики АДП. Это коренным образом меняет многие модели, на основе которых описывается поведение АДП. Авторы продолжительный срок занимались задачами оптимизации изолированного низколетящего крыла конечного размаха. В этих задачах опорная поверхность приводит к совершенно нетрадиционным, по сравнению с безграничной жидкостью, постановкам, из-за чего порой возникает непонимание со специалистами, не знающими этих особенностей.

В докладе делается попытка с помощью онтологического моделирования подчеркнуть эти и другие особенности. Это позволит улучшить взаимопонимание между специалистами, что традиционно является основным назначением онтологий.

# ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ КОМПЛЕКСНОЙ СИСТЕМЫ ЗАЩИТЫ ИНФОРМАЦИИ ЛОГИКО-АКСИОЛОГИЧЕСКИМ МЕТОДОМ

Аршинский Л.В., Наседкин П.Н.

*Иркутский государственный университет путей сообщения, Иркутск*

[larsh@mail.ru](mailto:larsh@mail.ru)

Считается, что одной из аксиом управления гласит: «Что невозможно измерить, тем невозможно управлять» (Дж. Уэлч). В полной мере это относится к управлению системами защиты информации. Тезис Уэлча можно ещё усилить, добавив: «Управление тем лучше, чем лучше формализация», то есть, хорошая формализация системы ведёт к её лучшей управляемости.

Сегодня существуют разные подходы к формализации. Наиболее основательная из них – математическая, описывающая количественные взаимосвязи между компонентами системы, внешней средой, целями функционирования. Однако такое возможно только для относительно простых систем, или их фрагментов. В более сложных случаях, особенно характеризующихся случайностью протекающих процессов, хорошо подходят агентное и имитационное моделирование, когда достаточно подробно формализуются агенты, иные фрагменты системы и их ближнее взаимодействие, а поведение системы в целом наблюдается по поведению модели. Наконец, если система структурирована совсем плохо, трудноформализуема, а это типично для многих управленческих задач, приходится использовать качественное моделирование, например, на основе знаний.

Одним из видов знаниевого моделирования является моделирование с помощью онтологий. Однако описать структуру системы и отношения между её частями ещё недостаточно. Хотелось бы знать, хотя бы в общих чертах, как изменение одних составляющих повлияет на другие. Этого можно достичь, если с каждым концептом онтологии связать, например, некоторое характеризующее его число («функциональность»), а с каждой дугой – своего рода передаточную функцию, преобразующую изменение функциональности объекта  $A$  во вклад в изменение связанного с ним объекта  $B$ . Для сложных предметных областей функциональность и взаимовлияние трудно описать исчерпывающим количественным образом, однако можно применять приближённые схемы, использующие в том числе экспертные оценки.

Одним из таких подходов является логико-аксиологический подход, оперирующий понятием ценности объекта (компонента)  $A$  для объекта  $B$  как мерой убыли функциональности  $B$  при утрате  $A$ . Причём ценность может быть такова, что утрата первого может повлечь утрату второго не зависимо от состояния других, связанных с  $B$  объектов. В докладе предполагается применить эти два подхода – онтологический и логико-аксиологический для оценки состояния комплексной системы защиты информации предприятия.

# СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СИСТЕМЫ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ДЛЯ ЦЕЛЕЙ ПЛАНИРОВАНИЯ ДОПОЛНИТЕЛЬНЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ ПО ОБЕСПЕЧЕНИЮ КОМПЛЕКСНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ОБЪЕКТОВ ТЭК

Алекперова С.Т.<sup>1</sup>, Ревазов А.М.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>ООО «ИнжинирингДокументацияКонсалтинг Эксперт», Москва

<sup>2</sup>Российский Государственный Университет нефти и газа им. И.М. Губкина, Москва

[STAlekperova@edcexpert.ru](mailto:STAlekperova@edcexpert.ru)

Современные реалии проектирования, строительства и реконструкции объектов ТЭК обуславливают необходимость совершенствования и расширения подходов к планированию и внедрению технических решений по обеспечению их надежности и безопасности.

Внедряемые мероприятия должны предусматривать эффективное управление риском возникновения и развития аварийных ситуаций, а также обеспечивать комплексную безопасность зданий и сооружений в составе объектов ТЭК на каждом этапе их жизненного цикла.

Распоряжением Правительства Российской Федерации от 28 декабря 2021 г. № 3924-р «Об утверждении стратегического направления в области цифровой трансформации топливно-энергетического комплекса» утвержден стратегический вектор цифровой трансформации топливно-энергетического комплекса, который предусматривает внедрение, в частности, искусственного интеллекта для анализа больших данных и работы систем поддержки и принятия решений [1].

Авторами предлагается совершенствование разработанной ранее Системы SARM PI [2–9] и адаптация ее к обеспечению комплексной безопасности объектов ТЭК.

Комплексная безопасность объектов ТЭК с учетом положений [10–13], по мнению авторов, характеризуется:

- эффективным управлением риска возникновения и развития вероятных аварийных ситуаций на объектах ТЭК;
- обеспечением безаварийной эксплуатации оборудования объектов ТЭК;
- повышением культуры безопасности на предприятиях ТЭК;
- антитеррористической защищенностью территории объектов;
- безопасностью критической информационной инфраструктуры объектов ТЭК.

Усовершенствованная Система SARM PI должна обеспечивать объективность, использование открытых достоверных данных и соблюдение конфиденциальности информации, предусмотренных стратегиями в области регулирования промышленных данных в Российской Федерации, а также предусматривать:

- Всесторонний учет и оценка вероятных опасностей, способных привести к аварийным ситуациям
  - Анализ прогнозируемых аварийных ситуаций
  - Скорость принятия решений в части приоритетности мероприятий
  - Пошаговое описание алгоритма принятых решений с целью внесения в него корректировок, комментариев и уточнений в случае необходимости
- Беспристрастность принятых решений: Система одобряет мероприятие (сочетание мероприятий) только в том случае, если подтверждено фактическое снижение показателей риска
- Обоснованность принятых решений в части их инвестиционной целесообразности с учетом тех опасностей, которые характерны для заданных условий строительства объектов добычи и промыслового транспорта углеводородов при обустройстве месторождения
- Защищенность каналов предоставления отчетов сторонним заинтересованным сторонам

