



ИНФОРМАЦИОННЫЕ РЕСУРСЫ РОССИИ

05 [194] 2023

Д. Соловьев, Н. Сокотущенко
Многофакторное нейросетевое
прогнозирование: разработка
уточнённого алгоритма **4**

В. Дорофеев
Создание цифровой интеллектуальной
электроэнергетической системы
России – стратегическая цель развития
электроэнергетики **38**

Б. Чигарев
Выявление актуальных вопросов энергетической
политики в публикациях из открытых
реферативных баз данных **52**



МЕЖДУНАРОДНАЯ ВЫСТАВКА- ФОРУМ

РОССИЯ



ЭНЕРГ Я ЖИЗНИ



МОСКВА, ВДНХ
04.11.2023–12.04.2024
RUSSIA.RU

Реклама 6+

СОДЕРЖАНИЕ

Содержание

От редакции

3 А. Горшкова
Частно-государственная
взаимозависимость

Искусственный интеллект

4 Д. Соловьев, Н. Сокотущенко
Многофакторное нейросетевое
прогнозирование: разработка
уточнённого алгоритма

Строительство

14 Н. Кибикин, Л. Шилова
Автоматизация армирования
купольных домов

27 А. Пестрикова, Л. Адамцевич
Работа с атрибутивными данными
элементов информационной модели



ИНФОРМАЦИОННЫЕ РЕСУРСЫ РОССИИ

ТЭК

38 В. Дорофеев
Создание цифровой интеллектуальной
электроэнергетической системы
России – стратегическая цель развития
электроэнергетики

Базы данных

52 Б. Чигарев
Выявление актуальных вопросов
энергетической политики в публикациях
из открытых реферативных баз данных

Технологии

66 С. Музыка, И. Сутугина
Информационное обеспечение
лесного мониторинга
с применением космических
снимков и ГИС





Founder's word

3 A. Gorshkova
The benefits of market revolutions and innovations

Artificial intelligence

4 D. Solovyev, N. Sokotushchenko
Multifactor Neural Network Forecasting: Development of a Refined Algorithm

Construction

14 N. Kibikin, L. Shilova
Reinforcement automation of domed houses

27 A. Pestrikova, L. Adamtsevich
Working with attribute data of information model elements

Contents

FEC

38 V. Dorofeev
The creation of a digital intelligent electric power system in Russia is a strategic goal of the development of the electric power industry

Databases

52 B. Chigarev
Identification of Topical Energy Policy Issues in Publications from Open Abstract Databases

Technologies

66 S. Muzyka, I. Sutugina
Information support for forest monitoring using satellite images and GIS



4



27



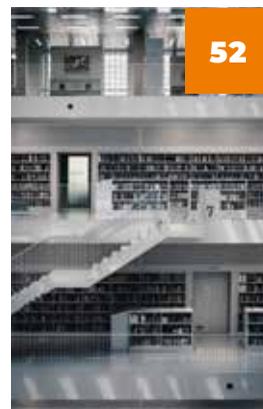
66



14



38



52

S
T
R
E
T
T
O
C

Польза рынка революций и инноваций

Импортозамещение стало одним из самых серьезных стимулов развития российских информационно-технологических отраслей. Оставшись без ключевых западных информационных систем, облачных технологий и оригинального программного обеспечения, Россия была вынуждена в срочном порядке внедрять свои собственные разработки.

Основными заказчиками, потребителями и в большей части исполнителями данных разработок являются крупные российские промышленные компании. Эта политика активно поддерживается и на уровне государства. Например, в июне прошлого года на Питерском форуме при активном участии Минэнерго девять крупнейших нефтегазовых компаний подписали соглашение о создании консорциума по формированию IT-ландшафта нефтегазовой и нефтехимической промышленности.

В результате, свободный рынок отечественных IT-услуг почти не развивается, а система финансирования новых независимых информационных разработок через венчурные фонды или проектное кредитование практически отсутствует. Поддержка цифровых стартапов возможна только на базе корпораций или государственного заказа. В результате, выиграв войну за возмещение определенных технологий, мы не сформируем платформу для создания собственных революционных разработок, а значит мировое лидерство России в инновационной IT-сфере пока остается под вопросом.

Главный редактор журнала «ИРР»,
Горшкова Анна



МНОГОФАКТОРНОЕ НЕЙРОСЕТЕВОЕ ПРОГНОЗИРОВАНИЕ: РАЗРАБОТКА УТОЧНЁННОГО АЛГОРИТМА

Соловьев Дмитрий
Старший научный сотрудник,
к. ф. - м. н.,
Институт океанологии
им. П. П. Ширшова РАН
E-mail: solovev@ocean.ru

Сокотущенко Наталья
Начальник отдела,
Государственный
университет «Дубна»
E-mail: sokotushenko.nat@mail.ru

Аннотация. В статье представлен новый уточненный алгоритм многофакторного нейросетевого прогнозирования, разработанный для анализа взаимосвязанных факторов в динамических многосвязных системах. Алгоритм основан на интеграции «подмешиваемых» функций. Результаты алгоритма позволяют более точно моделировать и прогнозировать сложные нестационарные временные ряды, что имеет широкий спектр применения в финансовой аналитике, экономическом прогнозировании и многих других областях. Рассматриваемый алгоритм представляет собой важный шаг в развитии методов нейросетевого прогнозирования и может быть полезен для исследователей и практиков, работающих в области анализа временных рядов и многомерных данных.

Ключевые слова:

нейросетевое прогнозирование, уточнённый алгоритм, многофакторный анализ, временные ряды, взаимосвязанные системы.

**Новизной
алгоритма является
вычисление
совместных
весов при
формировании
прогноза
с «подмешиванием»,
что позволяет
учесть
взаимодействие
разных параметров**

Введение

История нейронных сетей и их использования в прогнозировании насчитывает десятилетия инноваций и исследований, начиная с первых теоретических концепций и до современных прорывов в области искусственного интеллекта.

История нейронных сетей начинается в 1940-х гг. с работ Уоррена Маккаллока и Уолтера Питтса, которые создали модель искусственного нейрона. Их работа, опубликованная в статье «A Logical Calculus of the Ideas Immanent in Nervous Activity» (1943) [1], положила начало изучению нейросетей.

В 1950-х и 1960-х гг. появились первые модели и алгоритмы обучения. Фрэнк Розенблатт создал Перцептрон, который был одной из первых и наиболее влиятельных нейронных сетей. Его работа, подробно описанная в книге «Principles of Neurodynamics: Perceptrons and the Theory of Brain Mechanisms» (1962) [2], была фундаментальной для дальнейшего развития области.

1970-е гг. ознаменовались замедлением развития нейронных сетей, во многом из-за критики их ограничений, особенно в работах Марвина Мински и Сеймура Паперта, изложенных в книге «Perceptrons» (1969). Однако в 1980-е гг. интерес к нейросетям возродился благодаря новым алгоритмам обучения, таким как алгоритм обратного распространения ошибки,

который был представлен в работе Румельхарта, Хинтона и Уильямса «Learning representations by back-propagating errors» (1986) [3].

С 2000-х гг. и до наших дней нейронные сети переживают период бурного роста, особенно с развитием глубокого обучения. Одним из ключевых моментов стало использование глубоких нейронных сетей для победы в конкурсе ImageNet в 2012 г. командой под руководством Джеффри Хинтона. Это событие, описанное в их работе «ImageNet Classification with Deep Convolutional Neural Networks» (2012) [4], значительно усилило интерес к глубокому обучению в научном сообществе и промышленности.

Нейронные сети нашли широкое применение в прогнозировании в самых разных областях: от финансов и экономики до метеорологии и здравоохранения. Они способны анализировать большие объемы данных и выявлять сложные закономерности, что делает их идеальными для создания точных прогностических моделей. Примеры включают прогнозирование рынков ценных бумаг, погодных условий и распространения заболеваний.

История нейронных сетей – это история постоянных инноваций и преодоления трудностей. От первых теоретических моделей до современных глубоких нейросетей, эта область продолжает развиваться, открывая новые

горизонты в научных исследованиях и практическом применении.

Многофакторное нейронное прогнозирование – это подход, при котором для прогнозирования используются модели искусственных нейронных сетей, способные интегрировать и анализировать большое количество разнородных данных. В отличие от традиционных статистических методов, нейронные сети могут обрабатывать данные, содержащие сложные нелинейные связи и взаимодействия между множеством переменных [5].

Традиционные нейронные сети часто ориентированы на анализ данных с ограниченным числом входных параметров и предназначены для специфических задач, таких как классификация изображений или распознавание речи. Многофакторные нейронные сети, напротив, разработаны для работы с большим количеством переменных и их взаимосвязей. Это позволяет им анализировать более сложные системы, такие как финансовые рынки, погодные условия или медицинские данные, где результат зависит от множества факторов.

Многофакторное нейросетевое прогнозирование представляет собой передовой подход в анализе сложных, динамических систем, где традиционные методы часто оказываются недостаточными для учета всех взаимосвязей и взаимозависимостей. Этот подход объединяет глубокое обучение и многослойные архитектуры нейронных сетей для анализа и прогнозирования систем, характеризующихся большим количеством взаимодействующих параметров. В нашей работе мы исследуем новый алгоритм многофакторного нейросетевого прогнозирования, основанный на интеграции множественных входных параметров, и рассмотрим его применение в различных областях.

В географии этот подход может быть использован для моделирования и прогнозирования климатических изменений. Интеграция данных о температуре, осадках, уровнях загрязнения и изменениях ландшафта позволит более точно предсказывать погодные условия и климатические аномалии, что имеет ключевое значение для адап-

тации и планирования в сельском хозяйстве и городском планировании.

В области экономики такая система может применяться для анализа и прогнозирования рыночных тенденций. Обработка большого объема данных, включая индексы цен, финансовые отчеты компаний, экономические индикаторы и новостные потоки, позволяет получить более глубокое понимание рыночной динамики и способствует более точному прогнозированию экономических циклов.

В сфере энергетики этот подход может быть использован для оптимизации работы энергосистем. Интегрируя данные о потреблении энергии, производственных мощностях, погодных условиях и ценах на энергоресурсы, можно эффективно управлять распределением и производством энергии, снижая затраты и повышая эффективность работы системы.

В информационных технологиях многофакторное нейросетевое прогнозирование может быть использовано для обеспечения безопасности данных. Анализируя большие массивы данных о сетевом трафике, паттернах доступа и поведении пользователей, можно предсказывать и предотвращать кибератаки, обеспечивая тем самым более высокий уровень защиты информационных систем.

Эти примеры демонстрируют универсальность и мощь многофакторного нейросетевого прогнозирования. Он предлагает новые перспективы и решения для множества сложных задач, связанных с анализом и прогнозированием в различных сферах жизни общества. Основываясь на комплексном анализе больших данных, данный подход дает новые возможности для понимания и управления сложными системами, что является ключевым для прогресса в современном мире.

Таким образом, многофакторное нейросетевое прогнозирование открывает новые горизонты в различных областях, обеспечивая более глубокий и всесторонний анализ сложных, взаимосвязанных систем. В данной статье мы исследуем потенциал данного

подхода и представляем результаты, которые подчеркивают его эффективность и универсальность.

Описание уточненного алгоритма работы нейросети с подмешиваемыми функциями

В нашей работе мы представляем уточненный алгоритм многослойной нейронной сети с обратным распространением ошибки, основанный на интеграции «подмешиваемых» функций для анализа взаимосвязанных факторов в динамических многосвязных системах. Этот подход позволяет более точно моделировать и прогнозировать сложные нестационарные ряды, учитывая многочисленные коррелированные процессы, которые мы ранее исследовали с помощью нейронных сетей в своих научных публикациях, например такие как, различные социально-экономические явления, описываемые временными рядами [6].

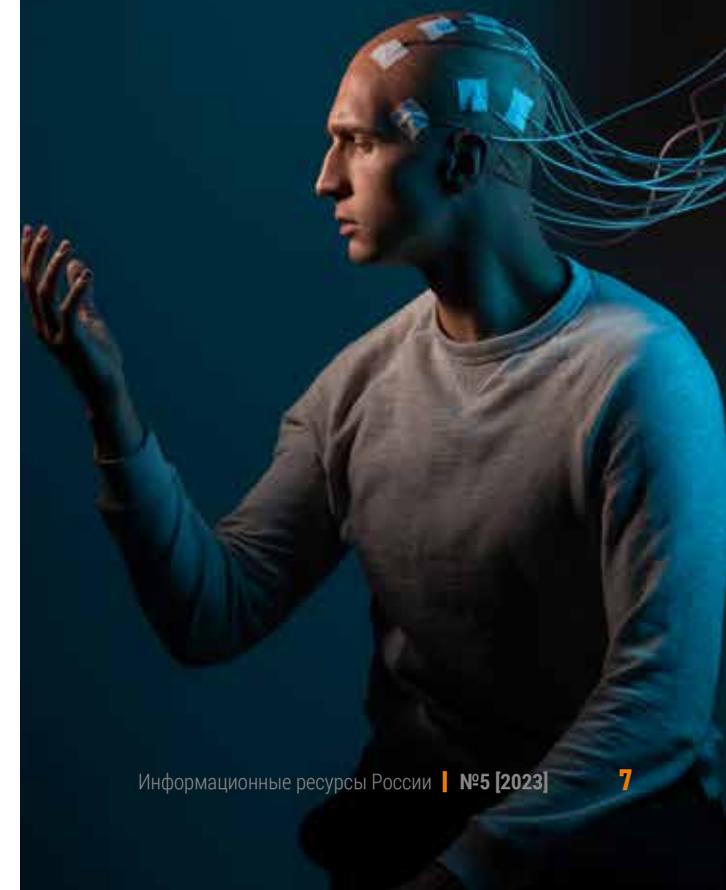
Предметом дальнейшей разработки является создание уточненного алгоритма с «подмешиванием» для нейросетевого прогнозирования нестационарных рядов, описывающих поведение многосвязных систем.

Если необходимо сформировать прогноз с учетом «подмешивания» других входных параметров, связанных между собой явлений (например, цены на нефть, ВВП, солнечная активность, и т. п.), то для каждого параметра, реализованы следующие процедуры [7]:

1. Пользователь разделяет нейроны на три основных типа: входной, скрытый и выходной:

- входные нейроны: x_i ; $0 \leq i \leq n$,
- скрытые нейроны: h_j ; $0 \leq j \leq m$,
- выходные нейроны: y_k ; $0 \leq k \leq l$.

Входные нейроны представляют собой ячейки памяти, в которые записываются входные данные. Программа перебирает исследуемые данные (по одному значению на каждый нейрон) начиная с самого первого. Количество входных нейронов может варьироваться по указанию пользователя-эксперта, но не может быть больше количества исследуемых данных.



2. Между слоями от каждого нейрона в одном слое к каждому нейрону соседнего слоя идёт связь, называемая синапс. У синапсов есть один параметр – вес. Благодаря ему, входная информация изменяется, когда передается от одного нейрона к другому. У того нейрона, чей вес будет больше, информация и будет доминирующей в следующем нейроне. В самом начале работы программа случайным образом задаёт вес каждому из синапсов от входных нейронов к нейронам скрытого слоя и от нейронов скрытого слоя к выходному нейрону. Значение каждого веса находится в интервале от 0 до 1:

- веса между входным и скрытым слоем: (w_{ij}) ;
- веса между скрытым и выходным слоем: (v_{jk}) ;
- инициализация весов: $(w_{ij}, v_{jk} \in [0,1])$.

3. Далее идет вычисление значений в нейронах скрытого слоя. Для того чтобы найти значение одного нейрона в скрытом слое нужно найти сумму произведений значений входных нейронов на значение веса синапса, идущего к искомому нейрону:

$$h_j = f\left(\sum_i w_{ij} x_i\right),$$

где f – функция активации (биполярная сигмоида):

$$f(x) = \frac{1 - e^{-x}}{1 + e^{-x}}$$

Произведя эту операцию, есть вероятность получить очень отличающееся от исходных значение. Чтобы минимизировать эти различия, в программе, используем функцию активации. Функция активации – это способ нормализации входных данных. В данной программе используется функция активации под названием биполярная сигмоида.

4. После производится те же вычисления между нейронами скрытого слоя и нейроном выходного слоя. Производится вычисление суммы произведений значений нейронов с весами и нормализуется значение с помощью функции активации.

5. Для того, чтобы программа могла производить анализ предложенных данных, ей

необходимо обучение. Эта процедура нужна для того, чтобы подстроить веса под заданные входные значения. Обучение происходит методом обратного распространения ошибки [8]:

Ошибка на выходе: $E_k = y_k - \hat{y}_k$, где \hat{y}_k – фактический выход нейросети.

Коррекция весов: $w_{ij}^{(\text{новый})} = w_{ij} + \Delta w_{ij}$, где $\Delta w_{ij} = \eta \cdot E_k \cdot \frac{\partial \hat{y}_k}{\partial w_{ij}}$ и η – скорость обучения.

6. После обучения программа заново заполняет входные нейроны данными начиная уже со следующего после самого последнего значения и повторяется весь цикл заново, но веса берутся с момента последнего обучения.

7. Весь этот цикл происходит пока он не дойдет до последнего значения исследуемых данных. Как только программа использовала все данные, она начинает опять с самого первого значения. Такое прохождение по всем данным тоже повторяется заданное число раз и нужно для более лучшего анализа. Как только программа обучится достаточное количество раз, берутся последние значения исследуемых данных и проходят весь путь от входного до выходного нейрона. На выходе мы получаем спрогнозированное значение.

8. Новизна алгоритма в разрабатываемой программе заключается в вычислении совместных весов при формировании прогноза с «подмешиванием», и, следовательно, более обоснованному учету взаимовлияния друг на друга или корреляции множества входных параметров.

Для этого в программе разработан дополнительный пункт алгоритма вычисления, а именно, после повторения шагов 1–7 для каждого входного параметра из множества входных параметров, находим их среднее значение и вводим непосредственно в нейрон сети вычисленный таким образом совокупный вес. Совместный вес для подмешивания:

$$W_{\text{совм}} = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N w_n,$$

где (w_n) – веса для каждого параметра.

Далее, применяем на каждом шаге обучения эти совокупные веса для всех исследуемых данных. В итоге прогноз каждого параметра будет учитывать существование других входных параметров. Прогноз каждого параметра в совокупности поэтому будет отличаться от его прогноза, который был сформирован если бы этот параметр рассматривался независимо от других параметров.

9. При этом задача формирования прогноза «с подмешиванием» осложняется тем, прогнозируемые параметры могут иметь различные размерности. Поэтому предлагаемое уточнение при формировании нейронного прогноза с «подмешиванием» заключается в том, что предварительно необходимо нормировать (обезразмерить) все входные разнородные данные. После выполнения этой процедуры, становится возможным построение нейропрогноза взаимовлияющих друг на друга разнородных параметров по уточненному алгоритму.

10. Из многочисленного анализа прогнозов с «подмешиванием» можно сделать вывод о том, что существенным фактором на оправдаемость прогноза является точка начала прогноза (точка входа).

11. Уточнение в алгоритме нейросети с «подмешиванием» заключается в том, что в новом алгоритме включаются в рассмотрение различные виды активационной функции, а также возможность выбора (назначение) даты начала прогноза (точка входа). Тем самым расширяются возможные варианты настроек и получение обученной кривой нейросети – отклика нейросети, т. е. кривой получающаяся по итогу реализации алгоритма обучения.

Реализация построенного алгоритма

Для того, чтобы построить прогноз некоторой функции $F1$, мы должны подать на вход нейросети f точек, и считать $f+1$ -ю точку с выхода нейросети.

Тем не менее, перед подобным вычислением следует определиться с топологией сети, её типом, и обучить её.

В нашем случае используется перцептрон с обратным распространением ошибки. Каждый из нейронов одного слоя (кол-во нейронов = i) соединён с каждым из нейронов соседнего слоя (кол-во нейронов = j), образуя $i*j$ связей (синапсов). Каждый синапс обладает некоторым весом – значи-

Разработка прогнозов

Источник: VAKSMANV101 / depositphotos.com



мостью выхода предыдущего нейрона к последующему. Так, нейрон с большим весом будет наиболее сильно влиять на выходное значение нейронов в следующем слое, связанных с ним.

Выход (OUT) каждого нейрона определяется как сумма входных весов, помноженных на соответствующие входные сигналы (Sum(IN)) и пропущенные через функцию активации. Функция активации, как правило, выбирается экспоненциальной: $OUT = 1 / (1 + \exp(-\text{Sum}(\text{IN})))$. Однако, многочисленные численные эксперименты позволяют нам сделать вывод о том, что предварительное выявление структурных (внутренних) закономерностей заданного временного ряда, в частности, волнами Эллиотта, позволяет выявить сначала скрытые закономерности в данных, и затем уже, на основе имеющихся выявленных закономерностей формировать вид активационной функции, которая имеет различный вид на различных временных интервалах прогнозирования.

Для обучения нейросети используется следующий алгоритм:

1. Инициализация. Все веса нейросетевых связей случайно заполняются числами от 0 до 0,01.

2. Обучение. На вход подаются различные выборки. Выборка – это несколько подряд идущих значений функции, предшествующие результирующему значению.

Количество таких входных точек (f, «размер кадра») определяет сам пользователь нейросети. При необходимости сгладить слишком подробную и зашумлённую выборку он может предварительно сделать это, например средствами Excel.

$$\text{Neuronet}(F(X[n-f]), \dots, F(X[n-2]), F(X[n-1]), F(X[n])) = F(X[n+1])$$

Результирующее значение F1 проверяется по известной уже точке. Очевидно, что при обучении последняя точка функции никогда не используется в качестве входной, а является только проверочной.

Точки подаются, начиная с первой и смещаясь на 1 после каждого прогона сквозь ней-

росеть. Далее оценивается правильность результата и корректируются веса связей между нейронами: в сторону укрепления (увеличения) в случае правильного срабатывания связи и в сторону ослабления (уменьшения) в случае неверного срабатывания связи.

Данная итерация повторяется определенное пользователем кол-во раз («кол-во эпох обучения»).

3. Прогнозирование. На вход нейросети точно также подаются входные значения, а на выходе получаются требуемые значения. Так как эти значения изначально неизвестны, то обучающей коррекции весов не происходит.

Далее каждая вычисленная точка принимается за известную и может быть использована в качестве входного значения для вычисления значения идущего вслед за ним.

4. «Подмешивание» входных функций. Иногда встречается ситуация, когда предположительно некоторая функция F1 имеет корреляцию с некой функцией F2 (в более общем случае – корреляцию с функциями F2...FN). В этом случае необходимо на этапе обучения объяснить это нейросети.

Метод, избранный для осуществления этого заключается в следующем: кол-во входов и выходов нейросети становится больше в N раз (N – общее количество функций) при подмешивании N-1 функций.

На вход теперь подаются не только значения искомой функции, но и значения других функций. В остальном нейросеть продолжает действовать по тем же принципам: порядок обучения нейросети, активационная функция и т. д. не меняются.

Корректировка весов при обучении в данном случае производится по всем выходам. Очевидно, что количество значений тестовой выборки у подмешиваемых функций должно быть точно таким же, как и у функции искомой.

После обучения, на этапе прогнозирования входов остаётся то же самое количество (топология сети неизменна (рис. 1), но значения подмешиваемых функций не учитываются в результате, а используются лишь для

подачи на вход нейросети при вычислении последующих значений.

Давайте рассмотрим конкретный пример использования нейронных сетей с подмешиванием функций для прогнозирования будущих значений функции F1(X) на основе исторических данных. В этом примере у нас есть N функций (F1 до FN), и мы хотим прогнозировать значение F1(X) на n+1 точке временного ряда, где n – количество доступных точек для анализа.

Шаг 1: Подготовка данных. Первым шагом является подготовка данных. Мы имеем n точек временного ряда для каждой из N функций. Размер окна (количество точек, используемых для прогноза) определяется пользователем и обозначается как f.

Шаг 2: Обучение нейросети. Процесс обучения начинается с инициализации весов всех связей между нейронами в сети. Веса инициализируются случайными значениями в диапазоне от 0 до 0,01. Далее мы подаем на вход нейросети данные для обучения. Входные данные состоят из последовательности значений функций F1 до FN на каждой точке временного ряда. Это выглядит следующим образом:

Вход:
 $F1(X[n-f]), \dots, F1(X[n-2]), F1(X[n-1]), F1(X[n]),$
 $F2(X[n-f]), \dots, F2(X[n-2]), F2(X[n-1]), F2(X[n]),$

 $FN(X[n-f]), \dots, FN(X[n-2]), FN(X[n-1]), FN(X[n])$

Сеть имеет N выходов, где каждый выход представляет собой прогнозное значение для соответствующей функции F1 до FN на n+1 точке временного ряда.