## Список литературы

1. Распоряжение Правительства РФ от 28 декабря 2021 г. № 3924-р «Об утверждении стратегического направления в области цифровой трансформации топливно-энергетического комплекса» // URL: <http://publication.pravo.gov.ru/Document/View/0001202112300029> (дата обращения: 14.04.2022)
2. Цифровые технологии в топливно-энергетическом комплексе России // Электронный Портал «Tadviser. Государство. Бизнес. Технологии» – URL: <https://www.tadviser.ru/index.php> (дата обращения: 14.04.2022)
3. Алекперова С.Т. «Программа для оценки необходимости установления дополнительных технических требований в области безопасности объекта капитального строительства». Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2021669237 от 04.02.2022. Федеральная служба по интеллектуальной собственности (Роспатент).
4. Алекперова С.Т. «Интеллектуальная система поэтапного планирования мероприятий, обеспечивающих безопасность магистральных трубопроводов». Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2018611235 от 26.01.2018 // Федеральная служба по интеллектуальной собственности (Роспатент).
5. Алекперова С.Т. «Программа для оценки необходимости установления дополнительных технических требований в области безопасности объекта капитального строительства». Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2021669237 от 04.02.2022.
6. Ревазов А.М., Алекперова С.Т. Применение Системы поэтапного обеспечения безопасности магистральных трубопроводов на этапах реализации жизненного цикла проекта // Трубопроводный транспорт: теория и практика – 2017. – № 4 (62). – С. 43–47.
7. С.Т. Алекперова, А.М. Ревазов «Разработка и реализация системы поэтапного обеспечения безопасности магистральных газопроводов» // Защита окружающей среды в нефтегазовом комплексе. Экологическая и промышленная безопасность 2018 - № 3, с. 12–15.
8. А.М. Ревазов, С.Т. Алекперова «Планирование мероприятий по обеспечению безопасности магистральных трубопроводов» // Газовая промышленность 2018 – № 12 (778), с. 20–26.
9. О промышленной безопасности опасных производственных объектов: Федер. закон от 21 июля 1997 г. № 116-ФЗ: принят Государственной Думой Федерального Собрания Российской Федерации 20 июня 1997 г. // URL: <http://government.ru/docs/all/96363/>
10. О безопасности объектов топливно-энергетического комплекса. Федеральный Закон от 21.07.2011 № 256-ФЗ принят Государственной Думой Федерального Собрания Российской Федерации 6 июля 2011 года: одобр. Советом Федерации Федерального Собрания Российской Федерации 13 июля 2011 года.
11. Технический регламент о безопасности зданий и сооружений: Федеральный Закон Российской Федерации от 30.12.2009 № 384-ФЗ: принят Государственной Думой Федерального Собрания Российской Федерации 23 декабря 2009 года: одобр. Советом Федерации Федерального Собрания Российской Федерации 25 декабря 2009 года // Российская газета – 2009. – 31 декабря.
12. О безопасности критической информационной инфраструктуры Российской Федерации: Федеральный Закон Российской Федерации от 26 июля 2017 года № 187-ФЗ: принят Государственной Думой Федерального Собрания Российской Федерации 12 июля 2017 года: одобр. Советом Федерации Федерального Собрания Российской Федерации 19 июля 2017 года // Российская газета – 2017. – 31 июля

# НАУЧНАЯ ИНФОРМАЦИОННО-ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ СИСТЕМА ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ, ПРЕДСТАВЛЕНИЯ И ХРАНЕНИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ ВЫЧИСЛЕНИЙ ПАРАМЕТРОВ КАЧЕСТВА АТМОСФЕРНОГО ВОЗДУХА ВБЛИЗИ КРУПНЫХ ГОРОДОВ

Привезенцев А.И.<sup>1</sup>, Лаврентьев Н.А.<sup>1</sup>, Фазлиев А.З.<sup>1</sup>, Старченко А.В.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>*Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН, Томск*

<sup>2</sup>*Национальный исследовательский Томский государственный университет, Томск*

[alexey@privezentsev.ru](mailto:alexey@privezentsev.ru)

Доклад посвящен описанию научной информационно-вычислительной системы для моделирования, представления и хранения результатов вычислений параметров качества атмосферного воздуха вблизи крупных городов. Рассматриваемая научная информационно-вычислительная система предназначена для систематизации, хранения и анализа получаемых результатов численного моделирования опасных погодных явлений с помощью мезомасштабных метеорологических моделей высокого разрешения [1].

Предлагаемое программное решение представляет собой многопользовательскую информационную веб-систему с функциями импорта, атрибутивного поиска и экспорта файлов входных и выходных данных полученных решений для вычислительных моделей TSUNM3[2], СТМ, WRF, САМх [3]. Для расширенных возможностей анализа полученных решений информационная система обогащает данные широким спектром различных метаданных, получаемых либо автоматически с помощью программно реализованных алгоритмов, либо с помощью интерактивного взаимодействия с пользователем. Кроме этого информационная система обладает: расширенными возможностями управления и хранения результирующих решений вычислительных моделей; удобными возможностями онлайн-подготовки данных в специализированных графических интерфейсах и запуска расчетов вычислительных моделей; возможностями анализа и интерпретации массивов данных в виде таблиц или графиков.

**Благодарности.** Данная работа выполнена за счет гранта Российского научного фонда (проект № 19-71-20042).

## Список литературы

1. Старченко А.В., Кижнер Л.И., Одинцов С.Л., Данилкин Е.А., Проханов С.А., Лещинский Д.В., Сваровский А.И. Численное моделирование опасных погодных явлений с помощью мезомасштабных метеорологических моделей высокого разрешения //Оптика атмосферы и океана. Физика атмосферы : материалы XXVII Международного симпозиума. Томск: Изд-во ИОА СО РАН, 2021. С. D-208-D-211.
2. Старченко А.В., Барт А.А., Кижнер Л.И., Данилкин Е.А. Мезомасштабная метеорологическая модель TSUNM3 для исследования и прогнозирования состояния метеопараметров приземного слоя атмосферы над крупным населенным пунктом //Вестн. Том. гос. ун-та. Математика и механика. 2020. № 66. С. 35-55.
3. Стребкова Е.А., Старченко А.В. Моделирование качества атмосферного воздуха в Томске с помощью моделей WRF и САМх //Оптика атмосферы и океана. Физика атмосферы : материалы XXVII Международного симпозиума. Томск: Изд-во ИОА СО РАН, 2021. С. 448-451.



## КОЛИЧЕСТВЕННАЯ ОЦЕНКА КАЧЕСТВА ЦИТИРОВАНИЯ В НАУЧНОЙ ГРАФИКЕ

Лаврентьев Н.А., Фазлиев А.З., Лаврентьева Н.Н.

*Институт оптики атмосферы имени В. Е. Зуева СО РАН, Томск*

[lnick@iao.ru](mailto:lnick@iao.ru)

Задача оценки качества информационных ресурсов является одной из частей более общей задачи – оценки доверия, ставшей в своё время основной целью создания стандартов Semantic Web. Критерии доверия значительно отличаются в разных предметных областях, и даже в рамках одной предметной области для разных типов информационных ресурсов, таких как текстовые, графические, формульные или табличные, различия могут быть существенными.

В докладе описан подход к количественной оценке качества цитирования научных графиков, на примере собранной нами коллекции графических ресурсов в системе GrafOnto, предназначенной для упрощения поиска спектральной информации, представленной в графическом виде. Коллекция содержит научную графику преимущественно по трём разделам спектроскопии: изучению свойств атмосферных молекулярных комплексов и молекулы воды, а также задачам континуального поглощения и сечения поглощения атмосферных молекул. В настоящее время коллекция содержит порядка 5800 примитивных графиков, большая часть которых входит в состав составных графиков или составных рисунков. Более 1400 из этих графиков являются цитируемыми. Сопоставление цитированного графика с соответствующим ему оригиналом нередко осложняется проблемами, связанными с неявным заданием вещества, различными единицами измерений физических величин, неопределенностью в пересчете данных из одной системе единиц в другую (например, когда требуется пересчет значений дополнительных физических величин, в ряде случаев отсутствующих в публикациях) или сравнением безразмерных величин с размерными.

В результате возникает задача оценки качества цитирования, для решения которой нами предлагается количественная метрика среднего расхождения пары “оригинальный график – цитируемый график”. Основной проблемой при сравнении двух графиков является сложность сопоставления двумерных массивов, для которых в общем случае не совпадают ни количество точек, ни плотность распределения этих точек, ни интервалы по обеим осям. Предлагаемый нами подход приводит, если это возможно, координатные массивы обоих графиков к виду, позволяющему однозначное сопоставление точек по оси абсцисс, что значительно упрощает вычисление значений расхождения для каждой из точек оригинального и цитируемого графика. Усреднив полученные на предыдущем шаге значения расхождения, мы получаем метрику среднего расхождения двух графиков. После нормирования значение метрики находится в интервале от 0 до 100%, количественно характеризуя расхождение оригинального и цитированного графика. Полученная таким образом оценка расхождения позволяет оценить качество и точность цитирования.

# ЗАДАЧИ МОНИТОРИНГА СОСТОЯНИЯ И УПРАВЛЕНИЯ В СИСТЕМАХ АНАЭРОБНОЙ БИОЛОГИЧЕСКОЙ ОЧИСТКИ

Фоменкова А.А.

*Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения,  
Санкт-Петербург*

[a.a.fomenkova@mail.ru](mailto:a.a.fomenkova@mail.ru)

Особое место в системах водоотведения и водоочистки занимают локальные системы анаэробной биологической очистки промышленных сточных вод (САБО), обрабатывающие сточные воды с высокими концентрациями органических загрязнений, и не допускающие длительной остановки в процессе. Возникновение аварийных ситуаций может нанести значительный ущерб окружающей среде, поэтому на сегодняшний день актуальна разработка и внедрение систем непрерывного мониторинга состояния и управления САБО, обладающего всеми признаками сложного объекта (по Л.А. Растригину).

Под управлением САБО в исследовании понимается: ряд необходимых и срочных работ по предотвращению предаварийных или аварийных состояний; обеспечение в каждый момент времени максимально возможного уровня работоспособности системы; изменение управляющих переменных для достижения заданных характеристик целевой системы.

Основной результат исследования представляет собой базовый алгоритмический аппарат для конструирования эффективных и экологически безопасных локальных биологических очистных сооружений: математическое и алгоритмическое обеспечение программной системы мониторинга САБО [2]: модель структурных связей параметров процесса анаэробного брожения; обобщенная математическая модель САБО; имитационная модель анаэробного биореактора для очистки сточных вод и алгоритмы расчета показателей внутреннего состояния САБО на основе измеряемых параметров процесса; модели управления на основе обеспечения устойчивых стационарных состояний и на основе нелинейной адаптации к заданным инвариантам.

**Благодарности.** Научные исследования поддержаны грантом РФФИ: № 20-08-00747.

## Список литературы

1. Дмитриев, А.К. Идентификация и техническая диагностика / А.К. Дмитриев, Р.М. Юсупов. – Министерство обороны СССР, 1987. – 521 с.
2. Фоменкова А. А. Анализ работоспособности систем анаэробной биологической очистки сточных вод в процессе эксплуатации // Изв. вузов. Приборостроение. 2022. Т. 65, № 2. С. 140—147. DOI: 10.17586/0021-3454-2022-65-2-140-147.

# ВОПЛОЩЕНИЕ НЕЙРОННОЙ СИНАПТИЧЕСКОЙ СВЯЗИ С РЕГУЛИРУЕМОЙ ЗАДЕРЖКОЙ НА ОСНОВЕ АНАЛОГОВОЙ СХЕМОТЕХНИКИ

Егоров Н.М.

*Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А., Саратов*

[egorovnm@sstu.ru](mailto:egorovnm@sstu.ru)

За последние годы появилось множество исследований, направленных на изучение строения и работы биологических нейронных сетей. В мозгу человека может быть найдено около десятков миллиардов нейронов, которые соединены большим числом синапсов. Популярным методом исследования в различных областях, в том числе и в области изучения работы мозга, является моделирование. Однако осуществить моделирование столь огромного числа нейронов на настоящий момент не представляется осуществимым, поэтому приходится идти на ряд уступок и упрощений. Издавна предложено большое количество моделей биологических нейронов, которые с той или иной точностью описывают свойства реальных нейронов. Очевидно, что для исследования качеств и характеристик одиночных нейронов не требуется моделирование всего мозга, так для рассмотрения связи между нейронами, достаточно смоделировать два нейрона и синапс между ними. Задачей данной работы является разработка и имитационное моделирование синаптической связи между нейронами, а также анализ возбудимости нейронов в зависимости от параметров связи.

В качестве модели нейрона выбрана модель ФитцХью-Нагумо [1], для которой ранее уже была представлена радиотехническая реализация [2]. Функция связи, между нейронами описывается гиперболическим тангенсом со сдвигом с задержкой. Воплощение данной связи можно разделить на два функциональных блока, которые отвечают за: 1) ограничение сигнала гиперболическим тангенсом; 2) задержка сигнала. В литературе встречаются работы, описывающие схемотехническое решение, для воспроизведения функции гиперболического тангенса [3]. В качестве блока задержки было принято решение использовать фильтр нижних частот Бесселя 2-го порядка с заменой постоянных сопротивлений на переменные. Имитационное моделирование проводилось на базе программного обеспечения для моделирования электрических цепей NI Multisim.

В результате было обнаружено, что осцилляторы ФитцХью-Нагумо обладают некоторой задержкой отклика на внешнее воздействие, которая зависит от силы связи.