Выход:
 $F1(X[n+1]),$
 $F2(X[n+1]),$

 $FN(X[n+1])$

Затем сравниваются все N выходных значений с фактическими значениями соответствующих функций. Если прогноз правильный, связи в нейросети укрепляются (веса увеличиваются), если прогноз неверный, связи ослабляются (веса уменьшаются). Это осуществляется с использованием алгоритма обратного распространения ошибки.

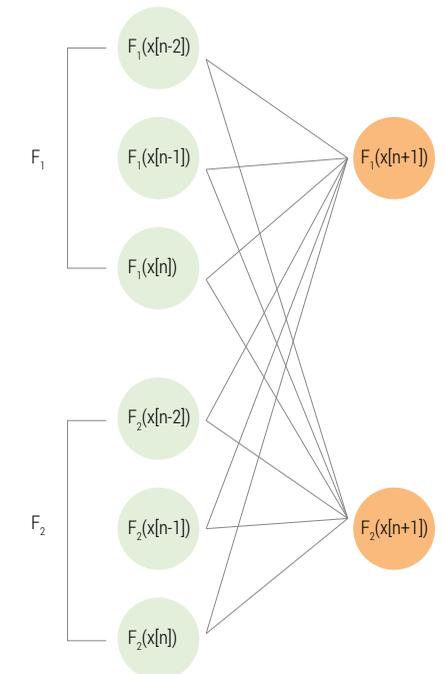


Рис. 1. Топология простейшего персептрона при подмешивании функций

Этот процесс обучения повторяется для всех точек временного ряда и может продолжаться в течение нескольких эпох обучения, которое задается пользователем.

Шаг 3: Прогнозирование. После завершения обучения мы можем использовать обученную нейросеть для прогнозирования будущих значений функции F1(X). Для этого мы подаем на вход нейросети последние f точек данных для каждой функции F1 до FN.

Чтобы вычислить следующее значение функции F1(X[n+2]), мы используем полученные выходные значения нейросети как новый вход, отбрасывая самую дальнюю точку и сдвигая остальные точки входа, что позволяет нейросети учитывать последние f точек данных:



Суперкомпьютер «Ломоносов»
Источник: robotrackkursk.ru

Вход:

$F1(X[n-f+1]), \dots, F1(X[n-1]), F1(X[n]), F1(X[n+1]),$
 $F2(X[n-f+1]), \dots, F2(X[n-1]), F2(X[n]), F2(X[n+1]),$

\dots
 $FN(X[n-f+1]), \dots, FN(X[n-1]), FN(X[n]), FN(X[n+1])$

Выход:

$F1(X[n+2]),$
 $F2(X[n+2]),$

\dots
 $FN(X[n+2])$

Этот процесс может быть повторен для прогнозирования последующих значений функций $F1$ до FN .

Это лишь один из примеров того, как можно использовать нейронные сети с подмешиванием функций для анализа и прогнозирования временных рядов. Реальная реализация может потребовать настройки параметров и дополнительных алгоритмов для обработки данных.

Выводы

В данной статье был представлен уточнённый алгоритм многофакторного нейросетевого прогнозирования, разработанный на основе интеграции «подмешиваемых» функций для анализа взаимосвязанных факторов в динамических многосвязных системах. Этот алгоритм позволяет более точно моделировать и прогнозировать сложные нестационарные

временные ряды, учитывая многочисленные коррелированные процессы.

Важными этапами алгоритма являются:

1. Подготовка данных и разделение нейронов на входные, скрытые и выходные.
2. Инициализация весов между нейронами и выбор функции активации (биполярная сигмоида).
3. Вычисление значений в нейронах скрытого и выходного слоев с использованием функций активации.
4. Обучение нейросети с помощью алгоритма обратного распространения ошибки, включая коррекцию весов.
5. Прогнозирование будущих значений функции на основе обученной нейросети.
6. Внедрение «подмешивания» других входных параметров для учета их взаимодействия и корреляции.

Алгоритм также предоставляет возможность нормализации разнородных данных, что позволяет учесть различные размерности прогнозируемых параметров.

Основной новизной алгоритма является вычисление совместных весов при формировании прогноза с «подмешиванием», что позволяет учесть взаимодействие различных входных параметров в прогнозе.

Дополнительно была представлена возможность выбора различных видов активационной функции и определения точки начала прогноза (точки входа), что расширяет настройки и гибкость алгоритма.

Результаты этой работы позволяют более эффективно и точно прогнозировать сложные системы, учитывая множество входных факторов, и могут быть применены в различных областях, таких как финансовая аналитика, экономическое прогнозирование и многие другие, где необходимо учесть взаимосвязанные данные для успешных прогнозов.

Работа выполнена при поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (гос. задание № FMWE-2021-0003). Авторы выражают благодарность за ценные замечания при подготовке статьи д. т. н., профессору В. В. Бушуеву.

MULTIFACTOR NEURAL NETWORK FORECASTING: DEVELOPMENT OF A REFINED ALGORITHM

Solovjev Dmitry, Shirshov Institute of Oceanology, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia, senior researcher, Ph.D. E-mail: solovjev@ocean.ru

Sokotushchenko Natalya, Dubna State University, Moscow, Russia, department manager. E-mail: sokotushchenko.nat@mail.ru

Abstract. This article presents a new refined algorithm for multifactor neural network forecasting, developed to analyze interconnected factors in dynamic multivariate systems. The algorithm is based on the integration of “mixed” functions. The results of the algorithm enable more accurate modeling and forecasting of complex non-stationary time series, with a wide range of applications in financial analysis, economic forecasting, and many other fields. The algorithm under consideration represents an important step in the development of neural network forecasting methods and can be valuable for researchers and practitioners working in the field of time series analysis and multidimensional data.

Keywords: neural network forecasting, refined algorithm, multifactor analysis, time series, interconnected systems.

Библиографический список

1. McCulloch W.S., Pitts W. A logical calculus of the ideas immanent in nervous activity // The bulletin of mathematical biophysics. 1943. (5). С. 115–133.
2. Orbach J. Principles of neurodynamics. Perceptrons and the theory of brain mechanisms // Archives of General Psychiatry. 1962. № 3(7). С. 218–219.
3. Rumelhart D.E., Hinton G.E., Williams R.J. Learning representations by back-propagating errors // nature. 1986. № 6088(323). С. 533–536.
4. Krizhevsky A., Sutskever I., Hinton G.E. ImageNet classification with deep convolutional neural networks // Communications of the ACM. 2017. № 6(60). С. 84–90.
5. Goodfellow I., Bengio Y., Courville A. Deep learning MIT press, 2016.
6. Бушуев В.В., Сокотушенко В.Н. Интеллектуальное прогнозирование // Москва: Энергия, 2015.
7. Хайкин С. Нейронные сети: полный курс, 2-е издание // Издательский дом Вильямс, 2008.
8. Нейронные сети для начинающих. Часть 2 / Хабр. 2017. [Электронный ресурс]. – URL: <https://habr.com/ru/articles/313216/> (дата обращения: 20.11.2023).

Bibliography:

1. McCulloch W.S., Pitts W. A logical calculus of the ideas immanent in nervous activity // The Bulletin of Mathematical Biophysics. 1943. (5). P. 115–133.
2. Orbach J. Principles of neurodynamics. Perceptrons and the theory of brain mechanisms // Archives of General Psychiatry. 1962. No. 3(7). P. 218–219.
3. Rumelhart D.E., Hinton G.E., Williams R.J. Learning representations by back-propagating errors // Nature. 1986. No. 6088(323). P. 533–536.
4. Krizhevsky A., Sutskever I., Hinton G.E. ImageNet classification with deep convolutional neural networks // Communications of the ACM. 2017. No. 6(60). P. 84–90.
5. Goodfellow I., Bengio Y., Courville A. Deep Learning. MIT Press, 2016.
6. Bushuev V.V., Sokotushchenko V.N. Intelligent Forecasting. Moscow: Energiya, 2015.
7. Haykin S. Neural Networks: A Comprehensive Foundation, 2nd edition // Williams Publishing House, 2008.
8. Neural Networks for Beginners. Part 2 / Habr. 2017. [Electronic resource]. – URL: <https://habr.com/en/articles/313216/> (accessed: November 20, 2023).

АВТОМАТИЗАЦИЯ АРМИРОВАНИЯ КУПОЛЬНЫХ ДОМОВ

Кибикин Никита
Магистрант, кафедра
информационных систем
технологий и автоматизации
в строительстве,
Национальный
исследовательский
Московский государственный
строительный университет
E-mail: i@kibikin.ru

Шилова Любовь
Доцент, к. т. н, кафедра
информационных систем
технологий и автоматизации
в строительстве, НИИ
строительных материалов
и технологий, Национальный
исследовательский
Московский государственный
строительный университет
E-mail: ShilovaLA@mgsu.ru

Аннотация. В статье рассматривается актуальность применения технологий информационного моделирования в процессе автоматизации армирования купольных домов. В работе анализируются текущие подходы к проектированию купольных конструкций, выявляются основные трудности и ограничения. Отмечено, что интерес к купольным зданиям в последнее время обусловлен активным развитием аддитивного строительного производства – 3D строительной печатью. Авторами разработан скрипт, основанный на использовании алгоритмического информационного моделирования для генерации схемы армирования, которая затем интегрируется в BIM-модель здания. Предложенное решение позволяет существенно сократить время и ресурсы, необходимые для разработки проекта. Апробация предложенного решения проведена на примере купольного здания. Для тестирования использовались несущие конструкции. Результаты исследования могут быть полезны для дальнейшего развития интеграции информационно-цифровых технологий в архитектурно-строительной практике.

Ключевые слова:

BIM-технологии, визуальное программирование, купольные дома, автоматизация проектирования, армирование конструкций.

Введение

Купольные дома не так давно приобрели популярность на территории бывшего Советского Союза, хотя западные страны применяют эту технологию строительства десятилетиями. Сферические дома достаточно оригинальны и эргономичны, поэтому подходят как для временного, так и для постоянного проживания. Такой дом может создать максимально комфортные условия для жизни.

Вместе с тем использование купола возможно не только для жилых зданий, но и при строительстве складов, хранилищ, ферм, гаражей, спортивных залов, аквапарков, стадионов, кинотеатров, школ, заводов, фабрик, планетариев, цирков.

Купольный дом представляет собой технологически сложную конструкцию, в процессе возведения которого возникает ряд трудностей. Наиболее важной из них является вопрос обеспечения нормативной прочности конструкции, которая подвергаются изгибу, растяжению или кручению. Указанные факторы оказывают негативное влияние на прочность неукрепленных конструкций. Для повышения прочностных характеристик сооружения, материал укрепляют с помощью армирования.

Цель данной работы сводится к разработке подхода по автоматизации процесса построения сетки армиро-

вания для купольных домов для сокращения сроков подготовки проектной документации.

Анализ теории и практики армирования купольных домов

Возможность применения природных материалов, таких как дерево или камень, а также новых строительных технологий (аддитивного строительного производства или 3D печати бетоном), привела к реализации проектов купольных домов. Купольный каркас имеет ряд преимуществ и может использоваться в различных целях [1, 2]:

1. Максимальный внутренний объем по отношению к одинаковой полезной площади дома прямоугольной формы.
2. Короткие сроки строительства.
3. Сокращение расхода строительных материалов (по экспертным оценкам для возведения купольного дома необходимо на 40–50% меньше материала по сравнению с домом прямоугольной формы) [1].
4. Отсутствие опасных зон внутри здания за счет равномерного распределения нагрузок по всей площади купола дома (при учете снеговых нагрузок).
5. Низкие теплопотери по сравнению с домом прямоугольной формы.

Купольный дом – это технологически сложное сооружение, в процессе возведения которого возникает ряд трудностей, в частности обеспечение прочности конструкции

6. Уникальный внешний вид.
7. Снижение финансовых затрат за счет отсутствия необходимости привлечения сложных машин и механизмов, большого количества рабочих при возведении здания.
8. Аэродинамика куполов.
9. Сферические формы зданий усиливают свет в отличие от прямоугольных, которые его поглощают.

Вместе с тем «возведение купольного здания непростой процесс, поскольку купольные дома имеют свои особенности в зависимости от типа здания или формы купола, а также технологии строительства и используемых материалов» [1].

При этом в качестве основы могут быть использованы различные виды куполов.

Сборный купольный дом или геодезический купол используется для разбивки пространства на секции, причем прочность конструкции зависит от того, как часто сделана разбивка [1]. Такая конструкция считается устойчивой из-за сетчатого распределения нагрузки и может быть расположена на различных видах грунта, в то же время можно сделать различное количество входов, убрав несколько перемычек, и окон в крыше или стенах для реализации индивидуальных дизайнерских решений.

Однако есть и недостатки, например, окна можно сделать только одной – треугольной формы, а многие специфические компоненты нужно изготавливать только под заказ для конкретного объекта.

Каркас стратодезического купола монтируют из отдельных секций трапециевидальной формы, где вертикальные элементы каркаса соединяются при помощи металлических «замков». Технология, как правило, применяется при возведении деревянных домов, т. к. недостатком такой конструкции является меньшая по сравнению с геодезическим куполом устойчивость.

Пример сборного купольного дома представлен на рис. 1а, на рис. 1б – пример напечатанного дома.

Вместе с тем «с точки зрения статической работы оболочки под нагрузкой наи-

более выгодно безмоментное напряженное состояние, условиям существования которого являются: плавность изменения толщины оболочки, радиуса кривизны ее меридиана и направления касательной к нему, упругие свойства материалов, а также плавность изменения нагрузки, действующей на оболочку. Перемещение краев оболочки как радиальное, так и угловое должно быть свободным. Краевые меридиональные усилия необходимо направлять по касательной к меридиану. В этом случае края оболочки будут находиться в условиях статической определенности. При нарушении названных условий решение задачи о расчете оболочки может быть получено путем суммирования напряжений безмоментного состояния с напряжениями, определяемыми с помощью моментной теории. Основной метод расчета оболочек по безмоментной теории основан на том, что оболочка работает как тонкая мембрана и поэтому подвержена только нормальным силам, действующим внутри поверхности. На практике это положение можно принять в отношении всего купола оболочки, кроме участков, прилегающих к бортовым элементам» [3].

Использование технологий информационного моделирования при армировании элементов строительных конструкций

Технология информационного моделирования (ТИМ) – это концепция, которая охватывает все этапы жизненного цикла здания или сооружения, в зарубежной литературе используется термин Building information modelling (BIM).

Сегодня технологии информационного моделирования активно используются в строительной отрасли и являются неотъемлемой частью ее цифровой трансформации. Вместе с тем ТИМ в основном используется для проектирования зданий, т. е. на этапе подготовки к строительству, на котором разрабатывается 3D-модель здания и определяется ход всего строительного проекта.



а) сборный купольный дом



б) напечатанный на 3D-принтере дом из глины, воды, волокон рисовой шелухи



Рис. 1. Примеры купольных домов
Источник: <https://novate.ru/blogs/220521/59002/>

Использование ТИМ предполагает полный комплексный подход на всех уровнях строительного процесса и соответственно на всех этапах жизненного цикла объекта строительства. К преимуществам можно отнести [4]:

- сокращение сроков подготовки проектной документации;
- снижение вероятности возникновения ошибок и коллизий;
- обеспечение наглядности расчетов строительных конструкций;
- возможность управления данными;
- снижение финансовых затрат;
- проверка соответствия параметров и эксплуатационных характеристик возведенного здания требованиям заказчика.

В то же время, ТИМ дает возможность представлять здание в виде единого объекта, в котором все элементы связаны и взаимозависимы [5]. При этом все данные должны вноситься согласно установленным стандартам, поскольку если какой-то элемент системы изменится, изменятся и все связанные с ним данные.

ТИМ позволяет объединить в одном проекте данные по архитектуре, инженерным и экономическим решениям, что помогает не только избежать ошибки и коллизии, но также повысить эффективность проекта.

При этом идея создания информационной модели появилась еще в 70-х гг. прошлого века, а термин «строительная модель» впервые использован С. Раффлом в 1985 г. Понятия же «информационная модель зданий» описано впервые в статье Г. Ааса Ван Недервина и Ф. П Толмана «Модельные множественные обзоры на зданиях».

Однако привычный смысл данного термина появился только в 2002 г. Он начал использоваться для обозначения цифрового представления строительного объекта. Очевидно, что использование ТИМ значительно изменило способы и методы взаимодействия между архитекторами, проектировщиками и инженерами, а внедрение ТИМ в области армирования железобетонных конструкций позволит существенно сократить сроки работы над проектом.

Вместе с тем, на мировом рынке представлен широкий спектр программного обеспечения, которое используется в процессе создания информационных моделей объектов капитального строительства и выполняет аналогичные задачи, но имеет различия в процессе реализации проекта.

Так, программный продукт ArchiCAD использует концепцию BIM («Building Information Modeling»). При этом связь Grasshopper предполагает динамические ссылки для использования параметрической геометрии, чтобы управлять вручную конфигурацией BIM элементов в ArchiCAD. Система преобразует геометрию Rhino/Grasshopper прямо в BIM элементы GDL, сохраняя контроль над автоматизированным проектированием через Grasshopper [6–8].

К началу 2000-х гг. у архитекторов появилось новое поколение цифровых инструментов – сред, позволяющих создавать собственные инструменты и алгоритмы из набора простых функций, компонентов или библиотек. Как раз к такой среде относится Grasshopper – плагин для Rhino, которые представляют собой инструменты

нодового, или визуального, программирования.

Через активное подключение скрипты/правки Grasshopper могут быть просмотрены в окне Rhino, а затем импортироваться непосредственно в определенный 2D или 3D элемент ArchiCAD. При редактировании скриптов или значений Grasshopper BIM модель и связанные с ней компоненты будут автоматически обновлены в ArchiCAD.

Кроме того, можно отправить изменения геометрии, сделанные в ArchiCAD, обратно в Rhino/Grasshopper, которые тоже автоматически обновятся. Однако, если необходимо получить доступ к любой из функций BIM редактирования в ArchiCAD, используя связь Grasshopper, геометрия должна быть отделена.

Однако, это сложное, на первый взгляд, решение экономит значительное время, которое пришлось бы потратить на разработку встроенной поддержки. При этом более глубокая интеграция может быть осуществима без прямого участия Rhino.

Поскольку скрипты Grasshopper не хранятся в базе данных ARCHICAD BIM, появляется

необходимость управлять и работать с различными файлами, созданными в разных приложениях. Rhino также является мощным инструментом для промышленного моделирования и может создавать слишком «тяжелую» для AEC геометрию, ArchiCAD разбивает ее на отдельные BIM-элементы.

Разработка скрипта для армирования конструкций купольных домов

Алгоритм армирования конструкции подразумевает под собой несколько блоков (этапов) работы, включая перенос геометрии стены из информационной модели ArchiCAD в среду Rhino (1), преобразование геометрии в подходящий формат (2), отсечение ненужных граней от полученной геометрии (3), выделение граней необходимых для получения сетки (4), создание профиля для используемой арматуры (5), выдавливание профиля по сетке армирования (6), перенос полученной арматурной сетки в ArchiCAD (7).

Рассмотрим формирование скрипта в соответствии с алгоритмом, описанным ранее.

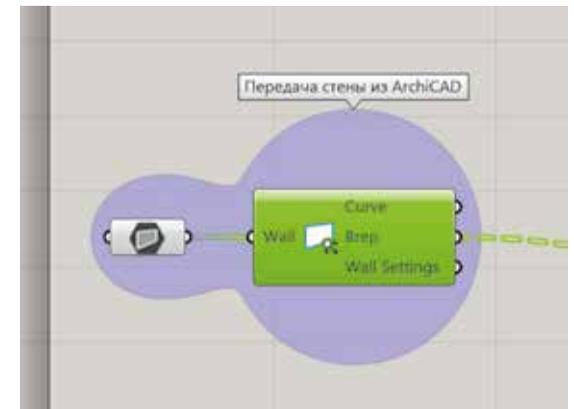


Рис. 3. Передача стены из ArchiCAD в Rhino

На этапе (1) осуществляется перенос геометрии стены здания из информационной модели ArchiCAD в среду Rhino. Для переноса геометрии стены из информационной модели ArchiCAD в среду Rhino используется нод ArchiCAD Wall. Пользователю необходимо выбрать из проекта, созданного в ArchiCAD, стену купольного дома, которую необходимо армировать. Может быть выбрана одна или

Рис. 2. Геометрия стены в Rhino

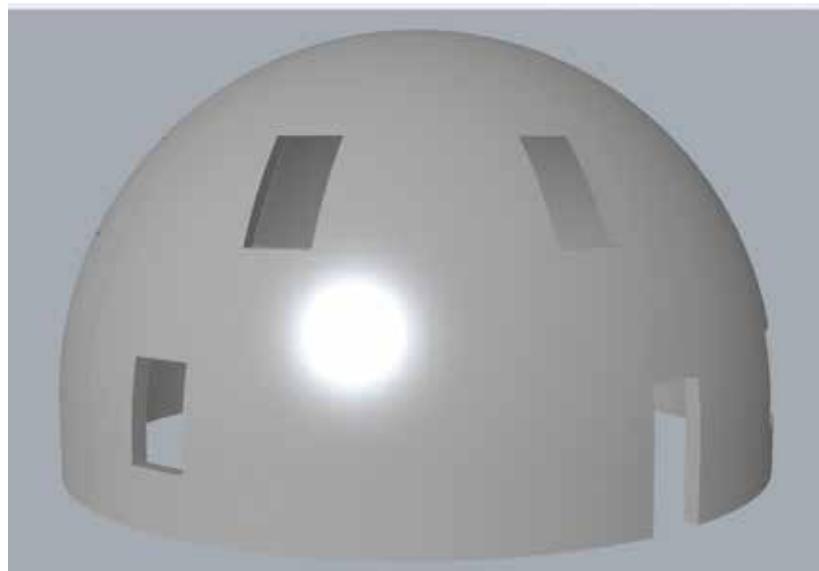
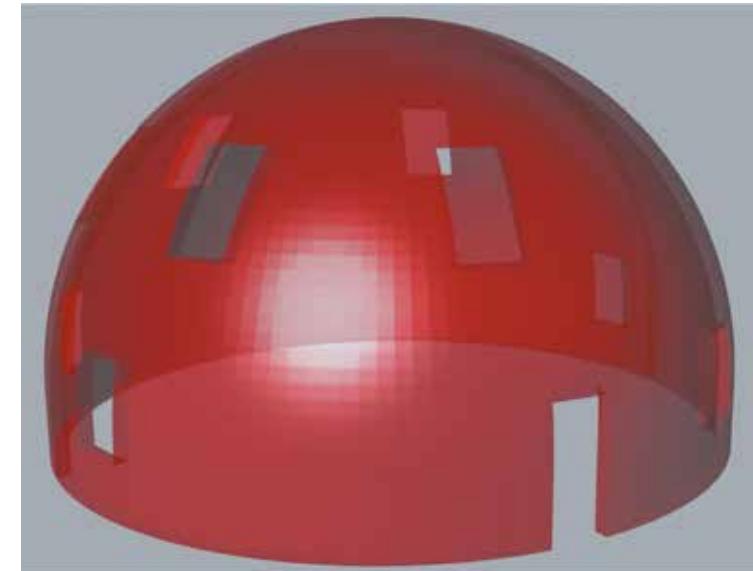


Рис. 4. Передача стены из ArchiCAD в Rhino



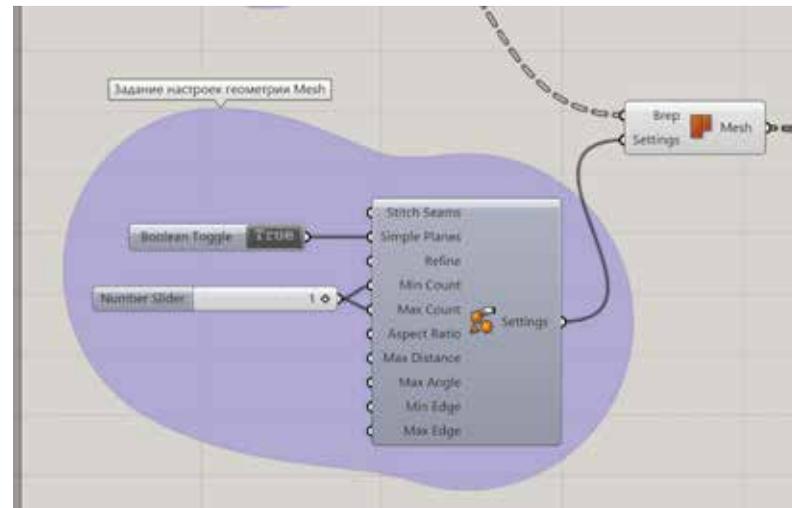


Рис. 5. Преобразование геометрии Brep в Mesh

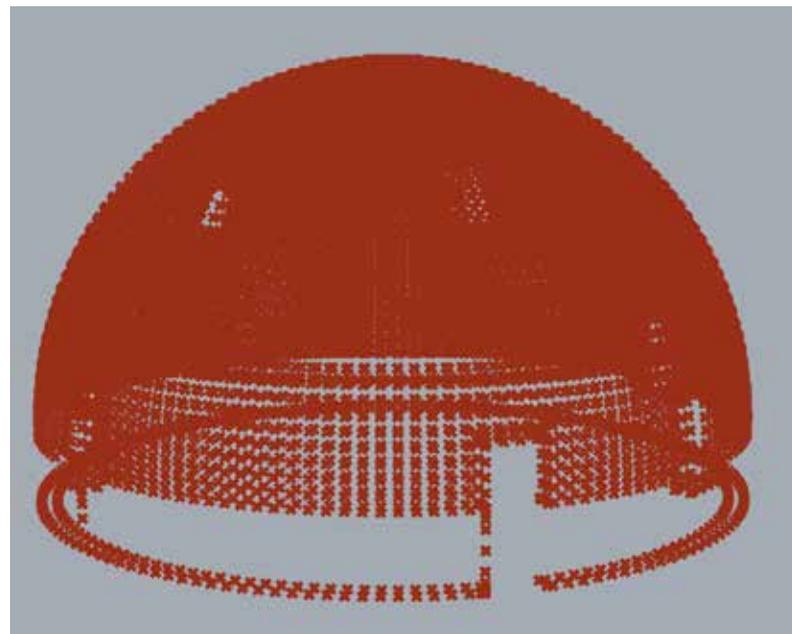


Рис. 6. Множество вершин геометрии стены

несколько стен. На рис. 2 показаны стены, перенесённые в среду Rhino.