**Благодарности.** Работа выполнена при поддержке Российского научного фонда (проект № 21-72-00015).

## Список литературы

1. R. FitzHugh. Bull. Math. Biophys., 17, 257
2. Журнал технической физики 2021, том 91, вып. 3, – 519 – 528
3. Li, H., Yang, Y., Li, W. et al. Extremely rich dynamics in a memristor-based chaotic system. Eur. Phys. J. Plus 135, 579 (2020). <https://doi.org/10.1140/epjp/s13360-020-00569-4>

# ПАТТЕРНЫ ПОВЕДЕНИЯ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОГО УЗЛА В СОСТАВЕ БЕСПРОВОДНОЙ СЕНСОРНОЙ СЕТИ

Виноградов Г.П.

*Тверской государственный технический университет, Тверь*

[wgp272ng@mail.ru](mailto:wgp272ng@mail.ru)

Целью исследования является повышение эффективности функционирования алгоритмов отслеживания мобильных объектов (целей CSP) в распределенных сенсорных сетях в составе киберфизических систем на базе организации их взаимодействия с алгоритмами инициализации/маршрутизации. Задача локализации и отслеживания объектов вторжения в защищаемую зону составляет основу системы защиты особо важных объектов. Отслеживание нескольких целей с помощью беспроводной сенсорной сети является актуальной проблемой. Успешное ее решение средствами сенсорных сетей предполагает решение ряда проблем, среди которых следует выделить две основные, определяющие успешную работу сенсорных сетей. Первая – это наличие эффективных методов обмена информацией между локальными узлами, вторая – организация совместной обработки сигналов (CSP) группой узлов на основе собранной информации о состоянии среды в зоне их ответственности в результате наступления некоторых событий. Модельным примером принята задача обнаружения, локализации и отслеживания одной цели в защищаемой зоне. На этом примере рассмотрены основные идеи, лежащие в основе интеграции алгоритмов, а также основные аспекты реализации алгоритмов обнаружения, локализации и отслеживания. Предлагаемые решения учитывают ограничения, связанные с возможностями локальных узлов, сетью в целом и маршрутизацией. Источником данных для предлагаемых алгоритмов являются сигналы от звуковых, сейсмических, тепловых и т.п. сенсоров, у которых мощность сигнала имеет выраженный максимум в зависимости от расстояния от цели и до узла сети. Полученные результаты распространяются на проблему отслеживания множества целей, что предполагает оценку применимости методов идентификации и классификации в условиях, когда наблюдается наложение воспринимаемых сигналов сенсорами. Рассматривается архитектура системы совместной обработки данных в распределенных сенсорных сетях. Предметом рассмотрения являются методы отслеживания множества движущихся объектов в защищаемой зоне. Основные этапы процедуры отслеживания состоят из: обнаружения целей, их классификации, оценок местоположения и прогнозирования траектории передвижения цели. Обсуждаются алгоритмы для решения этих задач.

# ЧИСЛЕННОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПРИНЦИПОВ РАБОТЫ ПРОТИВОТОЧНОГО ВИХРЕВОГО РЕАКТОРА

Порфирьев Д.П.<sup>1</sup>, Завершинский И.П.<sup>1</sup>, Климов А.И.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева,  
Самара

<sup>2</sup>Объединённый институт высоких температур РАН, Москва

[dporfirev@gmail.com](mailto:dporfirev@gmail.com)

Автономные устройства для производства водорода и тепловой энергии на основе окисления металлических порошков в парах воды присутствии электрического разряда являются перспективными с точки зрения размеров, возможности использования, например, в экстремальных условиях Арктики, а также высоких энергетических характеристик. Принципы работы таких устройств и их реализация разработаны в ОИВТ РАН [1]. В настоящей работе представляются результаты численного исследования альтернативного вихревого реактора, в котором продукты и энергия отводятся обратным потоком.

Геометрия устройства является типичной для плазменно-вихревых реакторов. Закрученный поток создаётся посредством завихрителя их 4-х тангенциальных подводов. Система электродов состоит из цилиндрических катода и анода, расположенных на оси симметрии системы, расстояние между торцами которых может варьироваться. Основной выход – кольцевая область на торце трубы рядом с завихрителем. Поток газа, идущий через неё, может быть ограничен тонкой трубкой для жёсткого отделения от прямого течения. Дополнительный отвод возможен через основание анода.

Стандартные нестационарные осредненные по Рейнольдсу уравнения Навье-Стокса совместно с моделью турбулентности SST  $k-\omega$  на хорошем уровне точности описывают исследуемые течения, что было неоднократно продемонстрировано [2]. На стенках задавались граничные условия прилипания и постоянства температуры. Массовый расход водяного пара фиксировался для каждого тангенциального входа. На выходах устанавливалось равное стандартному атмосферному давление. Численное моделирование нестационарного трехмерного турбулентного закрученного течения выполнено с использованием пакета программ ANSYS FLUENT 15.0.

Была рассчитана структура течения для различных геометрий системы. Показано, что горячий газ из области разряда выносится как при закрытом, так и при открытом выпускном отверстии у основания цилиндрического анода. Во втором случае застойная область меньших размеров, влияние чего требует дополнительного исследования.

**Благодарности.** Работа поддержана Минобрнауки РФ в рамках Государственного задания вузам и научным организациям в сфере научной деятельности, проект № FSSS-2020-0014.

## Список литературы

1. A. Klimov, V. Bitiurin, B. Tolkunov, V. Chinnov, S. Godin, A. Efimov, D. Kutuzov and L. Polyakov. Hydrogen Plasma Flow Creation for MHD Power Generation. AIAA Paper 2011-3285. 2011.
2. A. Gorbunova, A. Klimov, N. Molevich, I. Moralev, D. Porfiriev, S. Sugak S and I. Zavershinskii. Precessing vortex core in a swirling wake with heat release. International J. Heat and Fluid Flow. 59:100-108, 2016.

# АРХИТЕКТУРНО-НЕЗАВИСИМЫЙ МЕТОД РАЗРАБОТКИ КОМБИНАЦИОННЫХ СХЕМ

Романова Д.С.<sup>1,2</sup>, Легалов А.И.<sup>3</sup>, Непомнящий О.В.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>*Красноярский государственный аграрный университет, Красноярск*

<sup>2</sup>*Сибирский федеральный университет, Красноярск*

<sup>3</sup>*Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики», Москва*

[daryao00@mail.ru](mailto:daryao00@mail.ru)

Современный уровень развития цифровых интегральных схем (ЦИС) характеризуется постоянно возрастающими требованиями к системной организации всего процесса проектирования. Одной из основных задач проектирования схем является обеспечение архитектурной независимости, то есть переносимости проектных решений между целевыми платформами ЦИС. Интегральная схема, по сути, является системой параллельной обработки информационных потоков, а алгоритмы ее функционирования, на заключительных этапах синтеза, представляются на языках описания аппаратуры. Поэтому эффективные решения по обеспечению архитектурной независимости могут быть найдены в области переносимых параллельных программ.