Далее необходимо «разобрать» стены на составляющие. С помощью ноды Deconstruct Wall получаем на выходе опорную линию, геометрию и свойства стены. Для следующего этапа нам понадобится геометрия стены. На рис. 3 представлена часть скрипта, отвечающая за этот этап.

На этапе (2) необходимо провести преобразование геометрии в подходящий формат с использованием ноды Mesh Brep.

BREP (Boundary REPresentation) – аббревиатура, обозначающая объекты, представленные ограничивающими поверхностями. При этом, тип объекта неважен.

Поскольку на предыдущем этапе была получена геометрия стены BREP, для дальнейшей работы необходимо преобразовать её в mesh геометрию. Полигональная сетка (mesh) – это совокупность вершин, ребер и граней, которые определяют форму многоугольника в трехмерной компьютерной графике или трехмерном моделировании на основе объемного моделирования. Преобразование нужно для дальнейшей детальной настройки геометрии. На рис. 4 показана полученная после преобразования геометрия.

Далее используются ноды Settings (custom), Boolean Toggle, Number Slider. Нод Settings (custom) представляет пользовательские настройки сетки. Вход Simple Planes при установке True плоские грани будут иметь сетку с минимальным количеством треугольников. Поскольку для построения сетки армирования нужны прямоугольные секции, настраиваем геометрию на минимальное количество треугольников. Так же настраиваем минимальное и максимальное количество квадратов в исходной сетке на одну грань. На рис. 5 представлена часть скрипта, отвечающая за этот этап.

Отсечение ненужных граней от полученной геометрии происходит на этапе (3). Для отсечения ненужных граней от полученной геометрии используется нод Deconstruct Mesh, который позволяет «разобрать» сетку на комплектующие: вершины, поверхности,





а) исключение треугольных поверхностей из геометрии б) Получение граней из геометрии

Рис. 7. Части скрипта для этапов 4 и 5

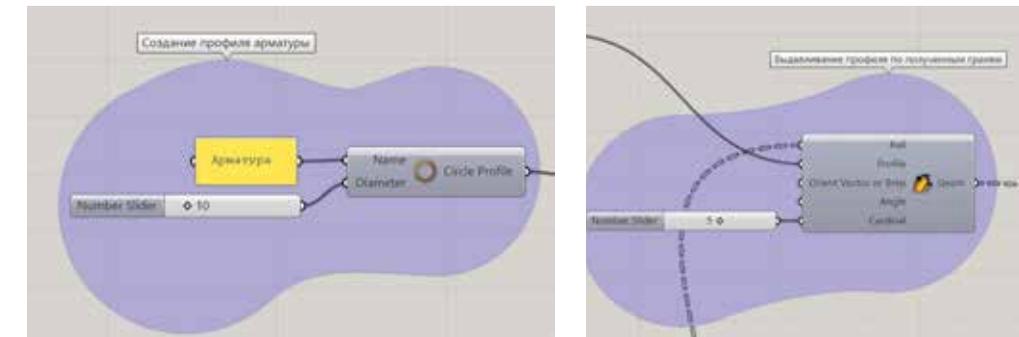
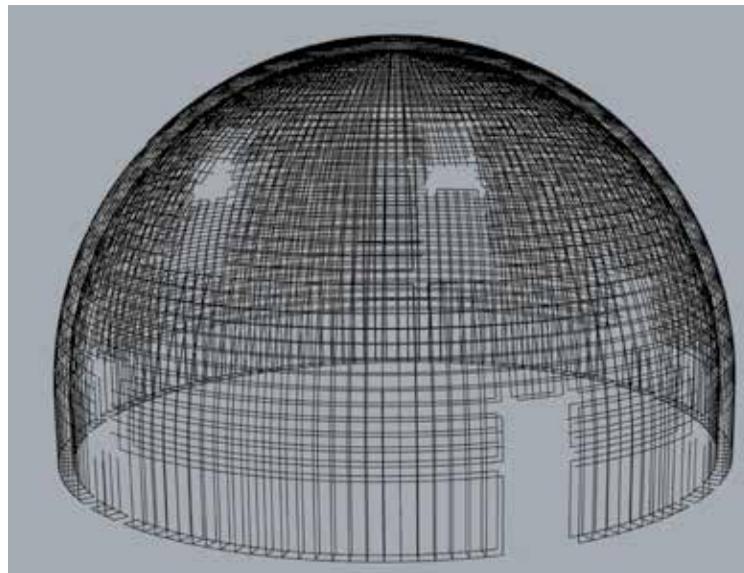
цвет и нормали. На рис. 6 представлено множество вершин геометрии стены.

Нод Match Text находит определённый текст в списке данных, в данном случае, список данных представлен списком поверхностей, из которых состоит геометрия стены. При нахождении в этом списке треугольной поверхности он заполняет свой список, в котором на месте всех треуголь-

ных поверхностей будет стоять True. Далее этот список передаётся на следующий нод Cull Faces, который удаляет поверхности по предыдущему списку, не оставляя треугольных поверхностей в полигональной сетке. На рис. 7а представлена часть скрипта, отвечающая за этот этап.

Для выделения граней необходимых для получения сетки используются ноды Mesh

Рис. 8. Грань из геометрии



а) создание профиля арматуры

б) выдавливание профиля по полученным граням

Рис. 9. Части скрипта для этапов 5 и 6

Edges, Curve (этап 4). Нод Mesh Edges предоставляет грани сетки, а нод Curve преобразует их в кривую. На рис. 7б представлена часть скрипта, отвечающая за этот этап. На рис. 8 показаны выделенные грани.

Таким образом, получилась сетка, к которой необходимо применить профиль арматуры (5). Для создания профиля арматуры используются ноды ggProfileC подключаемого модуля BullAnt, Panel, Number Slider.

BullAnt – это подключаемый модуль Rhino3d/Grasshopper, предназначенный в первую очередь для архитекторов и инженеров, включающий инструменты вычислительного проектирования для улучшения

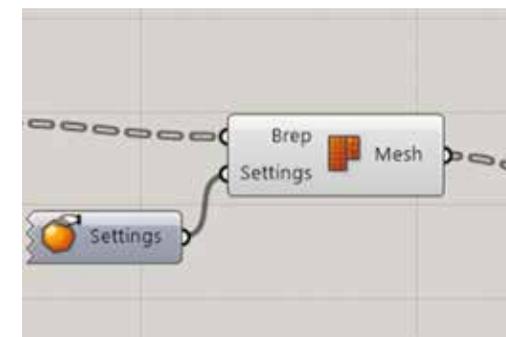
и расширения Rhino/Grasshopper. Этот нод создаёт профиль круглого сечения.

На рис. 9а представлена часть скрипта, отвечающая за этот этап, а на рис. 9б представлена часть скрипта, отвечающая за выдавливание профиля по полученным граням.

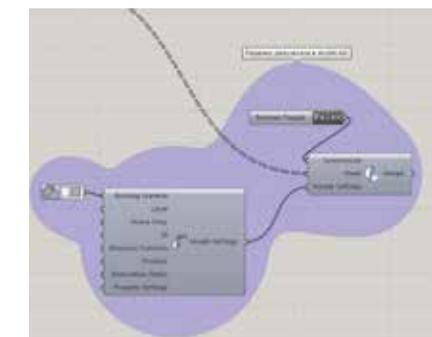
Для выдавливания профиля по сетке армирования (этап 6) используются ноды ggSweepProfile подключаемого модуля BullAnt, Number Slider. Профиль вытягивания ggSweepProfile на кривой позволяет создать представление элемента конструкции в виде вытянутой поверхности вдоль кривой.

Далее необходимо обеспечить перенос полученной арматурной сетки в ArchiCAD (этап

Рис. 10. Части скрипта для этапов 7 и 8



а) преобразование геометрии



б) перенос результата в ArchiCAD

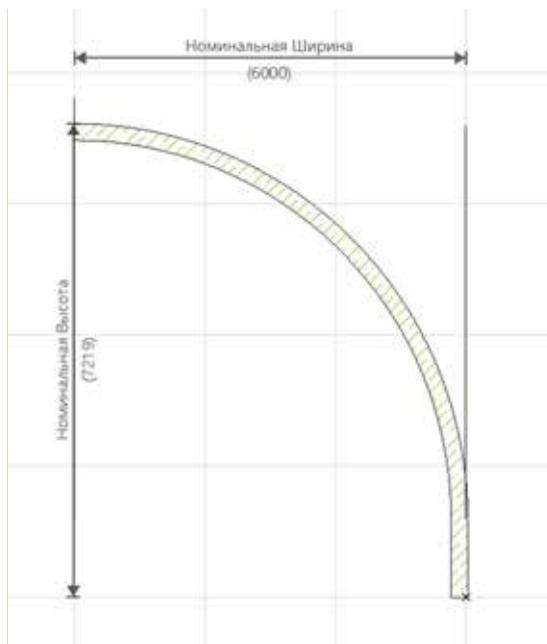


Рис. 11. Сложный профиль стены дома

7) с использованием нодов Settings (Speed), Mesh Brep.

Прежде чем перенести полученную геометрию, необходимо снова её преобразовать. Нод Morph Solid принимает на вход только Mesh геометрию, которую можно реализовать с использованием нода Mesh Brep и преобразовать Brep геометрию в Mesh геометрию. Нод Settings (Speed) позволит сделать детализацию стержней менее проработанной, на рис. 10а представлена часть скрипта, отвечающая за преобразование, а на рис. 10б – часть скрипта, отвечающая за перенос результата в ArchiCAD.

Далее используются ноды Morph Settings, Morph Solid, Boolean Toggle, Building Material.

Morph Settings определяет свойства Morph в ArchiCAD. В данный нод подключаем нод Building Material, который определяет из какого материала будет состоять Morph. Нод Morph Solid будет переносит полученную с предыдущего этапа геометрию сетки в виде Morph в ArchiCAD.

Полученный скрипт необходимо протестировать.

Построение информационной модели купольного дома для апробации разработанного скрипта

Тестовое здание разработано в программе ArchiCAD. Для построения купольного дома использовался инструмент «стена» со сложным профилем. На рис. 11 представлен профиль стены. Для тестирования используются несущие конструкции (рис. 12).

Для применения скрипта к модели необходимо включить Live Connection. Далее выбираем стены, которые необходимо армировать. Стоит заметить, что, используя возможности Grasshopper, выбрать можно несколько стен. Результат работы скрипта представлен на рис. 13а, а на рис. 13б представлен результат работы скрипта в разрезе.

Выводы

Идеология информационного моделирования – это концепция, охватывающая весь жизненный цикл здания или сооружения, для реализации которой используется различное программное обеспечение, поддерживающее технологию информационного моделирования. Сегодня нет единого инструмента позволяющего обеспечить все возможности концепции информационного моделирования и на разных этапах жизненного цикла объекта капитального строительства используются различные решения.

Вместе с тем каждое программное обеспечение имеет свои недостатки и свои преимущества, поэтому конструкторы ищут новые способы создания арматурных каркасов.

Одним из способов создания таких алгоритмов (скриптов) является визуальное программирование в среде Grasshopper для Rhino.

Инструменты взаимодействия Rhino-Grasshopper-ARCHICAD – это набор расширений, который позволяет осуществлять двусторонний обмен геометрией на этапе эскизного проектирования и дает возмож-

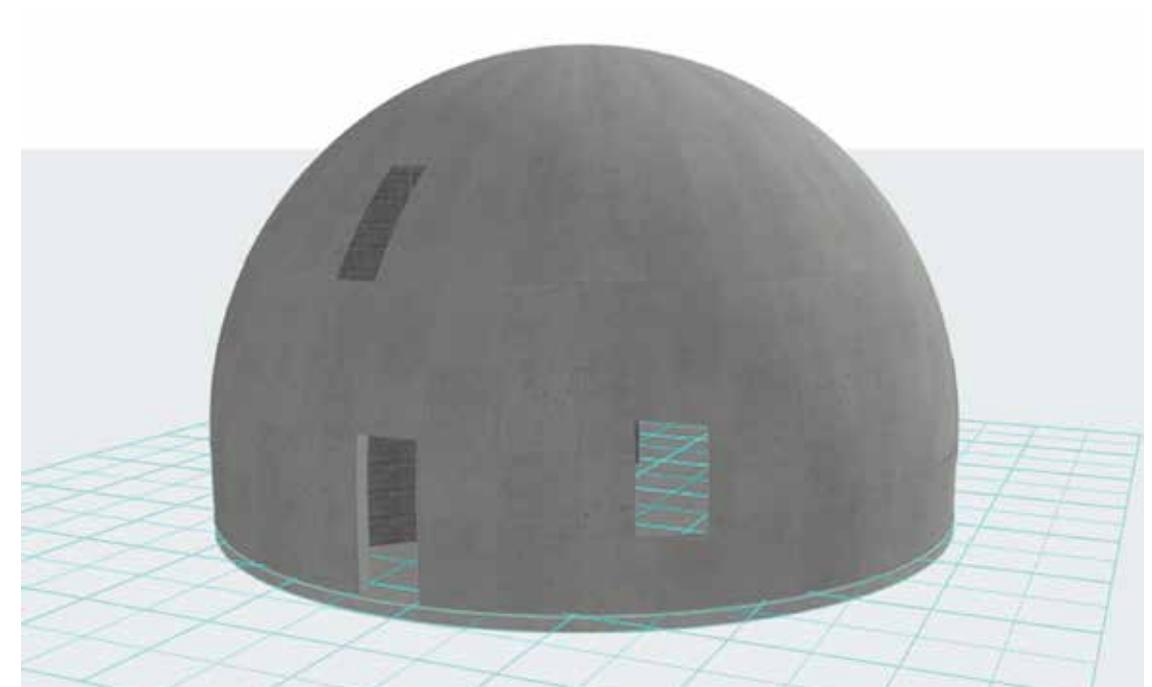
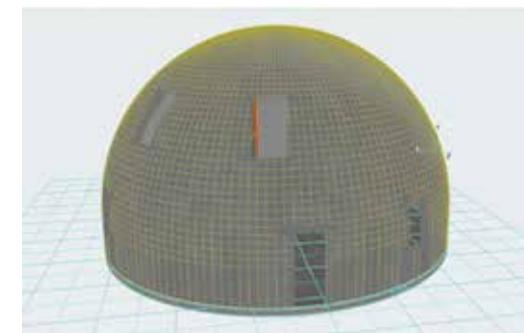


Рис. 12. Тестовая модель несущих конструкций здания

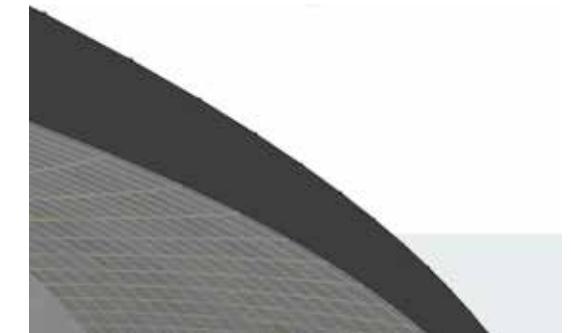
ность преобразовывать базовые геометрические формы в полноценные BIM-элементы, поддерживающие алгоритмическое редактирование.

При этом пока не существует идеального программного продукта для армирования конструкций, создание скриптов для этой цели является актуальной задачей.

Рис. 13. Результаты работы скрипта



а) применение скрипта к модели



б) участок модели после применения скрипта

REINFORCEMENT AUTOMATION OF DOMED HOUSES

Kibikin Nikita, Master's Student, Department of Information Systems Technologies and Automation in Construction, National Research Moscow State University of Civil Engineering. E-mail: KibikinNS@mgsu.ru

Shilova Lyubov, PhD in Technical Sciences, Associate Professor, Department of Information Systems Technologies and Automation in Construction, Research Institute of Building Materials and Technologies, National Research Moscow State University of Civil Engineering. E-mail: ShilovaLA@mgsu.ru

Abstract. The article discusses the relevance of the application of information modeling technologies in the process of automating the reinforcement of domed houses. The paper analyzes current approaches to the design of dome structures, identifies the main difficulties and limitations. It is noted that the interest in domed buildings has recently been due to the active development of additive construction production – 3D building printing. The authors have developed a script based on the use of algorithmic information modeling to generate a reinforcement scheme, which is then integrated into the BIM model of the building. The proposed solution allows you to significantly reduce the time and resources required for project development. The proposed solution was tested using the example of a domed building. Load-bearing structures were used for testing. The results of the study can be useful for further development of the integration of information and digital technologies in architectural and construction practice.

Keywords: BIM technologies, algorithmic modeling, dome houses, design automation, reinforcement of structures.

Библиографический список

1. Зубарева Г.И., Соргутов И.В. Уникальный купольный дом // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Строительство и архитектура. 2019. №1. Т.10. С. 134–142.
2. Попова Е.И., Бащенко Н.Н., Сорвачев А.И., Чуприна О.Д. Поверхность купола как элемент энергоэффективности ограждающих конструкций // Вестник Сибирского государственного политехнического университета. 2017. № 2 (20). С. 30–34.
3. Беляшева Нелли Леонтьевна. Прочность и устойчивость элементов ребристого купола из клефанерных труб с меридиональными и кольцевыми затяжками : Дис. ... канд. техн. наук : 05.23.01 : Великий Новгород, 2004 212 с. РГБ ОД, 61:04-5/3543.
4. Кобляков И.В. Ресурсы и этапы технологии информационного моделирования зданий и сооружений BIM / В сб. научных трудов 4-й Международной научно-практической конференции молодых ученых, аспирантов, магистров и бакалавров // Юго-Западный государственный университет. 2020 «Проектирование и строительство». 2020. С. 160–163.
5. Синявская В.В. Информационное моделирование зданий // Студенческий вестник. №31-2(176). 2021. С. 32–34.
6. Интеграция программ ARCHICAD и Rhino-Grasshopper // URL: <https://infars.ru/blog/preimushhestva-integracii-programm-ArchicAD-i-rhino-grasshopper/> (дата обращения: 17.05.2022).
7. Преимущества интеграции ARCHICAD и Grasshopper // URL: https://isicad.ru/ru/articles.php?article_num=18369 (дата обращения: 17.05.2022).
8. Возможности ArchiCAD // URL: <https://www.softmagazin.ru> (дата обращения: 17.05.2022)

Bibliography:

1. Zubareva G.I., Sorgutov I.V. Unique domed house // Bulletin of the Perm National Research Polytechnic University. Construction and architecture. 2019. No.1. Vol.10. pp. 134-142.
2. Popova E.I., Baschenko N.N., Sorvachev A.I., Chuprina O.D. Dome surface as an element of energy efficiency of enclosing structures // Bulletin of the Siberian State Polytechnic University. 2017. No. 2 (20). pp. 30-34.
3. Belyasheva Nelly Leontievna. Strength and stability of the elements of a ribbed dome made of glued plywood pipes with meridional and annular puffs : Dis. ... Candidate of Technical Sciences : 05.23.01 : Veliky Novgorod, 2004 212 p. RCB OD, 61:04-5/3543.
4. Koblyakov I.V. Resources and stages of information modeling technology for buildings and structures BIM / In the collection of scientific papers of the 4th International Scientific and Practical Conference of Young scientists, postgraduates, masters and bachelors // Southwestern State University. 2020 «Design and construction». 2020. pp. 160-163.
5. Sinyavskaya V.V. Information modeling of buildings // Student Bulletin. No.31-2(176). 2021. pp. 32-34.
6. Integration of ARCHICAD and Rhino-Grasshopper programs // URL: <https://infars.ru/blog/preimushhestva-integracii-programm-ArchicAD-i-rhino-grasshopper/> (accessed: 05/17/2022).
7. Advantages of ARCHICAD and Grasshopper integration // URL: https://isicad.ru/ru/articles.php?article_num=18369 (accessed: 05/17/2022).
8. ArchiCAD features // URL: <https://www.softmagazin.ru> (date of application: 05/17/2022)



УДК 69:006.1

DOI 10.52815/0204-3653-2023_5194_27
EDN: JWTBVX

РАБОТА С АТТРИБУТИВНЫМИ ДАННЫМИ ЭЛЕМЕНТОВ ИНФОРМАЦИОННОЙ МОДЕЛИ

Пестрикова Анастасия
Ведущий специалист
по информационному
моделированию зданий, BIM-
менеджер, ООО «Проект СПиЧ»
E-mail: A.Pestrikova@speech.su

Адамцевич Любовь
Доцент, к. т. н., кафедра
информационных систем
технологий и автоматизации
в строительстве, НИИ
строительных материалов
и технологий, Национальный
исследовательский Московский
государственный строительный
университет
E-mail: AdamtsevichLA@mgsu.ru

Аннотация. Активное развитие технологий Индустрии 4.0 привело к цифровой трансформации строительной отрасли, где ключевыми становятся такие технологии, как информационное моделирование зданий и сооружений, аддитивное строительное производство, методы машинного обучения, большие данные, киберфизические системы и др. Активное внедрение указанных технологий может быть затруднено ввиду ограничений существующего программного обеспечения. Статья посвящена анализу проблем работы с атрибутивными данными элементов информационной модели на примере объекта жилищно-гражданского назначения. Для решения проблемы авторами предлагается внедрение системы автоматизированных проверок атрибутивных данных элементов информационной модели объекта капитального строительства, разработанной для отечественного ПО Renga. Использование автоматизированной системы при проверке атрибутивных данных информационной модели в значительной степени упрощает рабочий процесс, а также уменьшает трудовые и временные ресурсы.

Ключевые слова:

атрибутивные данные, технологии информационного моделирования, BIM, Renga, Индустрия 4.0.

Введение

Активное развитие технологий Индустрии 4.0 привело к цифровой трансформации строительной отрасли, где ключевыми становятся такие технологии, как информационное моделирование зданий и сооружений, аддитивное строительное производство, методы машинного обучения и др. [1].