Суть разрабатываемого метода проектирования комбинационных схем заключается в описании логических схем на языке функционально-поточкового параллельного программирования (ФПП) и создание их специализированных комбинационных схем, которые не имеют синхронизации и обеспечивают более высокую производительность за счет прямого асинхронного решения без обратной связи. Среди функциональных языков программирования, поддерживающих ФПП, выделен язык Пифагор, который обеспечивает исходное описание с бесконечными ресурсами, поддерживает модель потока данных и параллелизм на уровне операций, что является ключевым для организации процесса архитектурно-независимого проектирования ЦИС.

Разработанные комбинационные схемы на языке ФПП преобразуются компилятором с промежуточного представления (информационного графа программы) напрямую, т.е. без нарушения логики проектирования, в конкретные комбинационные схемы на языке Verilog.

## Список литературы

1. Легалов А.И. Функциональный язык для создания архитектурно-независимых параллельных программ. // Вычислительные технологии, № 1 (10) – 2005 - С. 71-89.
2. O. V. Nepomnyashchy, A. I. Legalov, V. Tyapkin, I. N. Ryzhenko, V. V. Shaydurov. Methods and algorithms for a high-level synthesis of the very-large-scale integration. WSEAS Transactions on Computers, 15: 239–247, 2016.

# МОДЕЛЬ ДИНАМИЧЕСКОГО ЦЕНООБРАЗОВАНИЯ «НОЛЬ ОТХОДОВ» НА ТОВАРЫ ПЕРВОЙ НЕОБХОДИМОСТИ ПРИ ДЕТЕРМИРОВАННОМ СПРОСЕ

Китаева А.В., Жуковская А.О.

*Национальный исследовательский Томский государственный университет, Томск*

[kit1157@yandex.ru](mailto:kit1157@yandex.ru)

Сокращение отходов - это один из способов уменьшить отрицательное воздействие на окружающую среду. Утилизация отходов может быть дорогостоящей и вызывает экологические проблемы; см., например, Curran, Williams (2012), поэтому задача сокращения образования отходов имеет наивысший приоритет.

Модели оптимального ценообразования на товары с ухудшающимися свойствами рассматривались в различных постановках, см. Janssen et al. (2016).

В Китаева et al. (2019) мы рассматривали оптимальное ценовое управление реализацией заданной партии товара с фиксированным сроком годности и сильно чувствительной к цене интенсивностью стохастического спроса. Предложенная модель позволяет почти, наверное, реализовать всю продукцию в течение срока годности. В Китаева et al. (2020) рассматривалось обобщение этой модели динамического ценообразования. В Китаева et al. (2021) была рассмотрена стохастическая модель потери качества запасов. Эти работы основаны на идеях А. Ф. Терпугова, который одним из первых в России разработал математическую теорию оптимизации розничной торговли портящимися товарами; см., например, Новицкая и др. (2009).

В настоящее время динамическое управление ценами представляет большой практический интерес в связи с развитием цифровых технологий, позволяющими практически игнорировать транзакционные издержки, связанные с изменением цен, и осуществлять автоматический динамический контроль над состоянием запасов.

В настоящей работе мы рассмотрим детерминированные модели как для запасов с фиксированным сроком годности, так и с непрерывно ухудшающимися потребительскими свойствами в предположении, что продукт наверняка будет реализован, если цена достаточно низка. Это имеет место, например, для товаров первой необходимости. Предложена модель, обеспечивающая полное использование запасов к концу терминального срока. Также рассматривается задача определения оптимального размера партии для этой модели.

## Список литературы

1. Curran T. and Williams I.D. A zero waste vision for industrial networks in Europe // Journal of Hazardous Materials. – 2012. – V.207–208. – P. 3-7.
2. Janssen L., Clau, T. and Sauer J. Literature review of deteriorating inventory models by key topics from 2012 to 2015 // International Journal of Production Economics. – 2016. – V.182. – P. 86-112.
3. Новицкая Е.В., Степанова О.Г., Терпугов А.Ф. Оптимизация розничной продажи скоропортящейся продукции. – Барнаул: Изд-во Алтайского Университета, 2009. – 94 с.
4. Kitaeva A.V., Stepanova N.V., and Zhukovskaya, A.O. Zero Ending Inventory Dynamic Pricing Model under Stochastic Demand, Fixed Lifetime Product, and Fixed Order Quantity // IFAC-Papers OnLine. – 2019. – V.52(13).– P. 2482-2487.
5. Kitaeva A.V., Stepanova N.V., and Zhukovskaya A.O. Profit Optimization for Zero Ending Inventories Dynamic Pricing Model under Stochastic Demand and Fixed Lifetime Product // IFAC-Papers OnLine. – 2020. – V.53(2).– P. 10505-10510.
6. Kitaeva A.V., Stepanova N.V., and Zhukovskaya A.O. Dynamic Revenue Control and Lot Sizing for a Diffusion Inventory Model with Deterioration // IFAC-PapersOnLine – 2020. – V.53(3).– P.233-238.

# ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ СИМВОЛЬНОЙ РЕГРЕССИИ В РАЗРАБОТКЕ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ

Шмалько Е.Ю.

*Федеральный исследовательский центр «Информатика и управление» РАН, Москва*  
[e.shmalko@gmail.com](mailto:e.shmalko@gmail.com)

В настоящей работе рассматривается вопрос о возможностях применения методов символьной регрессии в разработке оптимальных систем управления.

Сегодня сложилась такая ситуация в области оптимального управления, что разработанная классическая теория оптимального управления стала терять свою актуальность. Это вызвано многими причинами. Существующая теория с сформулированными в ней подходами разрабатывалась во времена господства аналоговых устройств, когда мощность вычислительных машин не шла ни в какое сравнение с современной техникой. Поэтому разрабатываемый аппарат включал в себя с одной стороны много инженерных подходов, основанных на знаниях и интуиции разработчика, а с другой стороны сформирована крепкая аналитическая теория, включающая такие сильные достижения, как принцип максимума Понтрягина, уравнение Беллмана и связанные с ними методы решения задач оптимального управления, но применимые лишь для определенного класса объектов и функционалов. Общих подходов к решению задач синтеза управления до сих пор нет. При этом актуальность данного вопроса растет с каждым днем, так как все больше и больше появляется новых, сложных технических объектов, особенно в робототехнике, требующих реализации высокой степени автономности.

Методы символьной регрессии позволяют искать функцию управления, оптимальную, или близкую к оптимальной, по заданному критерию. Поиск функции управления реализуется на пространстве кодов возможных функций. Функции кодируются с помощью заданного алфавита, состоящего из элементарных функций, переменных и констант. В качестве поискового оптимизационного алгоритма используются различные модификации генетического алгоритма, поскольку он позволяет реализовывать поиск без применения арифметических операций к кодам.