Данная статья посвящена вопросам внедрения технологий информационного моделирования в России и решению проблем, возникающих при работе с атрибутивными данными элементов информационной модели на примере объекта жилищно-гражданского назначения.

Основные требования к атрибутивному составу и содержанию элементов информационной модели

Информационная модель объекта капитального строительства формируется, как правило, на основе требований, изложенных в соответствующих нормативных документах,

которые рассмотрены авторами ранее в работе [2]. Обобщенная структура классификации требований к информационной модели (ИМ) представлена на рис. 1.

Если рассматривать укрупненную классификацию, то можно выделить общие требования к файлу, к составу и наполнению информационной модели, а также к координатам – размещению информационной модели – ее ориентации и позиционированию.

При этом под атрибутивной информативностью принимают характеристики моделируемого объекта, сформированные по требованиям к атрибутивному составу элементов информационной модели и отвечающие ограничениям действующей нормативно-технической документации. При этом должно быть осуществлено однозначное определение элементов ИМ и их связей для выбранного уровня проработки на каждом этапе жизненного цикла (ЖЦ) объекта капитального строительства (ОКС).

Вместе с тем, обязательные атрибуты можно укрупненно разделить на группы, описывающие характеристики типов элемен-

тов, состоящих в классах, и выделить такие группы, как архитектурно-конструктивные решения (которые и будут далее рассмотрены), электроснабжение, водоснабжение и пр.

Каждый класс элементов также может быть представлен в виде множества его составляющих – типов элементов, отражающих функциональное назначение (рис. 2).

Анализ процесса проверки атрибутивных данных

Для разработки системы автоматизированных проверок атрибутивных данных элементов информационной модели объекта капитального строительства необходимо провести анализ процесса проверки атрибутивных данных элементов в ИМ ОКС, который включает в себя комплексную оценку и валидацию атрибутивных данных, связанных с каждым элементом модели.

Начальным этапом процесса является идентификация элементов в информационной модели, которые содержат атрибутивные данные. Данные элементы представляют собой различные компоненты, такие как строительные элементы, конструктивные элементы, системы и другие объекты.

На следующем этапе проводятся анализ и проверка атрибутов на соответствие установленным стандартам, нормативным актам и требованиям проекта. На данном шаге цель аудита сводится к определению полноты, точности и согласованности атрибутивных данных элементов информационной модели. Именно на этом этапе возможно применение автоматизированных систем, например, для выполнения систематических проверок и выявления потенциальных проблем или несоответствий используются автоматизированные алгоритмы проверки и специализированное ПО.

Процесс проверки информационной модели позволяет установить соответствие содержания включенных в информационную модель атрибутивных и геометрических данных, в том числе, набору требований нормативных документов, требованиям заказчика и пр.

Рис. 2. Типы элементов класса архитектурно-конструктивных решений



Рис. 1. Классификация требований к информационной модели объекта капитального строительства





Рис. 3. Процесс аудита качества информационных моделей

Проверка ИМ на всех этапах жизненного цикла ОКС является важным аспектом, с позиций обеспечения сохранения корректности данных при передаче модели в работу другим участвующим в проекте специалистам и заинтересованным лицам.

Учитывая вышеизложенное процесс аудита качества информационных моделей можно представить в схеме, представленной на рис. 3.

В общем случае принципы контроля качества ИМ и ее элементов основаны на стандартизации и регламентации процессов информационного моделирования

и должны учитывать требования и правила государственных и отраслевых документов по стандартизации. Работа организаций, обеспечивающих реализацию ИМ ОКС, должна базироваться на стандартах в области информационного моделирования, внедренных в ней, обеспечивающих стандартизацию процессов информационного обмена как внутри организации, так и с внешними участниками проекта. Реализация проекта должна быть обеспечена на основе утвержденных планов, а также с использованием открытых форматов и схем данных, регламентов коллективной

работы в общей среде данных, с четким распределением ролей и функций участников проекта.

Вместе с тем состав обязательных проверок моделей может быть расширен в зависимости от уровня внедрения информационного моделирования в организации заказчика, навыков и опыта управляющих процессом моделирования, опыта руководителей проектов и исполнителей, наличия стандартов, практик и регламентов в области информационного моделирования, доступности программного обеспечения, наличия нормативных требований к проектным решениям и моделям в машиночитаемом формате, а также других факторов.

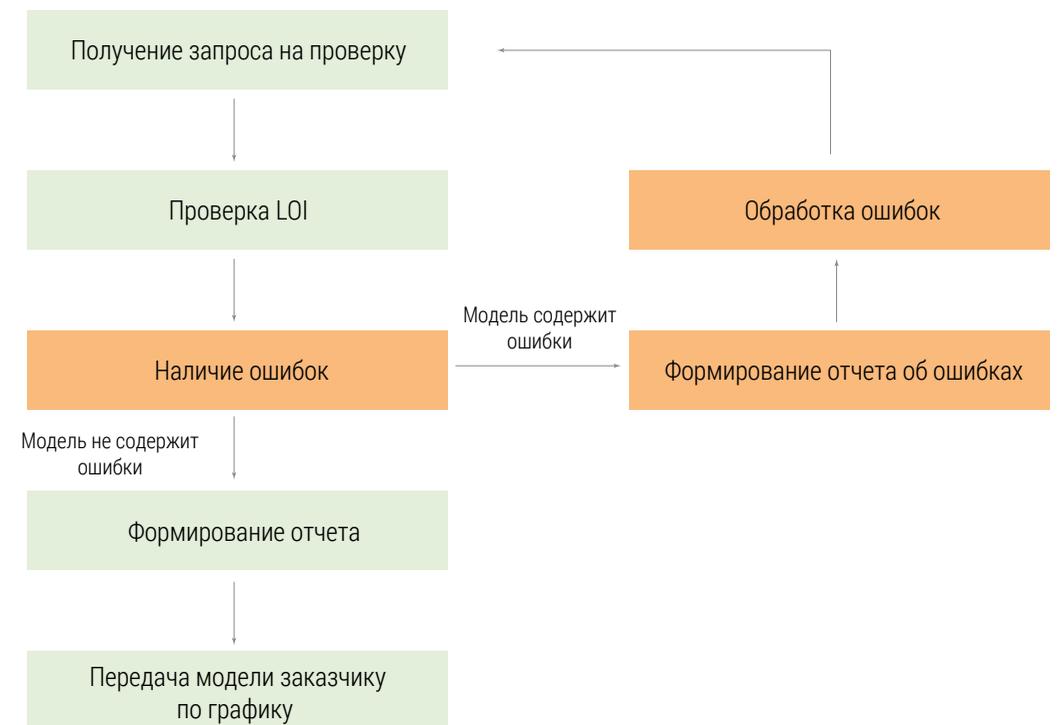
В соответствии с нормативными документами и регламентами организаций выделяют следующий набор обязательных проверок:

- проверки пространственного положения и геометрических параметров;
- проверки данных модели;
- проверки на коллизии.

Процесс проведения проверок можно представить в виде обобщенной схемы, представленной на рис. 4.

Как отмечено ранее, на этапах жизненного цикла ОКС проводить аудит информационных моделей необходимо регулярно, как для проверки корректности работы проектировщика, так и для сохранения преемственности данных при передаче модели в работу другим участвующим в проекте лицам. Однако в настоящее время проверка уровня проработки ИМ в соответствии с информационными требованиями заказчика вызывает ряд определенных затруднений, связанных с проработкой функционала программных инструментов, используемых в процессе формирования проверок.

Рис. 4. Обобщенная схема процесса проверки информационной модели



Обзор функционала существующих систем анализа атрибутивных данных

В настоящее время существует значительное количество ПО для валидации информационных моделей. Проведем обзор существующих систем анализа атрибутивных данных для определения их достоинств и недостатков.

Проведенный анализ выявил, что большинство программных решений предназначено для работы с моделями, выполненными либо в ПО Autodesk Revit, либо с моделями, выгруженными в открытый формат IFC без возможности редактирования элементов модели.

Обзор существующих программ, поддерживающих проверку атрибутивных данных, представлен в таблице 1.

При этом стоит отметить, что Revit Model Checker является плагином, осуществляю-

Таблица 1. Обзор существующих программ, поддерживающих проверку атрибутивных данных

Наименование продукта	Функционал	Недостатки
Model Checker	<ul style="list-style-type: none"> – одновременная проверка нескольких моделей; – проверка целостности модели; – наличие отчетности по выполненным проверкам с визуализацией процента выполненных условий проверки; – возможность выгрузки отчетов в форматах.html и.xls. 	<ul style="list-style-type: none"> – Ручной ввод параметров для проверки. – Отсутствие возможности отображения результатов проверки по нескольким условиям для одного элемента. – Отсутствие функционала анализа данных прошлых проверок для визуализации изменений модели.
Navisworks	<ul style="list-style-type: none"> – поиск пространственных коллизий, формирование отчетов; – просмотр атрибутивных данных элементов модели; – выгрузка объемов из модели; – построение 4D-графиков строительных работ. 	<ul style="list-style-type: none"> – Необходимость выгрузки модели в поддерживаемый программой формат для проверки. – Функционал приложения ограничивается созданием поисковых наборов с условиями выборки элементов. – Отсутствие отчета о проверках атрибутивных данных.
Solibri Model Checker	<ul style="list-style-type: none"> – проверка на наличие пространственных коллизий, формирование отчетов; – просмотр атрибутивных данных элементов модели; – возможность создания правил проверки информационной модели. 	<ul style="list-style-type: none"> – Отдельное приложение, для работы с моделью необходимо выгрузить в поддерживаемый формат. – Функционал приложения ограничивается созданием поисковых наборов с условиями выборки элементов. – Отсутствие отчета о проверках атрибутивных данных.
Signal Tools	<ul style="list-style-type: none"> – проверка заполненности определенных параметров; – проверка наличия определенных значений в параметрах с разными названиями; – позволяет более гибко настраивать поисковые наборы для проверки на геометрические пересечения; – дает возможность суммирования свойств, где можно назначить пары параметров, которые следует объединить в новый параметр. 	<ul style="list-style-type: none"> – Является продуктом, интегрированным только в ПО Revit и Navisworks. – Функционал ограничивается созданием поисковых наборов. – Использование простых логических операций без возможности задавать исключения.

щим комплексный сбор и анализ атрибутивных данных элементов информационной модели с минимальными потерями и искажениями данных в программном комплексе Autodesk Revit с возможностью создавать свои алгоритмы.

Autodesk Navisworks – отдельная программа, позволяющая визуально отобразить элементы по определенным условиям. Используется для проверок на коллизии, а также для формирования паспорта объекта.

Solibri Model Checker – специализированное программное обеспечение, предназначенное для обеспечения качества информационных моделей, выполняет анализ информационных моделей зданий и архитектурных и инженерных проектов с целью обеспечения их целостности, качества и физической безопасности.

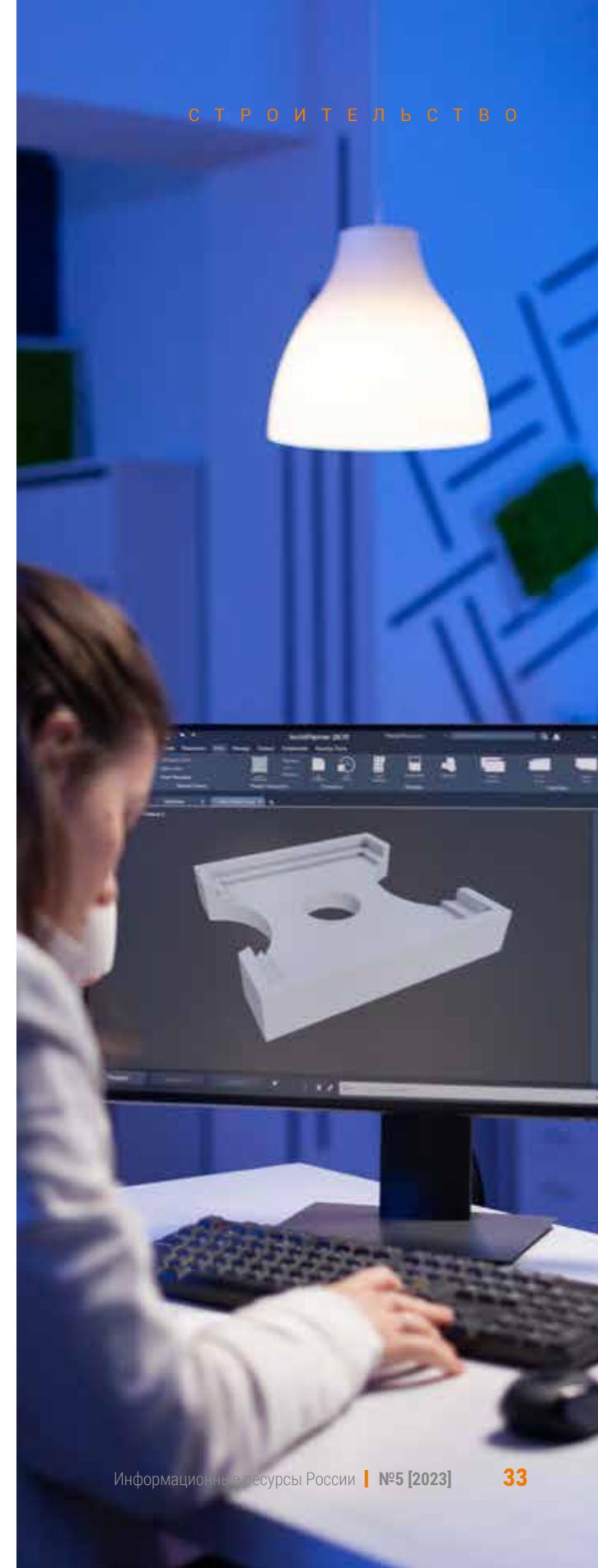
Signal Tools – инструмент для проверки информационных моделей, выгрузки из них объемов работ для календарного графика и бюджета, а также создания строительной BIM-модели для сопровождения строительного процесса.

Таким образом, на рынке существуют продукты с разным функционалом, но при этом более распространена возможность проверки пространственных коллизий, чем проверка атрибутивных данных.

Среди российских продуктов заметна следующая тенденция: разработчики чаще ориентируются на создание плагинов для уже укрепившихся на рынке программ, таких как Autodesk Navisworks и Autodesk Revit, чем на создание полностью самостоятельных программ для валидации информационных моделей, что в настоящее время становится весьма актуальной проблемой.

Разработка системы автоматизированных проверок в ПО Renga

В настоящее время на российском рынке проходит активный процесс импортозамещения зарубежной продукции. При этом одной из российских компаний, занимающихся разработкой программных продуктов



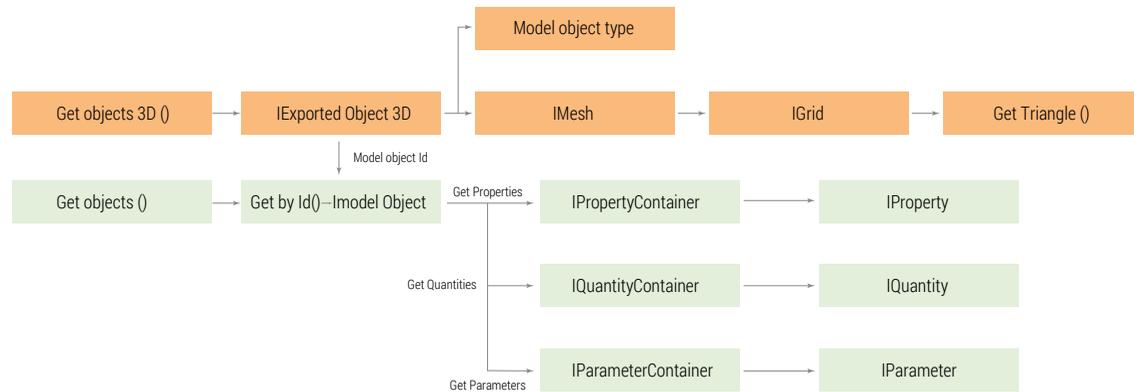


Рис. 5. Схема представления объектов в ПО Renga

для проектирования зданий и сооружений, поддерживающей технологию информационного моделирования, является компания Software Renga [3–6 и др.].

Компания предлагает продукты для трехмерного проектирования. Документация, создаваемая в рамках этого ПО, соответствует российской нормативной базе [3].

Описание работы системы автоматизированных проверок

Разрабатываемая система является плагином – программным дополнением, реализующим внутренние события в ПО Renga. Процесс создания плагина подробно рассмотрен в [2].

Для расширения функциональности Renga и интеграции программного обеспечения применяется Renga API, который использует технологию COM для обеспечения доступа к функциям программы, поэтому возможно создание расширения и обращение к программе из сторонних приложений, в том числе написанных на языках программирования с динамической типизацией.

Для разработки приложений для Renga необходимо предустановить Software Development Toolkit (SDK), который предоставляет примеры кода и документацию по Renga API. Для инициализации плагина в среде Renga создается файл-описание би-

блиотеки – файл XML-типа фиксированной разметки с расширением *.rndesk, который помещается в системной папке Renga.

Работа системы основывается на предоставлении доступа к свойствам объектов информационной модели через COM и получении значений присвоенным элементам модели свойствам.

Свойства объектов модели Renga подразделяются на 3 типа [2]:

- произвольные свойства различных фиксированных типов «Properties»;
- расчетные характеристики свойственные типу объектов «Quantities»;
- параметрические значения «Parameters» в зависимости от типа объекта.

Перечисленные выше свойства доступны через соответствующие интерфейсы «Container», которые доступны из объекта модели Renga: IModelObject. Представление объектов в Renga можно изобразить в виде схемы, представленной на рис. 5.

Для корректной работы плагина и использования классов в коде программы, подключаются пространства имен, которые дают возможность ссылаться на классы.

На первом этапе разработки решения инициализируется разработка стартовой страницы открытия плагина, затем реализуется метод выбора объектов, который содержит в себе три условия.

Первое условие заключается в том, что на вход программе поступают типы объектов, которые присутствуют в модели. Если тип объекта не является Underfined, то в список проверяемых объектов записываются id – идентификаторы элементов. Для каждого идентификатора определяются ObjectType (тип объекта) и свойства, назначенные данному типу объекта. После определения свойств происходит реализация процесса получения значения данных свойств.

Второе условие содержит в себе ограничение по пользовательскому выбору ObjectType. Инициализируется процесс получения объектов данного типа из модели, а также получение значений уникального идентификатора и свойств, назначенных данному типу.

Третье условие заключается в проверке пользовательского выбора типов объектов. Если был определен способ пользовательского выбора типов объектов, но выбор не был сделан, выводится сообщение о пустом значении.

Для выбора всех элементов модели в проект плагина был добавлен пользовательский элемент управления Res.cs, который содержит в себе определение класса типов объектов.

Апробация системы автоматизированных проверок атрибутивных данных в ПО Renga

Апробация программы произведена при реализации проекта многоэтажного жилого дома. Информация по данному зданию была получена с реестра типовой рабочей документации официального сайта Минстроя России.

Информационная модель была создана на основе шаблона архитектурно-конструктивных решений. Свойства объектов в архитектурно-конструктивном шаблоне представлены на рис. 6.

Данные свойства были выгружены в текстовый файл формата csv. В свойства эле-

Рис. 6. Свойства объектов в шаблоне

Имя	Тип данных	Уникальный идентификатор	Типы объектов использующие свойство
Несущий	Булевый	bfd8be2-8a96-4244-ad3e-4ba7488908e0	Балки, Колонны, Крыши, Перекрытия, Сборки, Стены
Номинальное напряжение	Действител...	c4bae922-49cd-4a52-a1f2-e4a3d99d2eaa	Стелли электрического распределительного щита, Точки трассировки
Номинальный ток расцепителя	Перечисле...	0275c951-2399-42b8-bcae-f494728ef2d3	Стелли системы
Область применения	Строка	628d03cf-41ee-4e61-b0fc-ccb0dcb3ff1e	Материалы, Многослойные материалы
Обозначение	Строка	03107734-a4a2-4c00-9f46-7c93149d6315	Ленточные фундаменты, Лестницы, Материалы, Многослойные материалы...
Обозначение аппарата отходящ...	Строка	5e2a27be-e74b-4cc1-b45d-571ca20643e5	Стелли системы
Обозначение подоконника	Строка	b8232e4b-10f6-4b11-ab95-7d97d4da641e	Стелли окна
Обозначение РУ	Строка	81ed85ef-683c-4fa6-b171-ee39eb81016f	Стелли системы
Обозначение стеклопакета	Строка	485107c-2b97-4cda-9a47-77cf14a8cabb	Стелли двери, Стелли окна
Обозначение типа пола	Строка	c4ee2861-b028-4b89-b8fe-c0445721fc89	Помещения
Общий световой поток светильни...	Действител...	46e3f649-3e64-4a84-8baa-49754e93e147	Стелли осветительного прибора
Описание	Строка	82516763-dc0f-4c35-a284-4b578361076c	Материалы, Многослойные материалы
Описание кода классификатора	Строка	1e3d994a-974a-4700-b53c-67083923ec77	Ленточные фундаменты, Лестницы, Материалы, Многослойные материалы...
Отделка внутренних откосов	Строка	ef153a45-9ec9-4a2e-8868-5117b2cc7b97	Двери, Окна
Отделка наружных откосов	Строка	048073cf-a99c-4a12-82fb-45998f7e0e6b	Двери, Окна
Отделка пола	Строка	3713baec-2f29-4a49-8c6e-f191da165e2e	Помещения

	A	B	C	D	E
1	Тип	Код по классификатору	Материал несущих конструкций	Объем	ID объекта
2	ФундаментнаяПлита_КР_ЖБ_1500мм	ОС.КЭ.1.1.1	Material "МВР_Железобетон", #46506	1448,178	1098339
3	Фундаментная плита_ЖБ_1700мм			1345,013	1217822
4	Фундаментная плита_ЖБ_1500мм			970,401	1089050
5	ФундаментнаяПлита_КР_ЖБ_1100мм			433,109	1148654
6	ФундаментнаяПлита_КР_ЖБ_1300мм			530,096	1182355
7	ФундаментнаяПлита_КР_ЖБ_1900мм			2008,142	1086357
8	ФундаментнаяПлита_КР_ЖБ_1300мм	ОС.КЭ.1.1.1	Material "Железобетон", #5979	664,976	1097871
9	ФундаментнаяПлита_КР_ЖБ_1000мм	ОС.КЭ.1.1.1	Material "Железобетон", #5979	423,022	1097454
10	ФундаментнаяПлита_КР_ЖБ_1300мм	ОС.КЭ.1.1.1	Material "МВР_Железобетон", #46506	534,528	1158045
11	Structural Foundations 1	ОС.КЭ.1.1.1			1190328
12	Structural Foundations 1	ОС.КЭ.1.1.1			1193105
13	Structural Foundations 1				1193737
14	Structural Foundations 4	ОС.КЭ.1.1.1			1196379
15	Structural Foundations 1	ОС.КЭ.1.1.1			1196459
16	Structural Foundations 1	ОС.КЭ.1.1.1			1197044
17	Structural Foundations 7	ОС.КЭ.1.1.1			1198047
18	Structural Foundations 8	ОС.КЭ.1.1.1			1198937
19	Structural Foundations 1	ОС.КЭ.1.1.1			1206193
20	ФундаментнаяПлита_КР_ЖБ_700мм	ОС.КЭ.1.1.1	Material "Железобетон", #5979	1821,756	1089313
21	ФундаментнаяПлита_КР_ЖБ_700мм	ОС.КЭ.1.1.1	Material "Железобетон", #5979	1350,772	1089444
22	ФундаментнаяПлита_КР_ЖБ_700мм	ОС.КЭ.1.1.1	Material "Железобетон", #5979	370,011	1090223
23	Structural Foundations 1	ОС.КЭ.1.1.1			1220739
24	Structural Foundations 2	ОС.КЭ.1.1.1			1221753
25	Structural Foundations 3	ОС.КЭ.1.1.1			1224531
26	Structural Foundations 4				1225533
27	КР_ЖБ_Фундаментная плита_700мм			1408,457	1091123
28	КР_ЖБ_Фундаментная плита_1000мм			1573,442	1091231

Рис. 7. Результат проверки

ментов модели была внесена информация в соответствии с проектной документацией. Далее произведен аудит информационной модели при помощи предлагаемой автоматизированной системы. В результате работы системы получена таблица с перечнем элементов, которые не прошли проверку (рис. 7).

Полученные результаты можно использовать для отработки ошибок и приведения информационной модели в вид, соответствующий требованиям.

Выводы

Аудит информационной модели ОКС трудоемкий процесс, обойтись без которого невозможно. Вместе с тем ПО Renga имеет

значительный потенциал для эффективного внедрения в инвестиционно-строительный процесс за счет возможности разработки для интеграции дополнительных инструментов работы с информационной моделью.

Эффективный аудит требует непрерывного контроля и поддержки качества атрибутивных данных на протяжении всего жизненного цикла проекта. Регулярные проверки, периодические обзоры и непрерывный сбор обратной связи способствуют устойчивости и долгосрочной надежности информационной модели.

Использование автоматизированной системы при проверке атрибутивных данных информационной модели в значительной степени упрощает рабочий процесс, а также уменьшает трудовые и временные ресурсы.

WORKING WITH ATTRIBUTE DATA OF INFORMATION MODEL ELEMENTS

Pestrikova Anastasia, Senior Specialist in Building Information Modeling/BIM Manager, LLC «Project SPEECH», Moscow, 127018, Polkovaya Street, 3/1. E-mail: A.Pestrikova@speech.su

Adamtsevich Lyubov, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Department of Information Systems Technologies and Automation in Construction, Research Institute of Building Materials and Technologies, National Research Moscow State University of Civil Engineering, 129337, Moscow, Yaroslavskoye Shosse, 26. E-mail: AdamtsevichLA@mgsu.ru

Abstract. The active development of Industry 4.0 technologies has led to the digital transformation of the construction industry, where key technologies include Building Information Modeling (BIM), additive construction production, machine learning methods, big data, cyber-physical systems, and more. However, the widespread implementation of these technologies may face challenges due to limitations in existing software. This article focuses on analyzing the problems of working with attribute data of information model elements using the example of a residential and civil purpose facility. To address this issue, the authors propose the implementation of an automated system for verifying attribute data of information model elements of a capital construction object, developed for the domestic software Renga. The use of an automated system for checking attribute data of the information model significantly simplifies the work process and reduces labor and time resources.

Keywords: attribute data, information modeling technologies, BIM, Renga, Industry 4.0.

Библиографический список

1. Гинзбург А.В., Адамцевич Л.А., Адамцевич А.О. Строительная отрасль и концепция «Индустрия 4.0»: Обзор // Вестник МГСУ. 2021. Т. 16. № 7. С. 885–911.
2. Филатов В.В., Пестрикова А.Д., Адамцевич Л.А. Отечественный опыт развития технологий информационного моделирования // Промышленное и гражданское строительство. 2023. № 9. С. 80–87.
3. Паршинина С.В., Низина Т.А. Российский программный BIM-комплекс Renga // Долговечность строительных материалов, изделий и конструкций. Материалы Всероссийской научно-технической конференции, посвященной 75-летию заслуженного деятеля науки Российской Федерации, академика РААСН, д. т. н., профессора В.П. Селяева. 2019.
4. Паршина С.В., Низина Т.А. BIM-комплекс Renga – российский программный продукт // Основы экономики, управления и права. 2019. № 1 (19). С. 53–56.
5. Дубинин Д.А., Набок А.А., Харин В.А., Лаврентьева Л.М. Преимущества использования и развития отечественного BIM: системы для трехмерного проектирования Renga // Инженерный вестник Дона. 2017. № 3 (46). С. 57.
6. Евтушенко С.И., Осташев Р.В., Осташева К.А. Выгрузка дисциплинарных цифровых информационных моделей из Renga // В сборнике: Информационные технологии в обследовании эксплуатируемых зданий и сооружений. Материалы XXI Международной научно-технической конференции. Новочеркасск, 2022. С. 8–12.

Bibliography:

1. Ginzburg A.V., Adamtsevich L.A., Adamtsevich A.O. Construction Industry and the Concept of «Industry 4.0»: Overview // Vestnik MGSU. 2021. Vol. 16. No. 7. Pp. 885–911.
2. Filatov V.V., Pestrikova A.D., Adamtsevich L.A. Domestic Experience in the Development of Information Modeling Technologies // Industrial and Civil Construction. 2023. No. 9. Pp. 80–87.
3. Parshinina S.V., Nizina T.A. Russian BIM Software Complex Renga // Durability of Building Materials, Products, and Structures, Materials of the All-Russian Scientific and Technical Conference Dedicated to the 75th Anniversary of the Distinguished Scientist of the Russian Federation, Academician of RAASN, Doctor of Technical Sciences, Professor V.P. Selyaev. 2019.
4. Parshina S.V., Nizina T.A. BIM Complex Renga – Russian Software Product // Fundamentals of Economics, Management, and Law. 2019. No. 1 (19). Pp. 53–56.
5. Dubinin D.A., Nabok A.A., Kharin V.A., Lavrenteva L.M. Advantages of Using and Developing Domestic BIM: Renga Systems for 3D Design // Engineering Herald of Don. 2017. No. 3 (46). Pp. 57.
6. Evtushenko S.I., Ostashev R.V., Ostasheva K.A. Export of Disciplinary Digital Information Models from Renga // In the Collection: Information Technologies in the Inspection of Operating Buildings and Structures. Materials of the XXI International Scientific and Technical Conference. Novocherkassk, 2022. Pp. 8–12.

СОЗДАНИЕ ЦИФРОВОЙ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИ- ЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ РОССИИ – СТРАТЕГИЧЕСКАЯ ЦЕЛЬ РАЗВИТИЯ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКИ

Дорофеев Владимир
Независимый эксперт в области
энергетики, ранее работал вице-
президентом РАО «ЕЭС России»,
заместителем председателя
правления ОАО «ФСК ЕЭС»,
генеральным директором –
ОАО «НТЦ Электроэнергетики»
E-mail: dorofeev-v-v-1945@yandex.ru

Аннотация. В статье представлено видение направлений развития российской электроэнергетики в условиях цифровизации экономики. Рассматриваются общая архитектура и конкретные требования к основным элементам цифровой интеллектуальной электроэнергетической системы. Взаимодействие силового оборудования, систем автоматизации и учет экономических требований электроэнергетического рынка в рамках единого информационно-технологического и экономического пространства на основе платформенных решений и мультиагентных систем позволяет качественно изменить условия функционирования энергосистемы России, как ключевого инфраструктурного элемента, обеспечивающего стабильную работу и развитие экономики, а также качественного повышения уровня жизни населения России.

Ключевые слова:

цифровая интеллектуальная электроэнергетическая система, цифровые платформы, функциональные имитационные модели, топологический процессор, единое распределенное информационно-технологическое и экономическое пространство, мультиагентные системы.

**Процесс перехода
к целевой модели –
интеллектуальной
энергосистеме
с соответствующими
изменениями
рыночной среды –
будет достаточно
длительным
и сложным**

Общие положения

Сегодня многие эксперты отмечают ухудшение ситуации в сфере российской электроэнергетики, что в первую очередь связано с отсутствием в стране как внятной стратегии развития, так и структур, способных разработать и исполнять такую стратегию. В итоге мы имеем процессы старения как силового оборудования, так и систем управления, а также отсутствие отечественных технологий для их замены. Закупки по программам ДПМ с искусственным стимулированием инвестиций привели к росту импортного оборудования, полноценное использование которого затруднено в связи с санкциями. Такое же положение сложилось и в сфере систем автоматизации управления и информационных технологий, программные продукты для которых в основном поставлялись зарубежными фирмами. Ожидания от проведенных в электроэнергетике реформ не оправдались: не произошло ожидаемого роста эффективности предприятий отрасли, эффективной конкуренции в секторе генерации и на розничном рынке не получилось, что привело к росту цен на электроэнергию для конечных потребителей во всех сегментах: промышленность, сельское хозяйство, коммунально-бытовой сектор, включая население. Цены выросли настолько, что в ряде отраслей предприя-

тия поставлены на грань выживания.

В настоящее время в экспертном сообществе, а также на разных уровнях исполнительной и законодательной власти ведутся дискуссии о том, что следует предпринимать для повышения эффективности отрасли. Рассматриваются различные варианты действий, в том числе:

1. Изменение структуры собственности на объекты электроэнергетики.
2. Изменение структуры организации управления отраслью.
3. Изменение или совершенствование технологического базиса отрасли.
4. Совершенствование системы регулирования тарифов.
5. Совершенствование системы экономических отношений, включая электроэнергетический рынок.

В данной статье рассмотрим вопрос совершенствования технологического базиса электроэнергетики. Этот вопрос наиболее важный из перечисленных выше, так как именно технологии определяют в первую очередь, каким образом вообще получается и используется электрическая энергия, а остальные варианты определяют сопутствующие управленческие процессы работы с данным видом энергетического ресурса. Кроме того, развитие новых технологий создает, а в отдельных случаях, опре-

деляет условия изменения структуры отношений между хозяйствующими субъектами.

Речь идет о принципиально новых возможностях построения системы управления электроэнергетическим комплексом России на основе масштабного использования цифровых и информационных технологий. При этом инновации и цифровизация – это не просто смена уровня технических средств. Это – реализация нового видения электроэнергетики как интеллектуальной человеко-машинной системы. А это, в свою очередь, создает условия и для организационно-экономической трансформации электроэнергетики как сферы жизнеобеспечения социально-экономической базы страны.

Стратегия развития электроэнергетики России должна быть направлена на масштабное обновление силового оборудования, систем автоматики управления, внедрение перспективных информационных технологий и создание соответствующих структур, способных обеспечить реализацию этой стратегии. В итоге, конечная стратегическая цель – создание Цифровой интеллектуальной электроэнергетической системы России (далее ЦИЭЭС), которая позволит существенно повысить эффективность и качество функционирования отрасли.

Цифровая интеллектуальная электроэнергетическая система – это высокотехнологичный производственно-экономический комплекс с качественно новыми свойствами, позволяющими обеспечивать надежное, качественное и эффективное энергоснабжение потребителей за счет гибкого взаимодействия субъектов энергетической системы: всех видов генерации, электрических сетей и потребителей, а также ее интеллектуального информационного блока. Основу такой энергосистемы составляют цифровые технологии: системы сбора, организации хранения и обработки информации, контроля и анализа состояния всех технологических звеньев на основе организации единого распределенного информационно-технологического и экономического пространства (ЕРИТЭП), интеллектуального управления, сочетающего принципы централизованного и распреде-

ленного управления, учитывающего экономические интересы субъектов отношений с целью наиболее эффективного использования электрической энергии всеми участниками этих отношений.

Принципы построения архитектуры ЦИЭЭС и состав ее элементов

Архитектуру ЦИЭЭС можно представить в виде следующих функциональных контуров: силовой, экономический, информационно-коммуникационный и управленческий. Взаимодействие всех названных контуров происходит в рамках Единого распределенного информационно-технологического и экономического пространства (ЕРИТЭП), создаваемого в виде многоуровневой мультиплатформенной экосистемы.

Базовым технологическим элементом ЕРИТЭП является цифровая информационно-технологическая платформа (ЦИТП), которая представлена в виде микропроцессора, процессора или мощного вычислителя (в зависимости от уровня использования), включающего элементы управления в виде системы алгоритмизированных, технологически обоснованных решений, использующих единую информационную среду для обмена и управления данными и процессами при большом количестве участников и объектов управления. Именно возможность агрегации ЦИТП разного уровня в систему позволяет создать ЕРИТЭП электроэнергетической системы. ЕРИТЭП позволяет субъектам энергетики, субъектам рынка, корпоративным органам управления и организациям инфраструктуры обеспечивать свободный доступ к экосистеме и управлять технологическими и экономическими процессами и информационными обменами для реализации собственных целей в рамках общих (единых) правил.

В составе программных продуктов данной экосистемы используются такие современные программные продукты, как «большие данные», системы управления распределенного типа – мультиагентные системы и современные информационно-расчетные системы распределенного типа – блокчейн, хешграф,

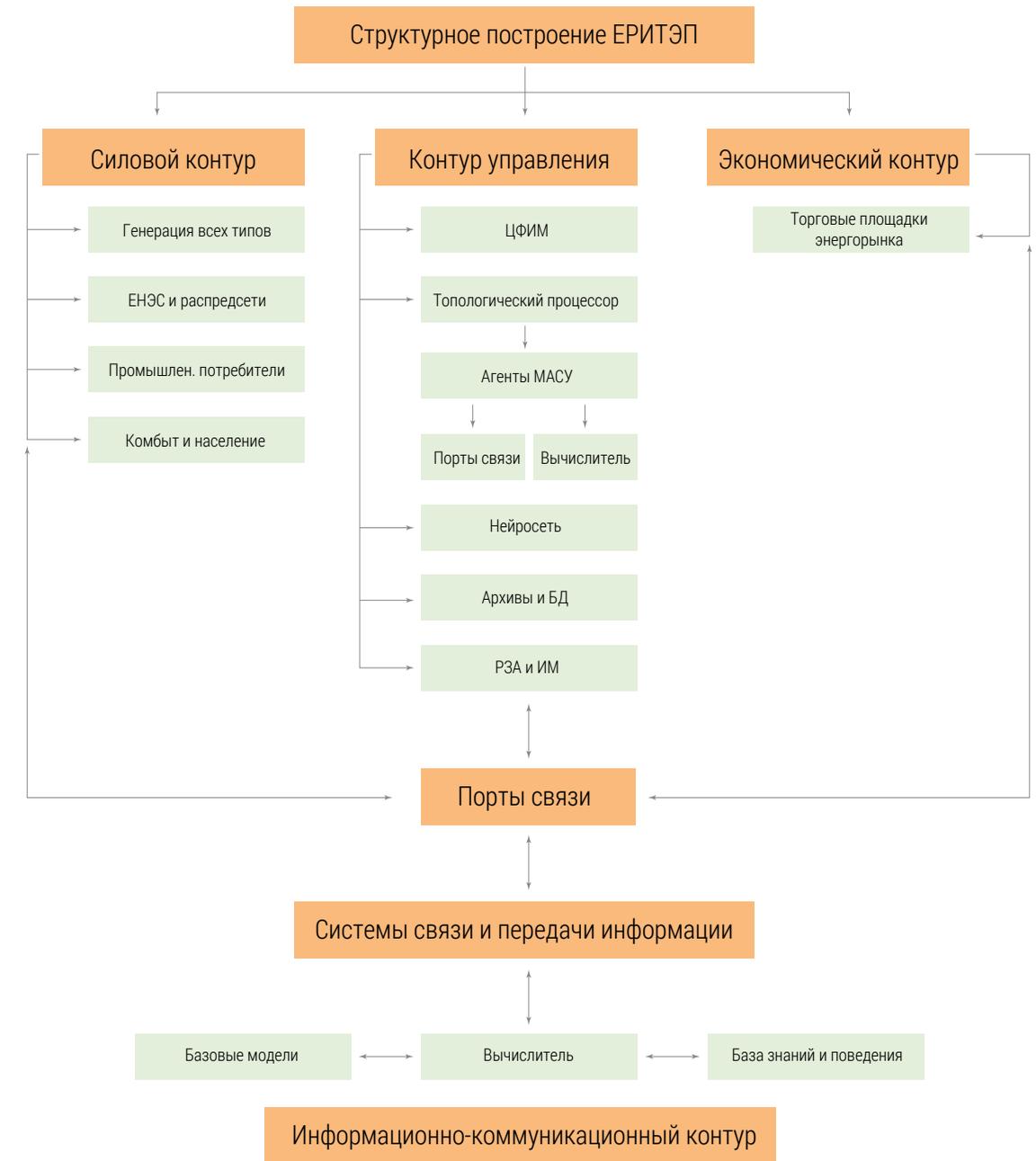


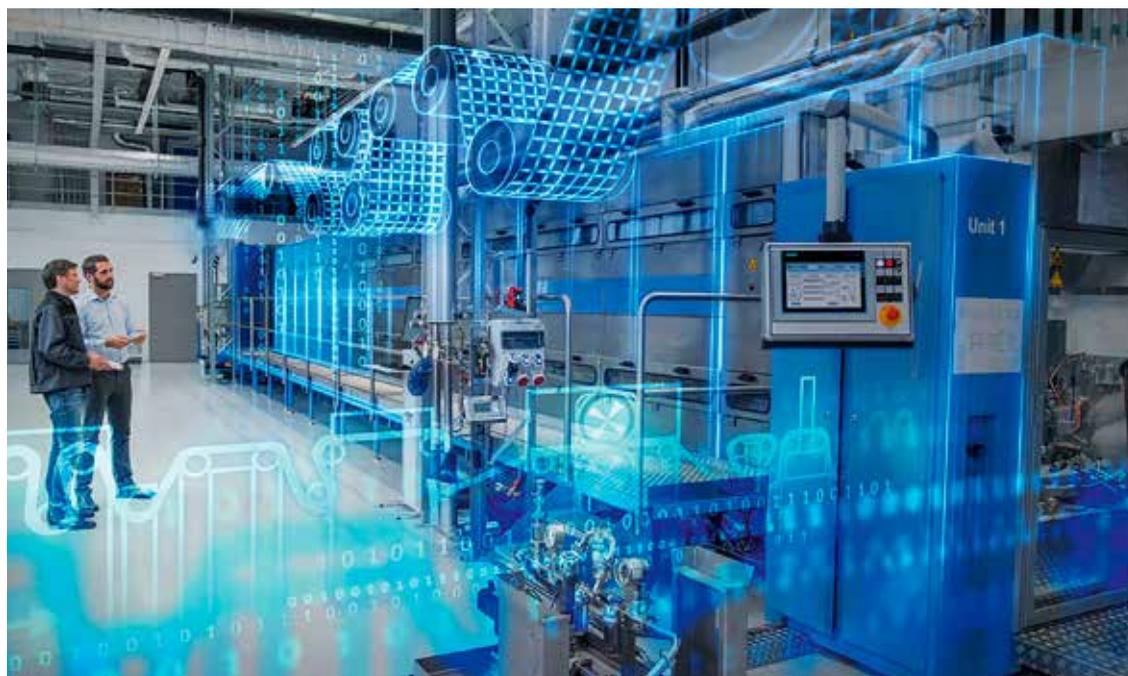
Рис. 1. Общая архитектура цифровой интеллектуальной электроэнергетической системы

а также технологии на основе использования искусственного интеллекта. ЦИТП включает обособленные и комплексные (в зависимости от уровня) элементы: технологические модели – цифровые двойники оборудования, технологического комплекса/объекта и энергосистемы, а также бизнес-модели субъектов энергосистемы, обеспечивающие за счет цифровых технологий работы с данными гибкое интеллектуальное управление, направленное на повышение эффективности всех бизнес-процессов, снижение транзакционных издержек при одновременном поддержании надежности и качества энергоснабжения. ЦИТП создает возможность размещения на платформах разных уровней интеллектуальных агентов, взаимодействующих в рамках интеграционной мультиагентной системы, включая использование этих моделей для управления. Цифровые информационно-технологические платформы помогут не только оптимизировать технологические реше-

ния, но и станут мощнейшим фактором, который повышает производительность труда и формирует экономическое пространство электроэнергетики.

Построение ЦИЭЭС должно рассматриваться не как совокупность программ технического перевооружения энергетических компаний с набором отдельных инвестиционных проектов, а как целостный стратегический план модернизации всей российской электроэнергетики на новой технологической базе, принципах управления и коммерческих отношений. Именно такая постановка задачи позволяет системно подойти к технико-экономическому обоснованию создания ЦИЭЭС не только с позиции эффективности отдельных технологических мероприятий, но и с точки зрения экономической эффективности модернизации всей национальной энергосистемы, учитывая также значимые макроэкономические, социальные, экологические аспекты такой модернизации, влия-

Применение цифровых двойников в производстве
Источник: aerocontact.ru



ющие на развитие экономического базиса России.

Наполнение функциональных контуров

Силовой контур. Силовой контур предназначен для организации физических процессов функционирования энергосистемы: производства продукта – электроэнергии, ее передачи в точки использования и непосредственное использование в интересах потребителей. Кроме того, в рамках этого контура имеется значительное количество технических элементов, обеспечивающих оказание сопутствующих услуг, направленных на надежную реализацию всех стадий доставки продукта с поддержанием его качественных характеристик, основными из которых являются стандартные частота и напряжение в определенных (контрольных) точках сети и в точках поставки продукта.

Основным элементом силового контура является силовое оборудование:

- генерирующие источники, использующие различные виды первичных энергетических ресурсов, в том числе, нетрадиционные и возобновляемые источники электрической энергии и накопители различного вида;
- электрические сети любых уровней напряжения, принадлежащие различным собственникам;
- электроустановки потребителей, в том числе, генерирующие источники в составе потребителей, подключенные к электрическим сетям.

Требования со стороны ЦИЭЭС к элементам силового контура – это их активность и адаптивность (гибкость), которые изменяют состояние этих элементов под воздействием внешних факторов, включая сигналы управления, поступающие от автоматических систем контура управления, с целью изменения состояния системы, осуществляя ее адаптацию для более эффективного удовлетворения запросов субъектов, включенных в состав системы. Гибкость структуры электрических систем и возможность ее транс-

формации и перестроения функциональных связей между звеньями системы является чрезвычайно важным фактором при выборе тех или иных стратегических решений (переходе от полностью централизованных систем к сетевым структурам с частичной децентрализацией и модальным управлением, возможностью организации работы ТЭС на универсальных видах топлива, построением инфраструктуры энергообъединений по принципу сборных шин для независимого подключения к ним крупных генерирующих узлов и центров энергопотребления).

Реализация эти требований осуществляется за счет того, что в состав оборудования включаются цифровые информационно-технологические платформы различного уровня: оборудования, объекта, технологического комплекса и энергосистемы. Основным элементом этих платформ является технологический агент мультиагентной системы управления (МАСУ), который входит в общую МАСУ энергосистемы, формируемую и управляемую Топологическим процессором. Функционально этот агент формирует цифровых двойников соответствующего уровня и обеспечивает их модификацию на основе данных систем диагностики, контролирующих состояние элементов, влияющих на изменение параметров оборудования, изменение состава и функциональных возможностей оборудования в рамках объекта/технологического комплекса, а также изменение топологии системы.

В состав оборудования силового контура энергосистемы также включаются системы, обеспечивающие процесс управления этим оборудованием и тесно взаимодействующие с техническими средствами контура управления, а именно: а) автоматические системы контроля и автоматического регулирования на уровне электроустановок (генераторов, электросетевых элементов, токоприемников потребителей, являющиеся неотъемлемой составляющей конкретного вида оборудования; б) системы защит (устройства РЗА) уровня оборудования и системы, предназначенные для выявления нерасчетных (аномальных) и аварийных режимов работы



Районная электросетевая диспетчерская
Источник: пресс-служба Губернатора
Ростовской области

оборудования и его отключения с целью предохранения от повреждений; исполнительные механизмы и коммутационные аппараты, обеспечивающие изменение состояния оборудования и топологии сети; в) симуляторов диспетчерской деятельности по контролю и управлению режимами энергосистемы.

Экономический контур. Экономический контур обеспечивает взаимодействие субъектов отношений в рамках энергосистемы на основе электроэнергетического рынка поставок электроэнергии и мощности, механизмы которого определяют на условиях конкуренции соблюдение баланса интересов взаимодействующих субъектов, как поставщиков продукта (генерации разного типа), так и покупателей (потребителей или их представителей – энергосбытов). Процесс купли-продажи электроэнергии сопровождается ее передачей от точки поставки (продажи) до точки приемки (покупки) электроэнергии, что обеспечивается оказанием услуг электросетевых организаций. Данная услуга не-

посредственно не участвует в конкурентных отношениях, но опосредовано влияет на цену конечного потребителя и зависит от точки его подключения к сети (уровня напряжения).

Торговые отношения на электроэнергетическом рынке осуществляются посредством участия субъектов в общей (или локальной) торговой системе путем подачи на конкретную торговую площадку соответствующих заявок (объемных и ценовых) на продажу/покупку электроэнергии и мощности.

Экономический контур ЦИЭЭС создает условия для реорганизации электроэнергетического рынка путем создания разнообразных типов электронных торговых площадок, формирующих многоуровневую систему конкурентной торговли электроэнергией и сопутствующими услугами между субъектами электроэнергетики, включая инфраструктурные организации, при активном влиянии потребителей на рыночную конъюнктуру.