Однако на практике встает вопрос реализации найденной функции оптимального управления и поиска новой функции, описывающей систему стабилизации относительно полученной оптимальной траектории. В работе обсуждается вопрос потери оптимальности при таком подходе. Предложен новый подход синтезированного оптимального управления, который стал реализуем благодаря применению методов символьной регрессии. Метод базируется на идее управления объектом на основе положения точки равновесия.

Первоначально мы делаем объект устойчивым в пространстве состояний. Для этого мы решаем задачу синтеза системы стабилизации и находим такую функцию управления, которая всегда переводит объект из разных начальных положений в заданную точку равновесия с оптимальным значением критерия качества. На втором этапе решается задача оптимального планирования пути, путем нахождения оптимального положения точек равновесия.

В качестве вычислительного эксперимента показана реализация данного подхода на модели колесного мобильного робота.



# АЛГОРИТМИЧЕСКОЕ, ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ СИСТЕМЫ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ ВРАЧЕБНЫХ РЕШЕНИЙ

Берестнева О.Г., Аксёнов С.В., Лызин И.А., Марухина О.В.

*Национальный исследовательский Томский Политехнический университет, Томск*

[ogb6@yandex.ru](mailto:ogb6@yandex.ru)

Тема поддержки принятия врачебных решений имеет важное значение. Особенно это важно в настоящее время так как объемы знаний в медицине растут экспоненциально, а время на принятие врачом соответствующего решения при этом не увеличивается. В связи с чем в значительной части случаев имеет место врачебная ошибка. Врачебная ошибка – это неблагоприятное последствие медицинской помощи, проявляющееся при обследовании и лечении пациентов. По данным экспертов Всемирной организации здравоохранения, более 100 000 человек ежегодно умирают от врачебных ошибок. Учитывая все вышеперечисленное, возникает необходимость в создании систем поддержки принятия решений. Система поддержки принятия решений (СППР) – это интеллектуальная компьютерная программа, которая может проводить анализ, консультировать, ставить диагноз, прогнозировать процесс лечения и его результат [1, 2]. Целью системы поддержки принятия клинических решений является улучшение оказания медицинской помощи путем усиления медицинских решений с помощью целенаправленных клинических знаний, данных о состоянии здоровья и другой информации о пациентах.

Цель исследования заключалась в повышении эффективности принятия врачебных решений при анализе разнородных клинических предикторов в течение пребывания пациента в стационаре посредством методов интеллектуального анализа данных.

Для достижения цели исследования необходимо решить следующие задачи:

1. Обзор и анализ современного состояния предметной области;
2. Построение технологии предварительной обработки и визуализации исходных данных;
3. Разработка алгоритмического, программного и математического обеспечения системы поддержки принятия врачебных решений;
4. Тестирование и апробация СППР.
5. Новизна исследования состоит в разработке единого подхода, позволяющего анализировать динамику лечения и протекания заболевания пациента с последующей выдачей рекомендацией по выбору траектории лечения.

В ходе выполнения исследования была сформирована схема предварительной обработки и анализа клинических данных. Разработаны модули статистической обработки, графической интерпретации и модуль построения моделей машинного обучения для системы поддержки принятия врачебных решений [3-5].

**Благодарности.** Исследование выполнено при частичной финансовой поддержке РФФИ в рамках выполнения научного проекта № 19-37-90005.

## Список литературы

1. Гаврилова Т.А., Хорошевский В.Ф. Базы знаний интеллектуальных систем. Учебник / Гаврилова Т. А. [и др.]; – СПб.: Изд-во «Питер» 2001.
2. Информационные системы в здравоохранении. Общие требования. СТО МОСЗ 91500.16.0002-2004.
3. Аксёнов С.В., Лызин И.А., Берестнева Е.В., Марухина О.В. Системы поддержки принятия врачебных решений // Фундаментальные и прикладные исследования: опыт, проблемы и перспективы Сборник научных трудов по материалам Международной научно-практической конференции Санкт-Петербург, 10 марта 2020 г. С. 143-147.
4. Берестнева О.Г., Осадчая И.А., Лызин И.А. Использование компьютерной визуализации в анализе кривых дыхания // Сибирский журнал клинической и экспериментальной медицины. - 2020 - Т. 35 - №. 4. - С. 57-64. doi: 10.29001/2073-8552-2020-35-4-57-64.
5. Берестнева О.Г. Методы структурного анализа и визуализации экспериментальных данных в социальных и медицинских исследованиях / О.Г. Берестнева, И.А. Осадчая, А.Л. Бурцева. - Томск: Из-во Томского политехн. ун-та, 2014 – С. 17-19.

# РЕАЛИЗАЦИЯ НАБОРА ИНСТРУМЕНТОВ УПРАВЛЕНИЯ ДВИЖЕНИЕМ РОБОТА КУКА IIWA В СРЕДЕ МАТЛАБ

Кравченко А.А., Лаптев Н.В., Гергет О.М.

*Национальный исследовательский Томский политехнический университет, Томск*

[aak224@tpu.ru](mailto:aak224@tpu.ru)

Рынок роботов представлен множеством производителей, каждый из которых предлагает свои роботизированные решения, а также ПО для управления роботом. Предлагаемое производителями роботов ПО требует знания различных языков программирования таких как Java, C++, Python, включая специальные функции робота, что может стать препятствием для многих разработчиков. Еще одним недостатком является то, что данные и информация от робота доступны только локально в системе, во время выполнения приложений. Это делает невозможным реализацию приложений с удаленным контролем, необходимых для решения задач телемедицины, адаптивных роботизированных ячеек и дистанционного управления с применением VR/AR технологий. В связи с этим была реализована собственная клиент серверная библиотека управления движениями робота. Библиотека предназначена для взаимодействия коллаборативного робота Kuka LBR iiwa [1] на операционной системе KUKA Sunrise.OS [2] с удаленным ПК на базе программного пакета Matlab от MathWorks.

Разработанная библиотека имеет расширенные возможности по управлению роботом в режиме планирования траектории, в том числе и смешивание различных видов движений в один пакет, более современные и быстрые способы коммуникации с роботом со стороны клиента, а также гибкость в работе с портами Ю. Библиотека имеет 35 методов для взаимодействия с роботом. Большинство методов имеют развитую систему входных аргументов, позволяющую гибко настраивать те или иные параметры действия и робота. Для работы с кинематикой были написаны собственные реализации алгоритмов прямой-обратной кинематики. Алгоритм обратной кинематики основан на собственной реализации алгоритма FABRIC [3].

Исходный код сервера, клиента, а также примеры работы с библиотекой доступны для скачивания на GitHub-странице пакета [4].

**Благодарности.** Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 20-37-90055 «Аспиранты» и государственного задания «Наука» №FFSWW-2020-0014.