Топологический процессор в рамках системы МАСУ организует деятельность торговых агентов МАСУ, которые на уровне объекта формируют торговые заявки (объемные и ценовые) по данным торговых агентов оборудования о его возможности и готовности выполнения торговых заявок, обеспечивают исполнение принятых заявок с распределением нагрузки между отдельными видами оборудования и информируют о реализации торговых сделок после поступления от агентов оборудования об исполнении команд в соответствии с сигналами рынка.

При этом торговые агенты системы (представители субъектов энергорынка) совместно с технологическими агентами проверяют возможность реализации сделок (поданных заявок), т. е. фиксацию текущей топологии с контролем загрузки сечений сети; дают информацию торговой системе о возможности (невозможности) выполнения конкретных торговых операций; подтверждают исполнение или фиксируют отклонения от принятых к исполнению заявок; участвуют в проведении торговых операций: выставление счетов и контроль их оплаты субъектами отношений.

На электронных торговых площадках указанные операции выполняются авто-

матически при использовании технологических и экономических моделей энергосистемы, включаемых в информационно-технологические платформы контура управления.

Отдельно следует отметить наличие регулируемого сегмента рынка, функции которого исполняют экономические регуляторы федерального и региональных уровней, имеющие доступ к общей мультиагентной среде и осуществляющие непосредственно установление цен на услуги электросетевых организаций и системы оперативно-диспетчерского управления и предельные цены в секторе конкурентных отношений и услуг энергосбытовых организаций.

Контур управления. Сегодняшнюю систему управления электроэнергетикой уже можно отнести к системам человеко-машинного типа с относительно высоким уровнем автоматизации. В рамках ЦИЭЭС развитие автоматических систем управления обеспечивает их эффективное взаимодействие с персоналом, включенным в контур управления.

Общее управление элементами силового контура и энергосистемой, как технологическим комплексом, обеспечивается системами оперативно.

Система оперативно-диспетчерского управления обеспечивает контроль общего состояния технологических элементов и всего комплекса, формирующего технологическую часть энергосистемы, и выдает обязательные к исполнению команды и распоряжения персоналу оперативно-технологического управления электросетевого комплекса и других субъектов. Это позволяет выстраивать отношения с целью обеспечения согласованной работы всех технологических элементов цепочки производства, передачи и распределения электроэнергии для поддержания работоспособности, надежности и соблюдения качественных характеристик и параметров общего продукта.

Система оперативно-технологического управления отвечает непосредственно за состояние всех элементов (звеньев) силового контура, находящегося в управлении (ведении) конкретной структурной единицы,

выполняя работы по контролю состояния и оценке работоспособности оборудования в заданных режимных условиях, оперативно-му изменению схем основной сети и схем вторичной коммутации на объектах, а также выполнение пусковых, ремонтных и наладочных работ в зоне оперативной деятельности. Персонал системы оперативно-технологического управления также обеспечивает выполнение операций, связанных с отработкой команд, поступающих от структур персонала корпоративного уровня.

При выполнении своих функций, персонал оперативно-диспетчерского и оперативно-технологического управления использует информационные системы контура управления, а также системы автоматического управления, находящиеся в ведении этих структур. Однако человеко-машинная система управления в электроэнергетике еще далека по скорости и многофакторности своего видения от необходимого интеллектуального уровня, способного обеспечить качество и эффек-

ЦУС «Россети»
Источник: tehnoprofi174.ru





Рис. 2. Топологический процессор и его информационная среда

тивность всей отраслевой и межотраслевой интеграции энергетических систем и объединений. И система цифровизации должна стать базой для достижения этого уровня, объединяющего скорость машинной обработки информации и интеллект человека – диспетчера и программиста.

Система корпоративного управления обеспечивает комплекс работ, направленных на получение результата от владения имуществом (оборудованием), который ожидает собственник.

Структуры системы корпоративного управления в большой степени определяют работу экономического контура, поскольку именно в рамках этого контура решается задача преодоления конфликта интересов субъектов отношений, использующих технологическую часть энергосистемы.

Система корпоративного управления и ее структурные элементы в минимальной степени участвуют в управлении в рамках силового контура. В основном их роль сводится к принятию решений по составу оборудования, инвестициям в технологическую систему, в том числе, по определению состава средств информационно-технологической системы, включая вопросы развития собственных имущественных комплексов.

Системы автоматического регулирования и управления, включаемые в состав силового оборудования, как его неотъемлемая часть,

относятся к технологическому контуру, но они обеспечивают тесное взаимодействие с системами контура управления: устройства защиты, автоматического регулирования и управления системного типа, т. е. определяющие согласованное взаимодействие нескольких (в том числе, большого количества) устройств, влияющих на нормальное функционирование энергосистемы, а также реагирующих на различные виды отклонений от нормы, включая реакцию на аварийные ситуации.

Основным программно-аппаратным комплексом ЦИЭЭС является топологический процессор. Топологический процессор – это набор связанных программных и технических средств в составе цифровых информационно-технологических платформ (ЦИТП) различного уровня, функционирующих в реальном времени в составе агентной мультиплатформенной экосистемы ЕРИТЭП и предназначенных для создания связанных между собой цифровых математических моделей путем построения цифровых двойников оборудования, объектов и систем электроэнергетики различной размерности и сложности, каждая из которых может видоизменяться в процессе своего жизненного цикла. Кроме того, агенты топологического процессора создают функциональные цифровые имитационные модели: технологические, экономические, прогнозные и поведенческие, предназначенные для

выполнения скоординированного управления энергосистемой в различных периодах и режимах ее функционирования.

На рис. 2 приведена схема работы топологического процессора по созданию различного вида и назначения цифровых моделей, а также информационной базы для взаимодействия топологического процессора с этими моделями.

Цифровые информационно-технологические платформы объединяют в своем составе первичные информационные ресурсы, их обработку и хранение, имеют различные программные системы управления на основе поступающей информации, системы связи для обмена информацией как по горизонтали, так и по вертикали, а также средства защиты информации от несанкционированного доступа. ЦИТП представлены для разных уровней – от уровня оборудования до объекта и энергосистемы в целом. Далее приводится общее представление функциональных цифровых имитационных моделей, создаваемых топологическим процессором.

Технологические модели (цифровые двойники) оборудования, объектов и системы/фрагмента системы, адекватно отражающие состояние (текущее или прогнозируемое) объекта управления, обеспечивающие контроль и управление соответствующим состоянием процесса, до прогнозируемых возможных долгосрочных вариантов развития системы. Данные модели определяют электрические связи между элементами энергосистемы, формируя ее топологию, и являются основой для использования экономических моделей, а также для организации обмена информацией о состоянии объекта при организации торговли и процессов взаимодействия в рамках контура управления.

Экономические модели обеспечивают поддержание экономических процессов, отражающих рыночные отношения субъектов, влияние различных ограничений на торговые сделки, возможности заключения прямых контрактов «поставщик – покупатель». При этом предусматривается участие сети, с определением конкретного маршрута по-

ставки, отражение учетных операций, подтверждающих исполнение обязательств по объемам поставок и оплате товаров и услуг и другие.

Прогнозирующие модели, на основе использования цифровых двойников формируют различные виды прогнозов возможного будущего состояния элементов и энергосистемы в целом с оценкой внешних воздействий, включая природные условия, а также возможных рисков и реакцию на эти условия и риски. Эти модели позволяют обеспечить опережающее управление, путем введения их в контур не только автоматизированного, но и автоматического управления. Прогнозирующие модели также обеспечивают информационную поддержку процессов развития, включение новых субъектов в энергосистему и вывод оборудования из эксплуатации, развитие сетевой инфраструктуры и оценку эффективности применения новых решений при развитии.

Поведенческие модели, прогнозирующие возможное поведение субъектов отношений и их влияние на состояние (изменение состояния) объектов и системы в целом при различных режимных ситуациях и экономических условиях, влияние этого поведения на поддержание баланса мощности в энергосистеме, сохранение надежности и качества в этих условиях, изменение экономических предпочтений субъектов отношений.

Информационно-коммуникационный контур

Любая система управления базируется на информационных ресурсах и их обменах, поэтому не может работать без эффективной системы коммуникаций, тем более в условиях многоуровневой иерархической структуры энергосистемы и значительной территориальной разобщенности объектов управления. Исходя из этих условий формируются требования к информационно-коммуникационному контуру ЦИЭЭС.

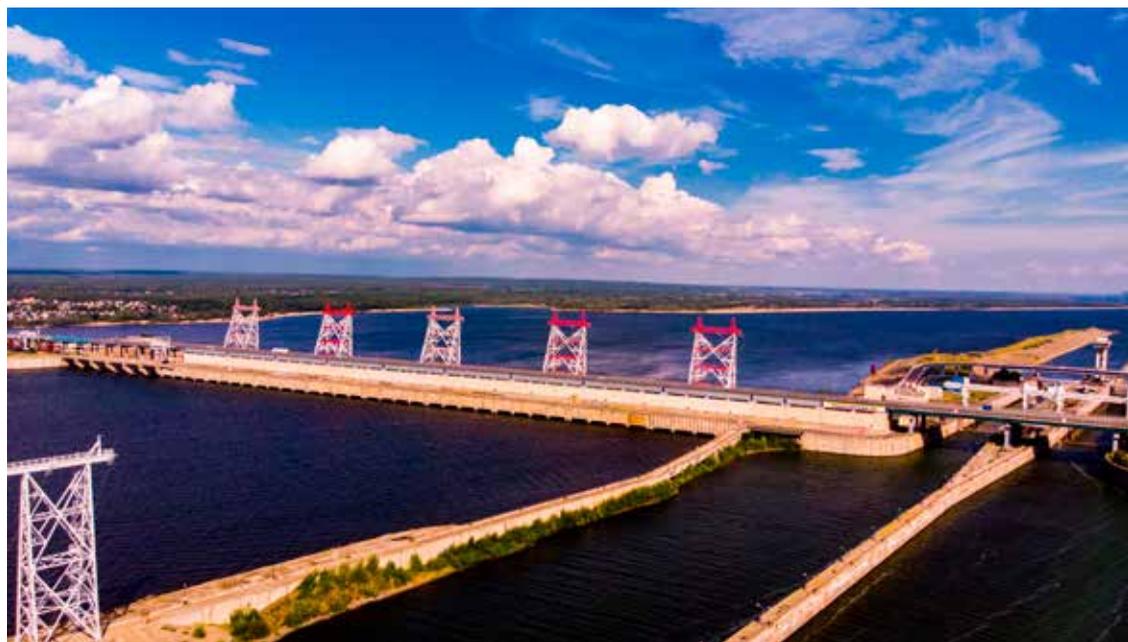
Информационно-коммуникационный контур является интегрирующим элементом других контуров в единую систему, создавая

условия наиболее полного и эффективного использования любой информации с выработкой на ее основе управляющих сигналов, обеспечивающих надежную и эффективную работу всей электроэнергетической системы. В этом контуре происходят процессы обработки первичных данных, превращения их в информационные ресурсы, используемые для управления. В том числе на основе этих ресурсов формируются и функциональные имитационные цифровые модели, обеспечивающие информационные обмены между субъектами отношений, включая различные программные системы. Необходимо также учитывать, что информация может использоваться различными субъектами деятельности, многие из которых находятся в условиях конкурентных отношений между собой, что определяется условиями доступа к информации отдельных субъектов по согласованию с отраслевым регулятором (параметры конфиденциальности данных и процедуры доступа).

Система коммуникаций является ключевым элементом общей системы управления, так как от надежности ее функционирования зависит работоспособность системы в целом. В связи с этим к телекоммуникационным сетям, используемым в системах управления, предъявляются высокие требования, в качестве основных из которых следует выделить: время передачи, надежность и безопасность. Всем этим условиям должны соответствовать транспортные информационные сети: региональные, глобальные, транзитные, сети общего пользования (если они участвуют в информационных обменах), а также мобильные корпоративные сети.

При построении такой системы, в частности, распределенного информационно-технологического пространства, целесообразно предусмотреть наличие четырех основных сетевых компонент: сеть объекта (шина процесса), сеть доступа (шина станции), базовая сеть (транзитная/транспортная сеть) и сетевые приложения. Каждая из указанных

Чебоксарская ГЭС
Источник: overone.ru



компонент должна дополняться системой информационной и кибернетической безопасности, обеспечивающей защиту данных от внешних угроз, а также для предотвращения потери информации или возможности ее восстановления при сбоях и других видах воздействий.

Общие принципы и условия создания ЦИЭЭС

Современная электроэнергетика предполагает, что в энергетический баланс все в большей степени включаются нетрадиционные и возобновляемые источники энергии: солнце, ветер, биомасса, гидроэнергия, в том числе энергия приливов. Все больше внимания уделяется использованию водорода, как первичного и как вторичного источника энергии. Применение этих источников в рамках электроэнергетической системы предполагает развитие сетевых микрогридов, которые могут работать как изолированно, так и в рамках общей системы. Эти факторы должны учитываться при разработке проектов ЦИЭЭС. Главным условием при выполнении таких работ, вне зависимости от масштаба проекта, является создание и применение единых для всех систем электроэнергетики норм, правил и стандартов.

Основу создаваемой цифровой информационно-технологической платформы для реализации интеллектуальной модели электроэнергетической системы и разработки систем управления этим сложным объектом должны составить мультиагентные технологии. В мультиагентных системах топология взаимодействия агентов между собой, как динамических систем, изменяется со временем. В распределенных системах мультиагентные технологии способны эффективно решать достаточно сложные задачи, разбивая их на части и автономно перераспределяя ресурсы. Самоорганизация агентов и динамическая кластеризация взаимосвязанных функциональных моделей приводит к быстрому и эффективному решению.

При этом организационно прежние уровни иерархии сохраняются, однако изменяются

принципы взаимодействия между частями энергосистемы. При децентрализованном подходе мультиагентные системы (МАС) самостоятельно взаимодействуют между собой для решения поставленных задач по поддержанию надежного уровня электроснабжения потребителя.

На рис. 3 представлена общая схема многоуровневого взаимодействия ЦИТП, включая роль топологического процессора и агентов МАСУ в общей системе управления электроэнергетическим комплексом.

Будущая энергосистема должна являться совокупностью мультиагентных систем разного уровня, способных взаимодействовать друг с другом для решения задач по управлению системой. Создание ЦИЭЭС направлено на то, чтобы мультиагентные системы надежно выполняли поставленные перед ними задачи. В случае автономной работы, выделяемые участки в минимальной степени затрагивали бы функционирование остальной части энергосистемы. Но и при этом должны обеспечиваться высокое быстродействие и селективность работы, а также экономическая выгода от применения мультиагентных систем.

Заключение

Электронергетическая система в любых видах и масштабах, включая локальные энергосистемы, является объектом технико-экономического характера со сложной структурой, функционирование которого связано с необходимостью постоянного соблюдения баланса мощности, т. е. в каждый момент необходимо производить ровно столько, какова текущая потребность в электроэнергии. Экономическая деятельность субъектов, включенных в электроэнергетическую систему, тесно связана с техническим состоянием всех элементов электроэнергетической системы. Множество субъектов – потребителей электроэнергии имеют существенно различающиеся требования к ее поставке, такие как: текущий объем мощности, надежность и непрерывность поставки, качество продукта и конечно ее минимальную цену при

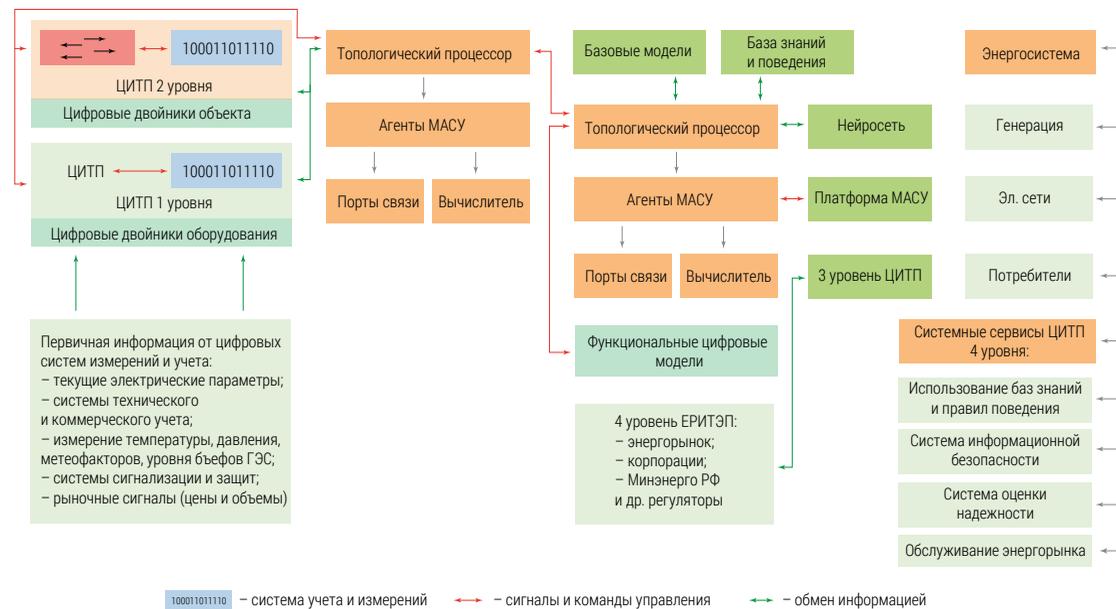


Рис. 3. Общая схема взаимодействия ЦИТП разного уровня

выполнении ранее названных условий. Учитывая описанные выше особенности электроэнергетики, согласование интересов всех участников электроэнергетического рынка является сложной и комплексной задачей инженерно-технического и организационно-экономического характера. Именно интеллектуализация такой сложной системы позволяет в максимальной степени учесть и согласовать противоречивые требования субъектов электроэнергетического рынка.

В данной статье описывается вариант развития электроэнергетической системы на основе новых возможностей современных цифровых технологий. Представлено только общее описание структуры и архитектурных решений, которые связывают многие важные технические требования к системе с общими требованиями субъектов отношений в электроэнергетике, что позволяет в наибольшей степени удовлетворить комплекс этих требований. Определенные технологии, которые представлены в документе уже в той или иной степени воплощены в практике, однако

многие из них еще находятся в разработке или опытно-внедрении. Наиболее сложным в реализации представляется процесс оснащения оборудования микрочипами и микропроцессорами, так как очень велико разнообразие видов оборудования и его массовость. Создание цифровых двойников всех элементов технологической цепочки: оборудования, объектов и энергосистемы, связанных единой технологией в рамках единого распределенного информационно-технологического пространства и других видов функциональных цифровых имитационных моделей также сложный и трудоемкий процесс, требующий кроме всего существенного обновления нормативно-законодательной базы. Поэтому необходимо учитывать, что процесс перехода к целевой модели – интеллектуальной энергосистеме с соответствующими изменениями рыночной среды – будет достаточно длительным и будет требовать настойчивой работы для достижения конечной цели – создании нового облика электроэнергетики России.

THE CREATION OF A DIGITAL INTELLIGENT ELECTRIC POWER SYSTEM IN RUSSIA IS A STRATEGIC GOAL OF THE DEVELOPMENT OF THE ELECTRIC POWER INDUSTRY

Dorofeev Vladimir, An independent expert in the field of energy, previously worked as Vice President of RAO UES of Russia, Deputy Chairman of the Board of JSC FGC UES, General Director of JSC STC Electric Power Industry. E-mail: dorofeev-v-v-1945@yandex.ru

Abstract. The article presents a vision of the directions of development of the Russian electric power industry in the context of digitalization of the economy. The general architecture and specific requirements for the main elements of a digital intelligent electric power system are considered. The interaction of power equipment, automation systems and consideration of the economic requirements of the electric power market within the framework of a single information technology and economic space based on platform solutions and multi-agent systems allows us to qualitatively change the operating conditions of the Russian energy system as a key infrastructure element ensuring stable operation and economic development, as well as a qualitative improvement in the standard of living of the Russian population.

Keywords: digital intelligent electric power system, digital platforms, functional simulation models, topological processor, unified distributed information technology and economic space, multi-agent systems.

Библиографический список:

1. Дороев В.В., Макаров А.А. Активно-адаптивная сеть – новое качество ЕЭС России // Энергоэксперт. №4, 2009.
2. Концепция интеллектуальной электроэнергетической системы России с активно-адаптивной сетью: монография / Под ред. академиков РАН Фортова В.Е. и Макарова А.А. // 2012.
3. Мультиагентная автоматика для предотвращения системных аварий: монография «Комплекс интеллектуальных средств для предотвращения крупных аварий в энергосистемах» // Новосибирск. Издательство «Наука», 2016.
4. Веселов Ф.В., Дороев В.В. Интеллектуальная энергосистема России как новый этап развития электроэнергетики в условиях цифровой экономики // Информационный портал «Энергетическая политика и стратегия». 2018.
5. Каменев А.С., Королев С.Ю., Сокотушенко В.Н. Нейромоделирование как инструмент интеллектуализации энергоинформационных сетей: сборник «Энергетический форсайт». Москва, 2012.
6. Вариводов В.Н., Дороев В.В., Зеленохат Н.И., Карташев И.И., Козлов М.В., Шаров Ю.В. Управляемые (гибкие) системы электропередачи переменного тока: сборник «Новые технологии для электрических сетей». Изд. дом «МЭИ», 2006.

Bibliography:

1. Dorofeev V.V., Makarov A.A. Active adaptive network – a new quality of the UES of Russia // Energoexpert. No.4, 2009.
2. The concept of an intelligent electric power system in Russia with an active adaptive network: monograph / Ed. Academicians of the Russian Academy of Sciences Fortova V.E. and Makarova A.A. // 2012.
3. Multi-agent automation for the prevention of system accidents: monograph «Complex of intelligent tools for the prevention of major accidents in power systems» // Novosibirsk. Nauka Publishing House, 2016.
4. Veselov F.V., Dorofeev V.V. The intelligent energy system of Russia as a new stage in the development of the electric power industry in the digital economy // Information portal «Energy Policy and Strategy». 2018.
5. Kamenev A.S., Korolev S.Yu., Sokotushchenko V.N. Neuromodeling as a tool for intellectualization of energy information networks: collection «Energy Foresight». Moscow, 2012.
6. Varivodov V.N., Dorofeev V.V., Zelenokhat N.I., Kartashev I.I., Kozlov M.V., Sharov Yu.V. Controlled (flexible) AC power transmission systems: collection «New technologies for electric networks». Publishing house «MEI», 2006.

ВЫЯВЛЕНИЕ АКТУАЛЬНЫХ ВОПРОСОВ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ПОЛИТИКИ В ПУБЛИКАЦИЯХ ИЗ ОТКРЫТЫХ РЕФЕРАТИВНЫХ БАЗ ДАННЫХ

Аннотация. Данная статья посвящена выявлению актуальных вопросов энергетической политики в публикациях, представленных в открытых реферативных базах данных The Lens и ScienceDirect. Основные темы определялись путем кластеризации текстов заголовков и ключевых терминов. Анализ показал, что тематика публикаций в основном связана с проблемами перехода энергетики на возобновляемые источники энергии. Большинство работ представлено исследованиями институтов экономически развитых стран, а также Турции и Индии. Российских англоязычных материалов по вопросам энергетической политики сравнительно немного.

Чигарев Борис

Ведущий инженер по научно-технической информации
Института проблем нефти
и газа РАН, к. ф.- м. н.
E-mail: bchigarev@ipng.ru

Ключевые слова:

энергетическая политика, открытые реферативные базы, The Lens, ScienceDirect, тематический анализ.

Цель публикации

Показать возможность использования открытых зарубежных реферативных баз данных для анализа актуальных исследовательских задач по теме: «Энергетическая политика».

Мотивация проведения данного исследования

Прекращение доступа российских исследователей к ведущим реферативным базам данных Scopus и Web of Science затрудняет анализ выявления актуальных направлений исследований, но не исключает возможности их проведения.

Такая ситуация способствует переходу к использованию реферативных баз данных открытого доступа. Использование подобных баз данных имеет ряд преимуществ: более широкий охват индексируемых публикаций, разнообразие в работе их поисковых систем, разнообразие аналитических возможностей, наличие отраслевой специфики.

Специалистам и экспертам необходимо быть в курсе новых научных разработок и иметь доступ к получению необходимых знаний. Чтение многочисленных публикаций может оказаться непосильной задачей, библиометрические методы позволяют сузить круг подлежащих прочтению статей и предложить публикации из смежных областей знаний.