## Список литературы

1. LBR iiwa | KUKA in Malaysia [Электронный ресурс]. URL: <https://www.kuka.com/en-my/products/robotics-systems/industrial-robots/lbr-iiwa> (accessed: 19.04.2022).
2. KUKA Sunrise.OS | KUKA AG [Электронный ресурс]. URL: <https://www.kuka.com/en-us/products/robotics-systems/software/system-software/sunriseos> (accessed: 04.05.2022).
3. Kolpashchikov D. et al. FABRIK-Based Inverse Kinematics For Multi-Section Continuum Robots // Proceedings of the 2018 18th International Conference on Mechatronics. 2018.
4. GitHub - small23/Kuka\_LBR\_Toolbox [Электронный ресурс]. URL: [https://github.com/small23/Kuka\\_LBR\\_Toolbox](https://github.com/small23/Kuka_LBR_Toolbox) (accessed: 04.05.2022).

# МОДЕЛИРОВАНИЕ ТРАЕКТОРИЙ РАЗВИТИЯ ТРЕЩИН В ПЛИТАХ И ПОЛОГИХ ОБОЛОЧКАХ В СРЕДЕ КОМПЬЮТЕРНОЙ МАТЕМАТИКИ MAPLE

Аверина Т.А.

*Воронежский государственный технический университет, Воронеж*

[ta\\_averina@mail.ru](mailto:ta_averina@mail.ru)

В работе на основе аналитического метода выполнены расчеты напряженно-деформированного состояния свободно опертой по контуру плиты, нагруженной сосредоточенной силой. Нагрузка и неизвестная функция прогиба представлены одинарными тригонометрическими рядами. В окрестности точек нижней поверхности плиты определены главные площадки и главные напряжения, показана картина двухосного напряженного состояния и на ее основе построены графики траекторий наибольших растягивающих напряжений. Графики траекторий сопоставлены с экспериментальными схемами развития трещин, отмечено качественное совпадение. Для пологой оболочки, нагруженной равномерно распределенной нагрузкой, со схемой опирания на шарнирные опоры, получено аналитическое решение. Нагрузка и неизвестные функции прогиба и напряжений представлены с помощью двойных тригонометрических рядов. Выполнены расчеты напряженно-деформированного состояния, определены усилия и перемещения. Дана оценка точности суммирования рядов по перемещениям и усилиям. В окрестности точек нижней, срединной и верхней поверхностей оболочки вычислены нормальные и касательные напряжения, а также главные напряжения и главные площадки. Показана картина двухосного напряженного состояния и на ее основе построены графики траекторий наибольших растягивающих напряжений. Графики траекторий на нижней поверхности оболочки сопоставлены с экспериментальными схемами развития трещин. По траекториям наибольших растягивающих напряжений, построенных в точках нижней поверхности, делается прогноз о месте, направлении и последовательности появления трещин в оболочке.

## Список литературы

1. A. Averin and T. Averina, "Modeling of Crack Propagation Patterns in Reinforced Concrete Slabs Based on Principal Stress Trajectories," 2021 3rd International Conference on Control Systems, Mathematical Modeling, Automation and Energy Efficiency (SUMMA), 2021, pp. 105-109, doi:10.1109/SUMMA53307.2021.9632104.
2. Аверин А.Н., Аверина Т.А. Моделирование схем развития трещин в пологих оболочках на основе траекторий наибольших растягивающих напряжений // Строительная механика и конструкции. - 2021. - №3 (30). - С.15-25.

## Содержание

Аршинский Л.В. Лебедев В.С	Объективизация баз знаний систем, основанных на знаниях, на основе индуктивного вывода с использованием нестрогих вероятностей	2
Костромин Р.О. Ружников Г.М. Фереферов Е.С. Сидоров И.А. Воскобойников М.Л.	Автоматизированное управление конфигурацией платформы имитационного моделирования инфраструктурных объектов	3
Пашинин А.А. Богданова В.Г	Технология качественного исследования двоичных динамических систем в микросервисной инфраструктуре	4
Стрекалёв В.О. Грибова В.В.	Модель виртуального тренажера с биологической обратной связью	5
Еделев А.В. Фереферов Е.С.	Автоматизированное рабочее место предметно-ориентированной среды для исследования живучести энергетической инфраструктуры	6
Колокольникова Н.А.	О размещении частиц в две совокупности ячеек, если число размещаемых частиц – случайная величина, имеющая геометрическое распределение	8
Шишкин Д.В. Осипова Е.А. Аршинский В.Л. Пещерова С.М. Чуешова А.Г.	Применение нейронных сетей для идентификации параметров ориентации мультикристаллического кремния для солнечной энергетики	9
Пестова Ю.В. Николайчук О.А.	Формирование туристского профиля территории на основе открытых источников данных	10
Куликов В.В. Куцкий Н.Н.	Получение функций чувствительности для многоконтурных автоматических систем при использовании пи-регуляторов с переменной структурой	11
Подкорытов А.А. Куцкий Н.Н.	Моделирование котельного агрегата в системах автоматизации	12
Бендик Н.В. Полковская М.Н.	Онтологическая модель базы данных для оценки повторяемости отказов элементов электрической сети	13
Иванько Я.М. Ковадло И.А.	Управление производством аграрной продукции: неоднородность земель, риски, оптимизация	14
Иванько Я.М. Петрова С.А. Федурина Н.И.	Агроландшафтные районы, риски и модели оптимизации получения продовольственной продукции	15
Ковалева Е.А. Иванько Я.М.	Модуль «Планирование в условиях рисков» программного комплекса «Эколого-математическое моделирование аграрного производства»	16
Кузьменко В.В. Гаврилов Д.А.	Сравнение расчетных методов определения фракции холестерина липопротеинов низкой плотности	17
Куклин Е.В.	Использование методов нечёткой логики для среднесрочного прогнозирования землетрясений в Байкальской рифтовой зоне	18
Потапов А.А.	Фрактальные технологии: проблемы и перспективы	19
Зорина Т.Г.	Атомная энергетика как одно из направлений устойчивого развития Республики Беларусь	20
Ротанова И.Н.	Приоритетные направления геоцифрового эколого-географического анализа (на материалах Алтайского края)	21
Фридман А.Я.	Интеграция концептов цифровых двойников и ситуационной	22

	осведомленности в систему моделирования критических инфраструктур	
Гальперова Е.В.	Методология исследования и долгосрочного прогнозирования конъюнктуры на региональных энергетических рынках с учетом поведения потребителей	23
Пяткова Н.И. Массель А.Г.	Двухуровневая технология исследования угроз энергетической безопасности с применением методов когнитивного моделирования и линейных оптимизационных моделей	24
Хан В.В. Деканова Н.П. Хан П.В.	Моделирование поведения бизнеса и потребителей при принятии решений по развитию инфраструктуры городов	27
Зароднюк М.С. Еделева О.А.	Разработка методического подхода к оценке комплексного воздействия энерготехнологий на окружающую среду	28
Пискунова В.М. Щукин Н.И. Гальфингер А.Г.	Моделирование накопителей энергии для оценки дефицитов электроэнергии на примере трёхузловой схемы	29
Цыбиков А.Р. Массель Л.В. Массель А.Г. Щукин Н.И.	Онтологический инжиниринг в построении цифрового двойника фотоэлектрической системы	30
Массель Л.В. Массель А.Г. Щукин Н.И. Цыбиков А.Р.	Реализация прототипа цифрового двойника ветровой электростанции	31
Лосев А.С.	Проектирование инструментария визуализации для реализации цифрового двойника электростанции с помощью специализированного программного обеспечения Unity	32
Карпов В.Э. Королева М.Н.	К вопросу о формализации этики поведения коллаборативного робота	33
Массель А.Г.	Когнитивный инжиниринг	35
Ворожцова Т.Н.	Структура онтологического пространства знаний для системных исследований энергетики	36
Гаськова Д.А. Бекишева Е.В.	Разработка экспертной системы для моделирования векторов угроз на интернет вещей энергетического объекта	37
Кузьмин В.Р.	Структурирование знаний для исследования влияния объектов энергетики на окружающую среду	38
Пестерев Д.В.	Технология интеграции семантического и математического моделирования для исследования устойчивости энергетических и социо-экологических систем	39
Массель А.Г. Мамедов Т.Г.	Агент когнитивного моделирования в ПК «ИНТЭК-А»	40
Лазанюк И.В. Swati Modi	Цифровизация и индийская экономика: закономерности и вопросы	41
Балашова С.А.	Применение логит- и пробит- моделей для анализа вероятности ухудшения материального положения россиян на фоне пандемии COVID-19	42
Новиков М.М. Ипполитов Е.В. Камаев С.В. Марков М.А. Князь В.А.	Проблемы бесконтактной регистрации потоков в гидродинамической трубе	43

Степаньянц Д.Г.		
Шемахин А.Ю. Желтухин В.С.	Математическое моделирование потока ВЧ-плазмы пониженного давления с учетом модельного образца	44
Кнестяпин В.Н., Завершинский И.П.	Численное моделирование закрученного потока водяного пара с микро- и наночастицами алюминия и источником нагрева	45
Колесник С.А. Стифеев Е.М.	Идентификация начального условия для одномерного нелинейного уравнения теплопроводности	46
Солдатова И.А. Марчевский И.К.	Алгоритмы повышенной точности для моделирования двумерных течений вязкой несжимаемой среды вихревыми методами	48
Рятина Е.П. Марчевский И.К.	Быстрый метод решения граничного интегрального уравнения, возникающего в вихревых методах вычислительной гидродинамики	49
Станкевич Н.В. Кузнецов А.П.	Многомерный хаос во взаимодействующих генераторах квазипериодических колебаний	50
Станкевич Н.В. Купцов П.В.	Методы машинного обучения для моделирования модельных нейронов	51
Уленекоев О.Н. Громова О.В. Бехтерева Е.С.	Метод и результаты определения в аналитической форме параметров тетраэдрических расщеплений в молекулах типа сферического волчка	52
Жилияков А.С. Бехтерева Е.С. Громова О.В. Уленекоев О.Н.	Разработка и практическое применение аналитических вычислений на компьютере для применения в физике многоатомных молекул	53
Сауткина С.М.	Применение разрывного метода Галеркина к моделированию вязких течений	54
Марчевский И.К. Щеглов Г.А. Дергачев С.А.	Программный комплекс для расчета пространственного обтекания тел вихревыми методами	55
Уленекоев О.Н. Бехтерева Е.С. Громова О.В.	Метод решения обратных спектроскопических задач для многоатомных молекул и его реализации в виде пакета компьютерных программ	57
Хан П.В. Таиров Э.А. Сафаров А.С.	Двухкритериальная оптимизация параметров системы уравнений Дарси-Форхгеймера для пароводяного потока через засыпку из шаровых частиц	58
Гонченко А.С. Самылина Е.А.	Псевдогиперболические аттракторы и их примеры в трехмерных отображениях	59
Семенов Е.С. Зуев А.С. Фокин А.П.	Численное моделирование электронно-волнового взаимодействия в резонаторах гиротронов на основе комплекса программ ANGEL	60
Измайлова Ю.А. Марчевский И.К.	Алгоритмы для моделирования гидроупругих колебаний профилей в вихревых методах	62
Прозорова Г.В.	Создание цифровых двойников горных пород (технология «Цифровой керн»)	64
Колосок И.Н. Коркина Е.С.	Нужны ли облачные технологии при создании и функционировании цифровых двойников объектов интеллектуальной энергосистемы?	65
Скоробогатова М.В. Аршинский Л.В.	Онтологическое моделирование аппарата на динамической воздушной подушке	67
Аршинский Л.В. Наседкин П.Н.	Оценка состояния комплексной системы защиты информации логико-аксиологическим методом	68

Алекперова С.Т. Ревазов А.М.	Совершенствование системы поддержки принятия решений для целей планирования дополнительных технических решений по обеспечению комплексной безопасности объектов ТЭК	69
Привезенцев А.И. Лаврентьев Н.А. Фазлиев А.З. Старченко А.В.	Научная информационно-вычислительная система для моделирования, представления и хранения результатов вычислений параметров качества атмосферного воздуха вблизи крупных городов	71
Лаврентьев Н.А. Фазлиев А.З. Лаврентьева Н.Н.	Количественная оценка качества цитирования в научной графике	72
Фоменкова А.А.	Задачи мониторинга состояния и управления в системах анаэробной биологической очистки	73
Егоров Н.М.	Воплощение нейронной синаптической связи с регулируемой задержкой на основе аналоговой схмотехники	74
Виноградов Г.П.	Паттерны поведения интеллектуального узла в составе беспроводной сенсорной сети	75
Порфирьев Д.П. Завершинский И.П. Климов А.И.	Численное исследование принципов работы противоточного вихревого реактора	76
Романова Д.С. Легалов А.И. Непомнящий О.В.	Архитектурно-независимый метод разработки комбинационных схем	77
Китаева А.В. Жуковская А.О.	Модель динамического ценообразования «Ноль отходов» на товары первой необходимости при детерминированном спросе	78
Шмалько Е.Ю.	Применение методов символьной регрессии в разработке систем управления	79
Берестнева О.Г. Аксёнов С.В. Лызин И.А. Марухина О.В.	Алгоритмическое, программное обеспечение системы поддержки принятия врачебных решений	80
Кравченко А.А. Лаптев Н.В. Гергет О.М.	Реализация набора инструментов управления движением робота Kuka iiwa в среде Matlab	81
Аверина Т.А.	Моделирование траекторий развития трещин в плитах и пологих оболочках в среде компьютерной математики Maple	82