Обоснование выбора открытой базы для начала сбора данных

База данных рефератов должна охватывать широкий спектр публикаций по теме энергетической политики и экспортировать библиометрические данные. Предварительный анализ трех общедоступных баз данных – The Lens, Dimensions и SciLit – по прямому запросу «энергетическая политика» в полях названия и аннотации статей и материалов конференций за 2014–2023 гг. позволил получить 9844, 9259 и 8714 результатов соответственно.

Преимуществом базы данных Lens является также возможность одновременного экспорта до 50 тыс. записей.

На момент написания данной работы, октябрь 2023 года, в The Lens проиндексировано 265124 072 научных работ, для сравнения: в Dimensions – 140 млн публикаций, в SciLit – 160 млн.

Недостатком этой базы данных является неполное заполнение полей аннотаций и ключевых слов. Поэтому записи The Lens целесообразно дополнять открытыми данными издательств, например, ScienceDirect издательства Elsevier.

Примечания по другим открытым реферативным базам

Для выявления конкретных проблем можно использовать открытые платформы, такие как SPE OnePetro,

Открытые базы данных дают много возможностей для анализа актуальных задач исследования. Так, The Lens является хорошим начальным источником сбора материалов

IEEE Xplore, Semantic Scholar, CORE, BASE и материалы Министерства энергетики США. Semantic Scholar индексирует более 214 млн научных статей, используя искусственный интеллект в поисковой системе, а CORE предоставляет доступ к крупнейшей в мире коллекции научных работ открытого доступа. BASE предлагает более 340 млн документов от более чем 11 000 поставщиков контента, причем 60% проиндексированных документов доступны бесплатно. Министерство энергетики США также предоставляет платформу для поиска публикаций ведущих американских лабораторий по энергетической тематике.

Краткий обзор литературы

Публикация [1] представляет собой справочное пособие для исследователей, финансирующих организаций, разработчиков энергетической политики и специалистов отрасли о ходе исследований в области «зе-

Рбота с открытыми научными базами данных
Источник: HayDmitriy / depositphotos.com

леного» строительства. В работе проведен обзор 1147 научных статей и определены десять основных областей исследований по этой теме.

В исследовании [2] проанализировано 104 статьи, посвященные бизнес-моделям электромобилей, основное внимание уделялось технологиям зарядки, услугам для водителей, управлению питанием и коммерческим контрактам. Больше всего исследований было проведено в Китае, США и Германии. Анализ выявил два направления исследований: инновационные технологии и оптимизация использования ресурсов, а также системы управления электропитанием и жизненный цикл оборудования.

В статье [3] рассматривается состояние энергетической безопасности ЕС и Румынии с акцентом на глобальные усилия по достижению климатической нейтральности. В работе используются исторический, логический и библиометрический методы для анализа политики устойчивого развития и взаимосвязи экономических процессов в энергетическом секторе. Авторы прогнозируют проблемы в достижении экологических целей и выделяют энергетическую бедность как социальный фактор, влияющий на глобальные стратегические решения.

Работа [4] представляет собой ретроспективный обзор журнала Energy Policy, издающегося 50 лет. На основе библиометрических данных из Web of Science получены результаты, свидетельствующие о том, что ежегодный объем публикаций в журнале Energy Policy составляет около 600 статей при среднем показателе 41,42. Журнал охватывает такие темы, как изменение климата, технологические инновации, экономическое развитие и социальное равенство.

Исследование, проведенное авторами работы [5], выявило дисбаланс в публикациях по энергетической политике, когда ученые из стран с высоким уровнем дохода доминируют в исследованиях, предлагающих энергетическую политику для стран с низким и средним уровнем дохода. Количество цитирований увеличивается с ростом ВВП страны первого автора.



Нью-Йоркская публичная библиотека на Пятой авеню
Источник: LeeSnider / depositphotos.com

Последняя работа указывает на актуальность библиометрических исследований и анализа тематики публикаций с использованием открытых реферативных баз данных и возможности публикаций в журналах, не обязательно индексируемых в Scopus и WoS.

Высокая стоимость публикаций в ведущих журналах с открытым доступом, необходимость платной подписки для доступа в Scopus и WoS, доминирующая ориентация на высокую цитируемость авторов у издательств затрудняет для авторов из развивающихся стран продвигать свои исследования, раскрывающие проблемы энергетического перехода и энергетической политики, направленной на их преодоление для стран с невысоким ВВП.

Поэтому одной из задач нашей статьи в развитие темы публикации [5], является доказательство доминирования тематики, продвигаемой странами с высоким ВВП,

и недостаточного отражения проблем, возникающих у развивающихся стран при реализации их энергетической политики.

Материалы и методы

В данной статье использовались 17 138 библиометрических записей, экспортированных платформой The Lens [6] по запросу: Filters: Year Published = (2014 -) Field of Study = (Energy policy). Использование фильтрации по полю Field of Study позволило расширить выборку по сравнению с запросом, основанном на встречаемости термина Energy policy в полях заголовков и аннотаций (9844 записи).

Для анализа тематики публикаций использовались данные полей Title и Abstract.

Для анализа тематики, определяемой по авторским ключевым словам, использовались библиометрические данные, экспортированные из открытой реферативной базы

ScienceDirect по запросу: Journal or book title: Energy Policy; Year: 2019–2023; Research articles – 2827 записей. Данные актуальны на октябрь 2023 г.

Выборки различаются, но это позволяет оценить устойчивость интереса к актуальным задачам энергетической политики.

Кластеризация документов (17138 записей) осуществлялась с использованием демоверсии программы Carrot2 и алгоритма Lingo3C [7], текстами служили заголовки публикаций.

Кластеризация по ключевым терминам проводилась с использованием программы VOSviewer [8]. Для записей платформы

The Lens использовались тексты полей Title и Abstract, а для записей ScienceDirect – Keywords [9]. Осуществлялась предобработка текстов, включающая удаление 973 стоп слов, замена не UTF-8 символов на ближайшие в латинице, перевод в нижний регистр и стемминг по Krovetz [10].

Для формирования примера важности часто встречаемых терминов, но не формирующих отдельный кластер, использовалось онлайн приложение Clustering App, основанное на выявлении тематики тестов с использованием факторизация неотрицательных матриц [11].

Рис. 1. Распределение количества публикаций по полям исследований (Field of Study)

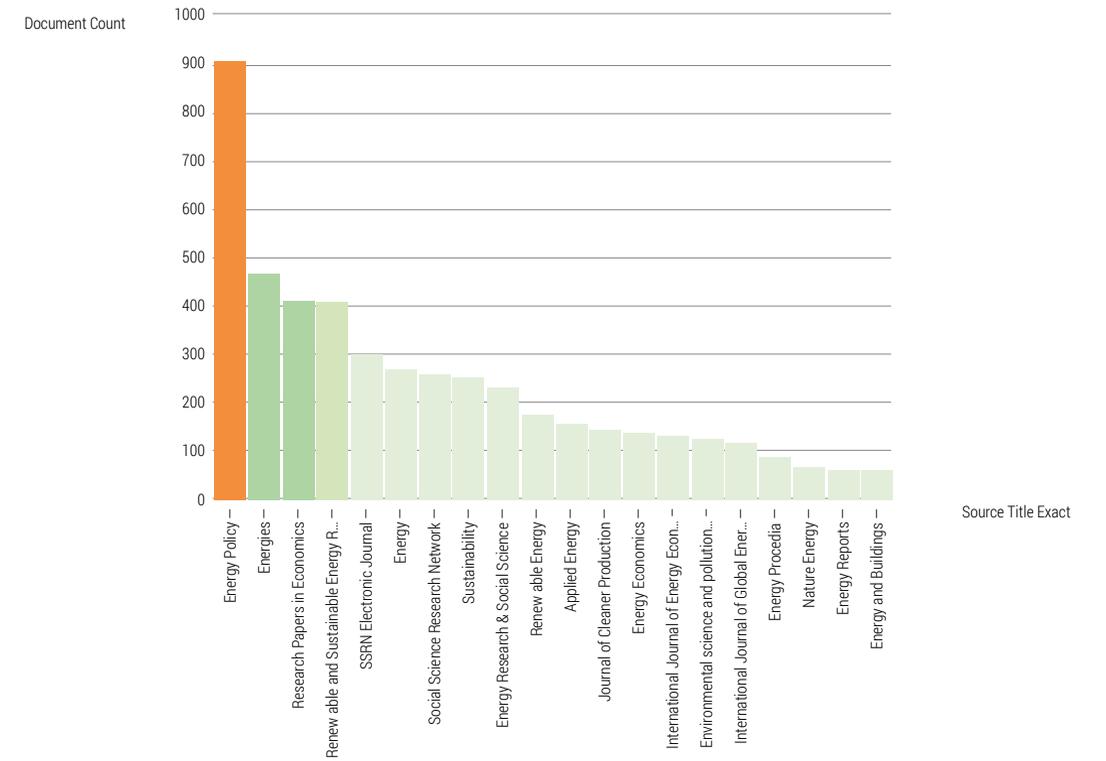
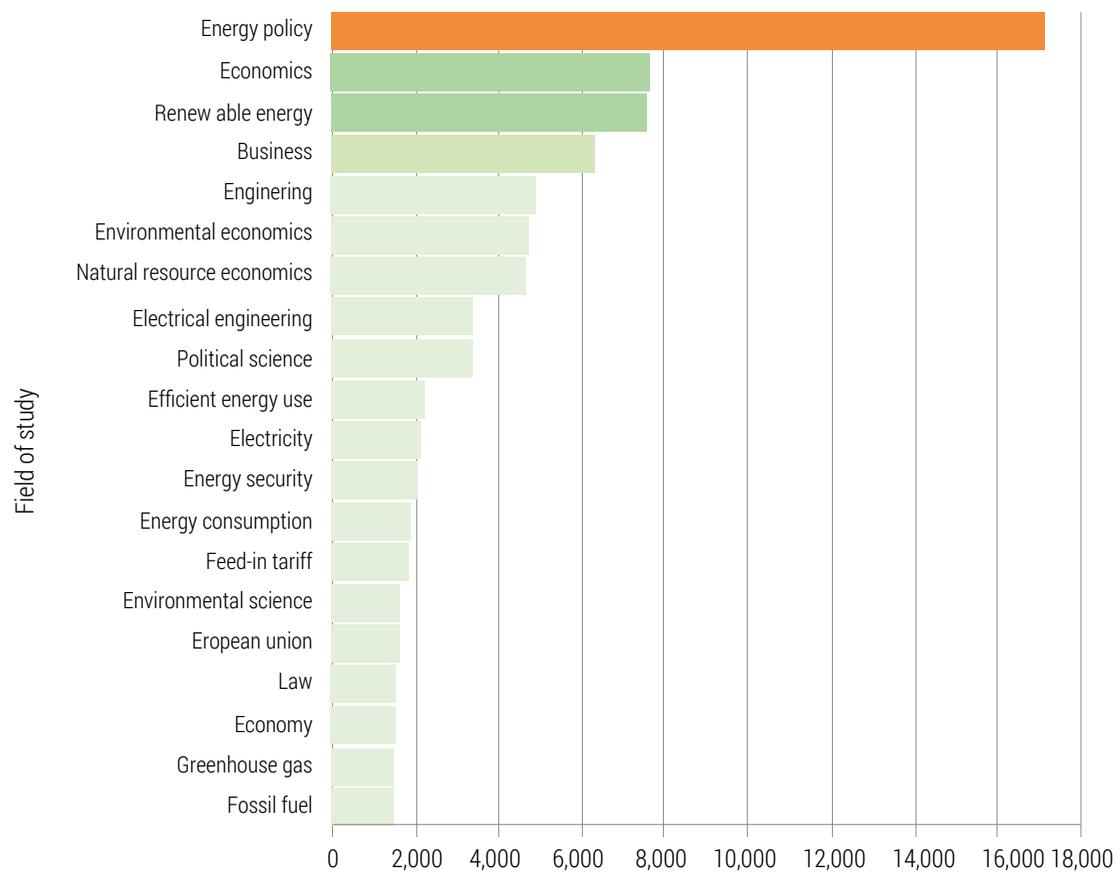


Рис. 2. Основные источники публикаций, отсортированные по числу опубликованных документов

Краткие характеристики выборки платформы The Lens

«Energy policy» очевидный фаворит в списке, т. к. именно по этому термину производилась фильтрация выборки. Далее следуют экономические и бизнес исследования, тема возобновляемой энергетики и инженерные задачи, включая вопросы электрификации. Ископаемому топливу уделяется мало внимания. Тематика хорошо отражает интересы Евросоюза (European union на графике).

Тематика данных журналов хорошо согласуется с полями исследований, представленных на предыдущем графике, за исключением таких журналов как Energy Research & Social Science. На первом графике отдельного поля по социальным аспектам энергетики не представлено.

Присутствия стран Африки, Латинской Америки и Азии, за исключением Китая и Индии с их полутора миллиардным населением в данном списке не наблюдается, но присутствуют страны ЕС, Северной Америки, Австралия и Япония, активно продвигающие энергопереход от ископаемых источников к возобновляемой энергетике.

Следует учитывать, что научные публикации – эффективное средство продвижения политэкономических тематик [12].

Результаты и обсуждения

Наиболее наглядно актуальная тематика публикаций представлена на рис. 4 в виде 6 главных кластеров и их субкластеров, полученных группированием публикаций по близости текстов их заголовков. Всего получено

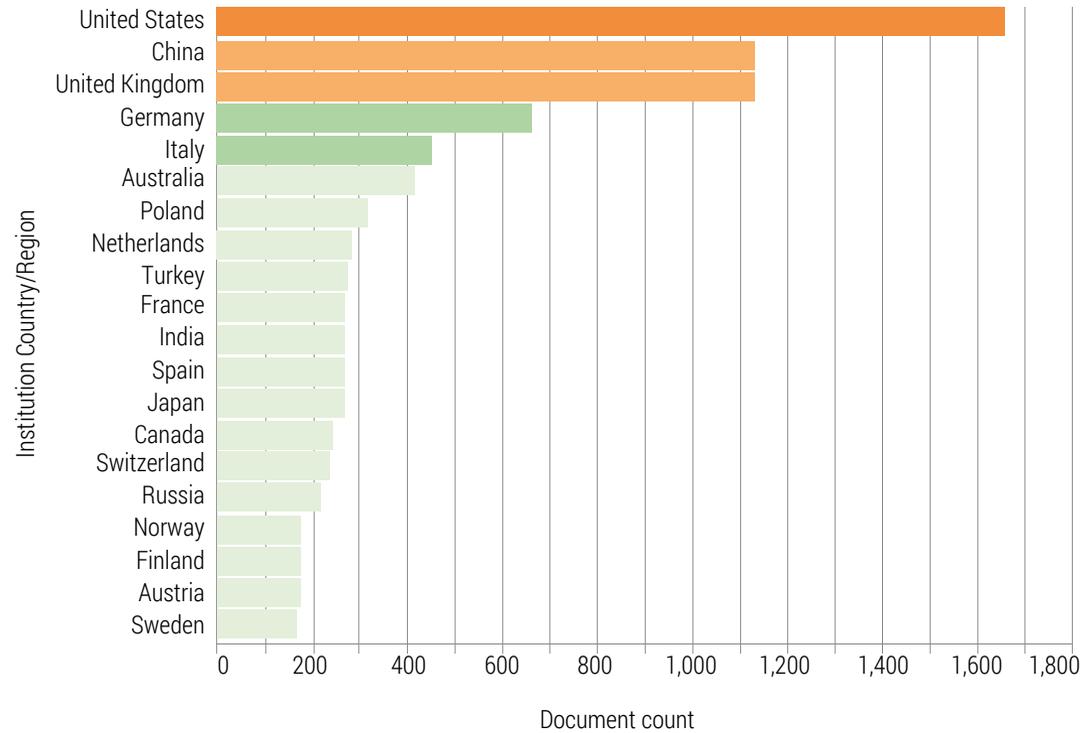


Рис. 3. Основные страны, с институтами которых аффилированы авторы публикаций

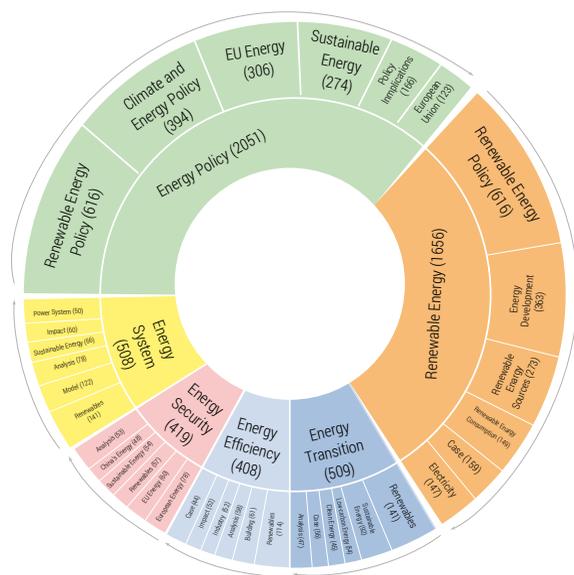


Рис. 4. 6 основных тематик исследований основанных на кластеризации текстов 17 138 заголовков публикаций платформы The Lens

29 кластеров при параметрах по умолчанию программы Carrot2.

В публикациях по энергетической политике доминирует тема энергетического перехода в возобновляемой энергетике. Следует подчеркнуть, что данный метод кластеризации публикаций относит отдельную статью к нескольким кластерам (тегирование). Тематика Climate and Energy Policy, UE Energy также хорошо представлена в данной выборке публикаций. Данный рисунок отражает практически все основные вопросы перехода к возобновляемой энергетике за исключением вопросов инвестиций и социальных аспектов. Но именно они связаны с тезисом седьмой цели ООН о доступной и чистой энергетике.

В списке основных кластеров отсутствуют такие термины как «circular economy», «energy poverty», «clean energy investments» или «affordable clean energy». Например, к кластеру Energy Poverty программой отнесено только 76 публикаций, в то время как Energy Policy – 2051.

Представленная кластеризация основана на группировании схожих документов и удобна для выбора статей, представляющих интерес для дальнейшего анализа.

Для формирования новых запросов для обращения к базам данных целесообразно провести кластеризацию терминов, входящих в тексты заголовков и аннотаций.

На рис. 5 показаны результаты, полученные с помощью программы VOSviewer, алгоритм кластеризации которой основан на совместной встречаемости терминов. Анализ проводился при условии минимума 10 терминов в кластере.

Ниже представлены 20 наиболее часто встречаемых терминов для каждого кластера, в формате: термин (его встречаемость).

Красный кластер (128 терминов, общая их встречаемость – 13591): energy security (574), energy resource (417), European union (372), crisis (344), Europe (315), energy market (279), Russia (256), actor (252), reform (229), institution (225), law (220), Ukraine (210), agreement (199), governance (199), turkey (191), cooperation (190), natural gas (188), agenda (187), energy strategy (179), oil (177).

Тематика данного кластера относится к вопросам энергетической безопасности стран Евросоюза, энергетическому кризису, связанному с поставками природного газа, военным конфликтом на Украине, выработкой энергетической стратегии ЕС и даже ролью Турции в поставках газа.

Зеленый кластер (97 терминов, общая их встречаемость – 8078): cost (527), generation (285), power plant (237), plant (219), coal (199), scheme (197), renewable energy technology (187), India (186), power generation (177), grid (169), electricity market (162), electricity generation (160), renewable energy resource (157), adoption (155), operation (146), solar energy (146), renewable source (131), biomass (127), wind (126), user (125).

Тематика данного кластера связана с ценой генерации электроэнергии, включая возобновляемую энергетику. Для больших развивающихся стран, наиболее представительной из которых является Индия, такие источники энергии как уголь и биомасса продолжают быть актуальными.

Синий кластер (74 термина, общая их встречаемость – 4491): household (356), survey (203), characteristic (162), intervention (149), interview (118), income (109), evaluation (104), Nigerium (99), Africa (97), firm (94), knowledge (91), behavior (91), access (81), energy poverty (81), energy country (80), energy cost (76), perception (75), sustainable development goal (74), renewable energy project (74), poverty (71).

Термины данного кластера отражают тематику энергетической бедности и доступности энергии для домохозяйств, учитывающей их доходы и цену энергии. Наиболее актуальной данная проблема является для стран Африки. Тема согласуется целью 7 устойчивого развития – доступная и чистая энергетика.

Хаки кластер (59 терминов, общая их встречаемость – 17495): energy consumption (603), economic growth (320), variable (219), evidence (215), relationship (196), carbon emission (169), technique (163), test (159), unit (145), policy implication (130), quality (109), electricity consumption (107), energy intensity (101), purpose study (89), panel (88), province (88), hypothesis (80), renewable

energy consumption (76), demand energy (74), procedure (73).

Термины данного кластера, в основном, отражают тематику энергопотребления, экономического роста, углеродных выбросов, технологий и политического подтекста.

Пурпурный кластер (53 термина, общая их встречаемость – 3959): scenario (656), reduction (208), pathway (154), policy instrument (151), climate energy policy (150), climate policy (135), Paris agreement (123), power sector (99), policy measure (96), emission reduction (95), energy model (91), assumption (85), policy decision (83), energy scenario (80), energy infrastructure (76), phase

(75), GHG emission (74), energy future (74), decarbonization (72), energy alternative (72),

Термины кластера отражают тематику сценариев реализации климатических аспектов энергетической политики.

Голубой кластер (22 термина, общая их встречаемость – 1773): building (382), city (212), performance (167), parameter (124), energy saving (105), simulation (95), saving (93), stock (71), temperature (62), heat (61), energy building (55), energy performance (51), range (49), house (41), heat pump (37), energy requirement (32), guide (30), energy efficiency building (28), total energy (28), energy efficiency program (22).

Рис. 5. 6 кластеров ключевых терминов, извлеченных из текстов заголовков и аннотаций 17 138 записей платформы The Lens

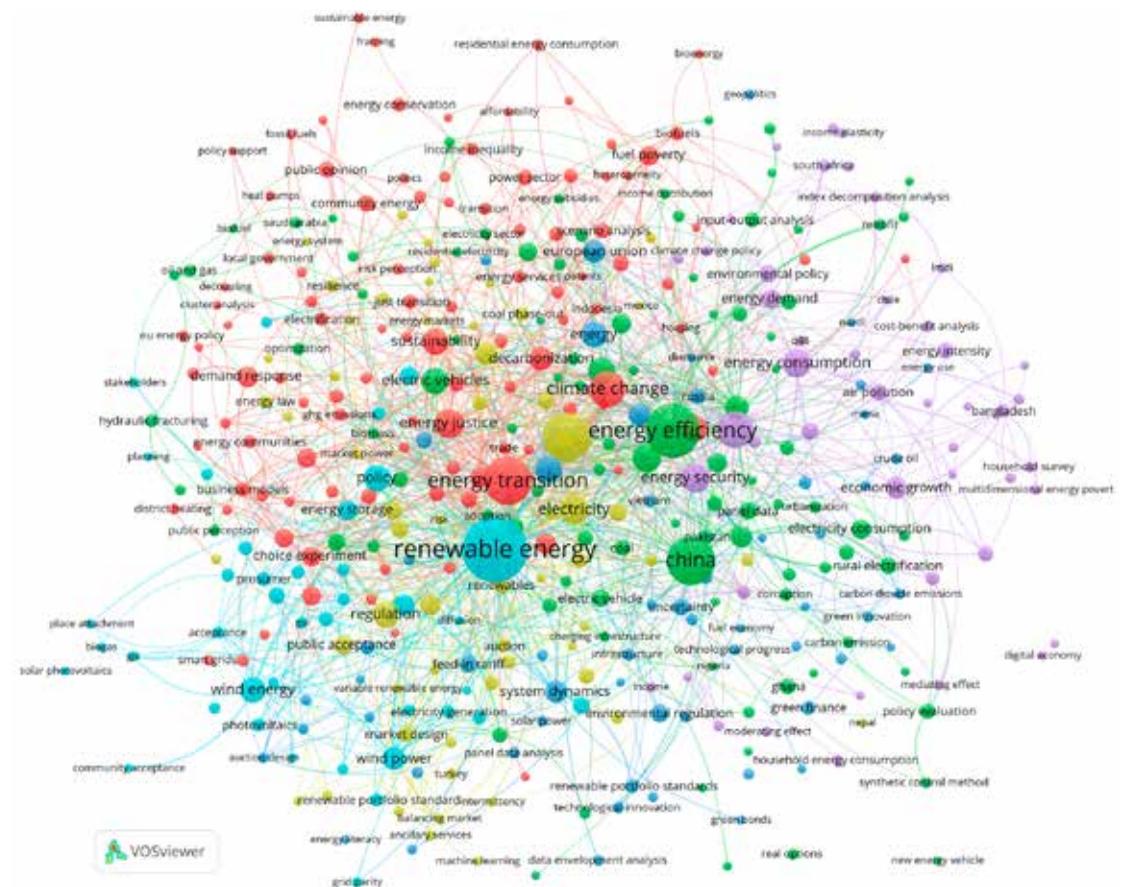
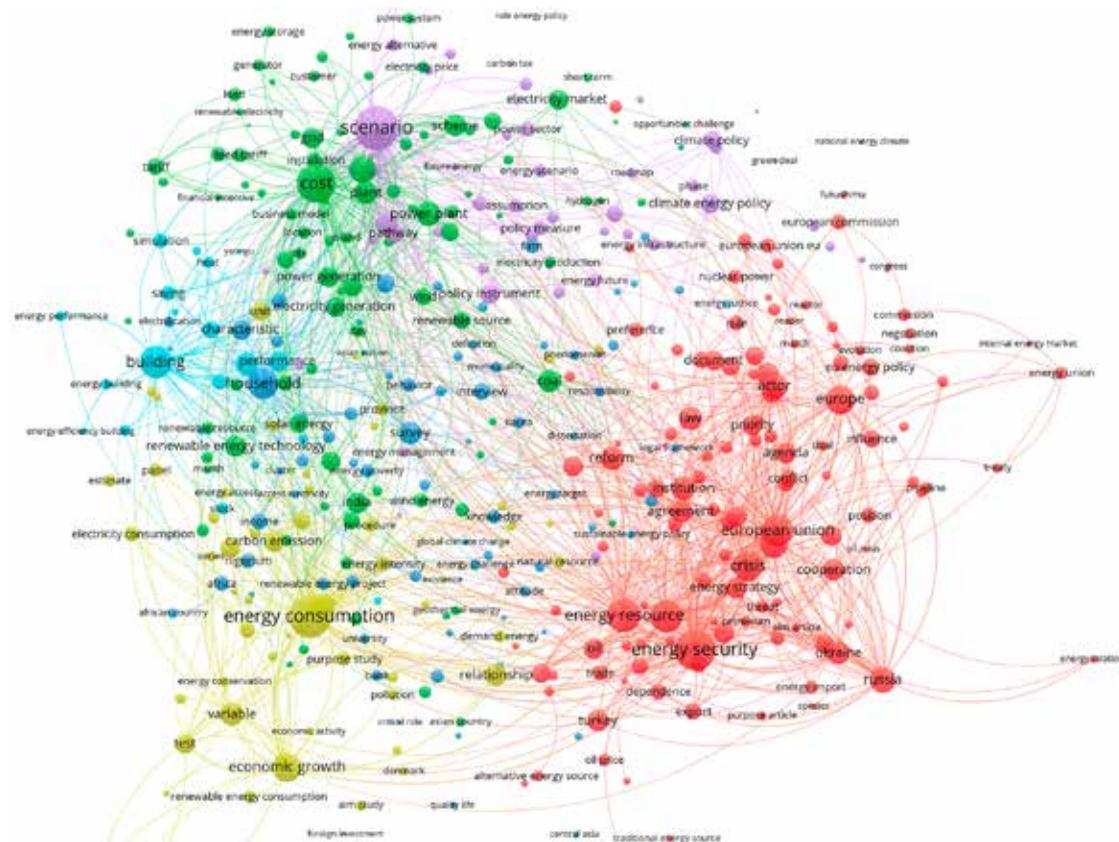


Рис. 6. 6 кластеров ключевых слов 2827 записей из журнала Energy Policy

Термины данного кластера связаны с тематикой энергосбережения и энергоэффективности зданий и городов. Стоит обратить внимание на продвигаемую в Европе тему тепловых насосов для зданий.

Для сравнения с рис. 5 представим 20 наиболее часто встречаемых терминов для каждого кластера, в формате: термин (его встречаемость).

Тематика публикаций в журнале Energy Policy за 2019–2023 гг. на основе анализа ключевых слов

Красный кластер (106 терминов, общая их встречаемость – 1268): energy transition (129), climate change (73), energy justice (47), co2 emissions (41), sustainability (39), decarbonization (31), demand response (25), innovation (24), electricity markets (22), nuclear energy (22), choice experiment (21), fuel poverty (21), social acceptance (21), flexibility (20), community energy (16), carbon pricing (15), households (15), public opinion (15), governance (14), solar (14).

На рис. 6 представлена кластеризация авторских ключевых слов по результатам анализа 2827 записей при условии минимума 40 ключевых слов в кластере.



Внесение данных в российской лаборатории
Источник: Wavebreakmedia / depositphotos.com

Самый большой кластер по числу уникальных терминов для библиометрических записей журнала Energy Policy посвящен энергетическому переходу, термины описывают актуальные задачи энергетического перехода, включая изменение климата, энергетическую справедливость, эмиссию CO₂, вопросы устойчивого развития, инноваций и т. д.

Зеленый кластер (99 терминов, общая их встречаемость – 1285): energy efficiency (161), China (132), India (46), climate policy (41), electric vehicles (40), carbon tax (31), energy access (26), electricity consumption (22), rebound effect (21), sustainable development (21), greenhouse gas emissions (20), Brazil (17), electric vehicle (17), panel data (17), Paris agreement (17), rural electrification (16), coal (15), incentives (15), Ghana (14), clean energy (13).

Ключевые слова данного кластера отражают важность энергетической эффективности таких стран как Китай, Индия, Бразилия и Гана в контексте Парижских соглашений по климату.

Синий кластер (59 терминов, общая их встречаемость – 577): carbon emissions (39), energy (38), European union (30), natural gas (28), system dynamics (28), environmental regulation (18), feed-in tariff (17), uncertainty (16), EU ets (14), Russia (14), Africa (11), Germany (11), green finance (11), renewable portfolio standards (11), carbon leakage (10), infrastructure (9), transport (9), Vietnam (9), efficiency (8), emissions (8).

Выбросы углерода – основная тема данного кластера, она касается не только конкретных стран и регионов, но и таких вопросов как «зеленое финансирование» и стандарты на возобновляемые источники энергии.

Хаки кластер (58 терминов, общая их встречаемость – 732): energy policy (132), electricity (51), regulation (40), decarbonisation (29), solar pv (25), public acceptance (20), hydrogen (19), renewable energy policy (19), electricity market (18), renewables (16), covid-19 (15), market design (15), renewable energy sources (15), auctions (13), discrete choice experiment (13), investment (12), wind (12), coal phase-out (11), auction (10), energy law (10).

Вопросы энергетической политики, согласно данному кластеру, охватывают широкий круг проблем, начиная от задач регулирования, технических, экономических и даже последствий пандемии вируса COVID, заканчивая законодательством в области энергетики.

Пурпурный кластер (46 терминов, общая их встречаемость – 527): energy poverty (75), energy security (47), energy consumption (45), economic growth (27), energy demand (22), developing countries (17), environmental policy (17), air pollution (16), energy intensity (14), financial development (13), carbon neutrality (11), difference-in-differences (11), Bangladesh (10), employment (10), south Africa (9), air quality (7), carbon intensity (7), climate change policy (7), cost-benefit analysis (7), health (7).

По сравнению с рис. 5, в данном случае тема энергетической бедности отражена более явно и связывается с одной стороны энергопотреблением для экономического развития развивающиеся стран, с другой – экологическими вызовами.

Голубой кластер (40 терминов, общая их встречаемость – 683): renewable energy (237), policy (39), wind energy (37), wind power (30), willingness to pay (27), energy storage (22), energy transitions (19), distributed energy resources (16), solar energy (16), battery storage (12), prosumer (11), survey (11), attitudes (10), electricity generation (10), photovoltaic (10), photovoltaics (10), renewable electricity (10), renewable energies (10), renewable portfolio standard (10), distributed generation (9).

Кластер объединяет термины, описывающие вопросы конкретных реализаций задач возобновляемой энергетики.

Ключевые слова публикаций этого журнала, также как тексты библиометрических записей платформы The Lens, хорошо отражают тему энергетического перехода. Следует подчеркнуть, что журнал имеет высокий рейтинг и, возможно, авторы могут ориентироваться на политическую актуальность тем исследований.

Следует отметить, что и кластеризация документов и терминов хорошо описывают основные проблемы энергетической политики в контексте перехода энергетики на возобновляемые источники энергии. Однако ни в первом, ни во втором случае не представлена тема инвестиций, без которых невозможен энергетический переход.

Такую ситуацию предположительно можно объяснить тем, что вопросы инвестиций достаточно равномерно распределены в текстах публикаций, а для оценки значимости терминов при кластеризации используются метрики типа TF-IDF. Кластеризация публикаций, как и кластеризация ключевых терминов, основывается на том, что в кластер входят схожие термины или документы, но отличные от других кластеров.

Продемонстрируем данное утверждение на примере составления конкорданса для термина investment для пяти кластеров, полученных с использованием сервиса Clustering App.

Использовались те же подготовленные тексты, что и при построении рис. 5 и параметры: Количество кластеров 5, количество слов для заголовка кластера 3, количество записей в кластере 3.

CLUSTER: 1: ENERGY POLICY EFFICIENCY
energy efficient technology implement investment project international cooperation direction

energy supplies formation competitive investment attractive energy market optimize consumption environment require increase investment scientific field promote measure energy audit financial analysis investment field determination source

CLUSTER: 2: ELECTRICITY POWER GENERATION

electricity deploy electricity consumption investment wind power price wind capacity TW level broken investment solar energy increase USD

panel data regress model investment installation price wind power electricity expect grow require extensive investment meet grow demand decade

conditions period study reduce investment cost electricity supply benefit

CLUSTER: 3: RENEWABLE ENERGY SOURCE
energy certificate renewable energy investment carbon emission

consumption study suggest increase investment renewable energy output energy

CLUSTER: 4: CHINA INDUSTRY DEVELOPMENT

dispute potential spill trade investment increase tension China Japan

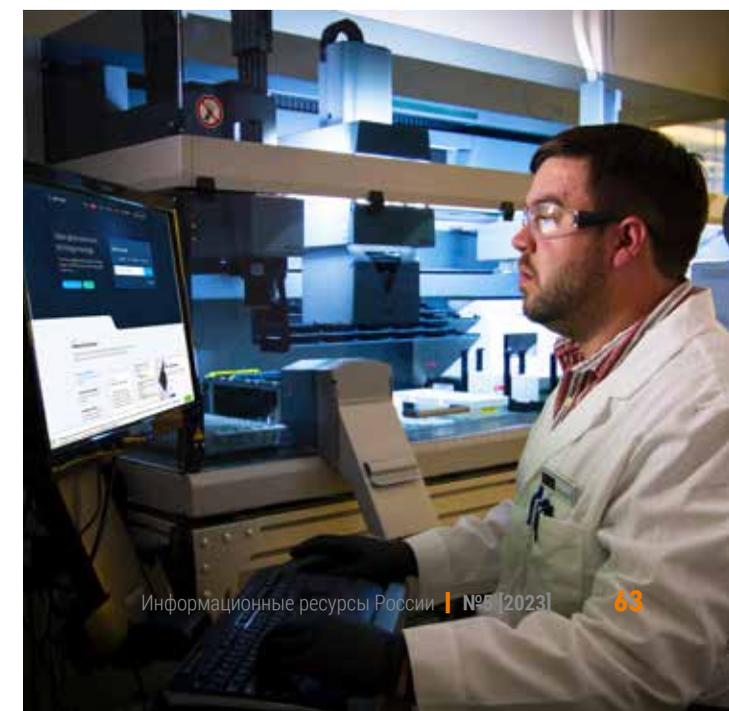
role China foreign direct investment China resource quest change

produce stock global direct investment China company grown billion

China natural resource trade investment trend context discuss precedent

successful rebalance China economy investment industrial production service domestic

Использование в работе платформы The Lens
Источник: National Cancer Institute / unsplash.com



bank China company compete investment opportunity develop country
 CLUSTER: 5: EUROPE EU GAS
 energy partnership transatlantic trade investment partnership Caspian region southern gas infrastructure anticipate financial boost investment plan Europe
 Europe structural investment funds connect Europe facility
 analyze revolution electricity market investment incentive upside renewable subsidy

Из приведенных данных видно, что термин **investment** встречается во всех кластерах, но в разном контексте. Похожая картина наблюдается, если число кластеров и отображаемых текстов увеличить до десяти.

В случае с термином «инвестиции» контекст может значительно отличаться, он встречается в различных публикациях, поэтому выделенный кластер, связанный с термином «инвестиции», может не сформироваться.

Выбор адекватных методов и критериев оценки таких терминов и их выявления требует отдельного рассмотрения.

Выводы и дальнейшие перспективы исследования

Открытые базы данных предоставляют достаточно возможностей для выявления актуальных задач исследования в определенной предметной области, в данном случае «Энергетической политики».

Платформа The Lens является рациональным начальным источником сбора и анализа материалов для выявления актуальных задач исследований.

Проанализированные материалы могут быть дополнены сведениями из других открытых источников, таких как реферативные базы издательств, а также Dimensions.ai, Core и т. д.

Тема «Энергетическая политика» в основном освещается в публикациях экономически развитых стран, таких как США, Китай, Англия, страны Европейского союза, Японии и Австралии. Развивающиеся страны в пер-

вую очередь представлены работами турецких и индийских авторов. Российских англоязычных материалов по теме «Энергетическая политика» достаточно мало – на уровне небольших европейских стран Норвегии и Швейцарии.

Среди журналов доминируют публикации в Energy Policy, журналах, связанных с энергетикой – Energies, Renewable and Sustainable Energy, а также Research Papers in Economics – сети архивов электронных документов по экономической тематике.

Выявление актуальных задач исследований, проведенное как на основе кластеризации публикаций, так и кластеризации ключевых терминов, показывает доминирование работ, посвященных вопросам энергетического перехода к возобновляемой энергетике и электрификации. Основные темы публикаций: энергетическая политика, возобновляемая энергетика, энергетический переход, энергетическая эффективность, энергетическая безопасность и энергетические системы.

Вопросам энергетической бедности и ископаемым источникам энергии уделяется меньше внимания в данных публикациях.

Проведенный анализ показал, что использование широко применяемых в настоящее время и дающих хорошие результаты методов определения тематик, основанный на кластеризации документов или кластеризации ключевых терминов может быть недостаточным.

Вопросы привлечения инвестиций часто встречаются в текстах заголовков и аннотаций, относящихся к разным кластерам, и не формируют свой, отдельный кластер.

Автор данной статьи считает целесообразным провести отдельное библиометрическое исследование тематики энергетического перехода, опираясь на данные альтернативной The Lens открытой реферативной платформы, а также применить в исследовании методы, отражающие тематику всего собранного материала, чтобы включить в анализ такие общие вопросы, как инвестиции или социальные аспекты энергетического перехода.

IDENTIFICATION OF TOPICAL ENERGY POLICY ISSUES IN PUBLICATIONS FROM OPEN ABSTRACT DATABASES

Chigarev Boris, Leading Engineer for Sci-Tech Information, Institute of Oil and Gas Problems, Russian Academy of Sciences, Ph.D. in Physics and Mathematics. E-mail: bchigarev@ipng.ru

Abstract. This article is devoted to the detection of topical issues of energy policy in publications presented in the open abstract databases The Lens and ScienceDirect. The main topics were identified by clustering the texts of titles and key terms. The analysis showed that the topics of publications are mainly related to the problems of energy transition to renewable energy sources. The majority of works are represented by studies of institutions of economically developed countries, as well as Turkey and India. There are relatively few Russian English-language materials on energy policy issues.

Keywords: energy policy, open abstract databases, The Lens, ScienceDirect, thematic analysis.

Библиографический список

1. Wuni I.Y., Shen G.Q.P., Osei-Kyei R. Scientometric review of global research trends on green buildings in construction journals from 1992 to 2018 // *Energy and Buildings*. 2019. Vol. 190. P. 69–85. DOI: 10.1016/j.enbuild.2019.02.010.
2. Secinaro S. et al. Employing bibliometric analysis to identify suitable business models for electric cars // *Journal of Cleaner Production*. 2020. Vol. 264. P. 121503. DOI: 10.1016/j.jclepro.2020.121503.
3. Joita D. et al. The European Dilemma—Energy Security or Green Transition // *Energies*. 2023. Vol. 16. № 9. P. 3849. DOI: 10.3390/en16093849.
4. Yao Y. et al. Fifty years of Energy Policy: A bibliometric overview // *Energy Policy*. 2023. Vol. 183. P. 113769. DOI: 10.1016/j.enpol.2023.113769.
5. Ali M. et al. Bridging the divide in energy policy research: Empirical evidence from global collaborative networks // *Energy Policy*. 2023. Vol. 173. P. 113380. DOI: 10.1016/j.enpol.2022.113380.
6. What About The Lens [Electronic resource]— URL: <https://about.lens.org> (accessed: 16.11.2023).
7. Lingo3G Basic concepts [Electronic resource]— URL: <https://get.carrotsearch.com/lingo3g/manual/basic-concepts/> (accessed: 16.11.2023).
8. Van Eck N.J., Waltman L. Software survey: VOSviewer, a computer program for bibliometric mapping // *Scientometrics*. 2010. Vol. 84, № 2. P. 523–538. DOI: 10.1007/s11192-009-0146-3.
9. ScienceDirect | Peer reviewed literature | Elsevier [Electronic resource]— URL: <https://www.elsevier.com/products/sciencedirect> (accessed: 16.11.2023).
10. Krovetz R. Viewing morphology as an inference process // *Artificial Intelligence*. 2000. Vol. 118, № 1–2. P. 277–294. DOI: 10.1016/S0004-3702(99)00101-0.
11. Clustering App [Electronic resource]— URL: <https://ml-clustering.ew.r.appspot.com/> (accessed: 16.11.2023).
12. Rouzer S.K., Kalinowski L.M., Kaseda E.T. The importance of promoting scientific advocacy & outreach for trainees // *Neuropsychopharmacol.* 2023. Vol. 48, № 5. P. 713–715. DOI: 10.1038/s41386-023-01530-6.

Bibliography:

1. Wuni I.Y., Shen G.Q.P., Osei-Kyei R. Scientometric review of global research trends on green buildings in construction journals from 1992 to 2018 // *Energy and Buildings*. 2019. Vol. 190. P. 69–85. DOI: 10.1016/j.enbuild.2019.02.010.
2. Secinaro S. et al. Employing bibliometric analysis to identify suitable business models for electric cars // *Journal of Cleaner Production*. 2020. Vol. 264. P. 121503. DOI: 10.1016/j.jclepro.2020.121503.
3. Joita D. et al. The European Dilemma—Energy Security or Green Transition // *Energies*. 2023. Vol. 16. № 9. P. 3849. DOI: 10.3390/en16093849.
4. Yao Y. et al. Fifty years of Energy Policy: A bibliometric overview // *Energy Policy*. 2023. Vol. 183. P. 113769. DOI: 10.1016/j.enpol.2023.113769.
5. Ali M. et al. Bridging the divide in energy policy research: Empirical evidence from global collaborative networks // *Energy Policy*. 2023. Vol. 173. P. 113380. DOI: 10.1016/j.enpol.2022.113380.
6. What About The Lens [Electronic resource]— URL: <https://about.lens.org> (accessed: 16.11.2023).
7. Lingo3G Basic concepts [Electronic resource]— URL: <https://get.carrotsearch.com/lingo3g/manual/basic-concepts/> (accessed: 16.11.2023).
8. Van Eck N.J., Waltman L. Software survey: VOSviewer, a computer program for bibliometric mapping // *Scientometrics*. 2010. Vol. 84, № 2. P. 523–538. DOI: 10.1007/s11192-009-0146-3.
9. ScienceDirect | Peer reviewed literature | Elsevier [Electronic resource]— URL: <https://www.elsevier.com/products/sciencedirect> (accessed: 16.11.2023).
10. Krovetz R. Viewing morphology as an inference process // *Artificial Intelligence*. 2000. Vol. 118, № 1–2. P. 277–294. DOI: 10.1016/S0004-3702(99)00101-0.
11. Clustering App [Electronic resource]— URL: <https://ml-clustering.ew.r.appspot.com/> (accessed: 16.11.2023).
12. Rouzer S.K., Kalinowski L.M., Kaseda E.T. The importance of promoting scientific advocacy & outreach for trainees // *Neuropsychopharmacol.* 2023. Vol. 48, № 5. P. 713–715. DOI: 10.1038/s41386-023-01530-6.

ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ЛЕСНОГО МОНИТОРИНГА С ПРИМЕНЕНИЕМ КОСМИЧЕСКИХ СНИМКОВ И ГИС

Музыка Сергей
Доцент кафедры
охотоведения и биоэкологии,
Иркутский государственный
аграрный университет
им. А. А. Ежовского
E-mail: ignitmuz@mail.ru

Сутугина Ирина
Преподаватель кафедры
информационных систем,
технологий и автоматизации
в строительстве,
Национальный
исследовательский
Московский государственный
строительный университет
E-mail: SutuginalM@mgsu.ru

Аннотация. Одним из перспективных методов получения информации о природных ресурсах и в том числе лесных ресурсов является применение аэрокосмических съемок, получение и обработка данных с помощью географических информационных систем (ГИС) и другие современные цифровые технологии. В статье представлена информация о возможностях ведения мониторинга и картографирования лесных ресурсов по материалам аэрокосмических съемок, а также рассмотрены вопросы оптимизации наземных маршрутов с использованием космических снимков, программного комплекса ArcGis и MS Excel.

Ключевые слова:

лесные ресурсы, географические информационные системы, дистанционное зондирование, аэро- и космические снимки, дешифрирование, цифровая фотограмметрическая обработка снимков, оптимизация наземных маршрутов.

Введение

В целях информационного обеспечения управления лесным хозяйством высокоточной и оперативной информацией о состоянии лесов и изменениях в лесном фонде Российской Федерации могут применяться современные цифровые технологии, системы искусственного интеллекта и материалы дистанционного зондирования. [5, 3].

Использование материалов аэро- и космических съемок сокращает объемы и стоимость работ за счет: снижения количества полевых работ, сокращения привлекаемого для работ персонала; снижения трудозатрат в процессе камеральных работ, уменьшения сроков получения и обработки данных, повышения качества и достоверности пространственной информации.

Под руководством к. б. н., доцента С. Музыка Ю. Селивановым была разработана методика по оценке элементов среды обитания объектов животного мира [4] по материалам мониторинга на участках общей площадью 10550 га, расположенных в Иркутской области (рис. 1) и Красноярском крае.

Экспериментальные работы при разработке методики состояли из подготовительных работ, полевой маршрутной съемки, камеральной обработки данных. Проведено дешифрирование аэрокосмических снимков территории, которая покрыта однородной по составу лесной растительностью. По всему объекту ра-

бот могли быть использованы одинаковые дешифровочные признаки.

Работа выполнена по цветным космическим снимкам, полученным из разных источников: системы Arc GIS; Яндекс; Bing; Google; Here и динамической электронной топоосновы Маршруты.ру.

Для обработки материалов использовано свободное программное обеспечение SAS Планета (рис. 1). После предварительного дешифрирования, в пределах полученных контуров наносились точки, по которым должна быть проведена оценка естественных условий обитания животных.

При использовании открытых данных дистанционного зондирования возможны сложности с определением даты съемки и последовательности снимков, не все параметры необходимые для таксационного дешифрирования снимков могут быть рассчитаны [4]. Ошибка в определении координат точек местности этими методами может достигать 20 м, что соответствует точности масштаба 1:25000 и мельче.

При разработке методики был изучен фактический состав лесонасаждений, установлены связи между фактическим составом лесонасаждений и их изображением на аэрокосмических фотоснимках, лесные массивы разделены на участки на уровне типов охотоугодий, определены контура границ и площадей лесных участков с однородными характеристиками.

**Линейное
программирование
дает возможность
получить
оптимальные
решения,
имитационное
моделирование
позволяет
проложить
наиболее
приемлемые
маршруты**

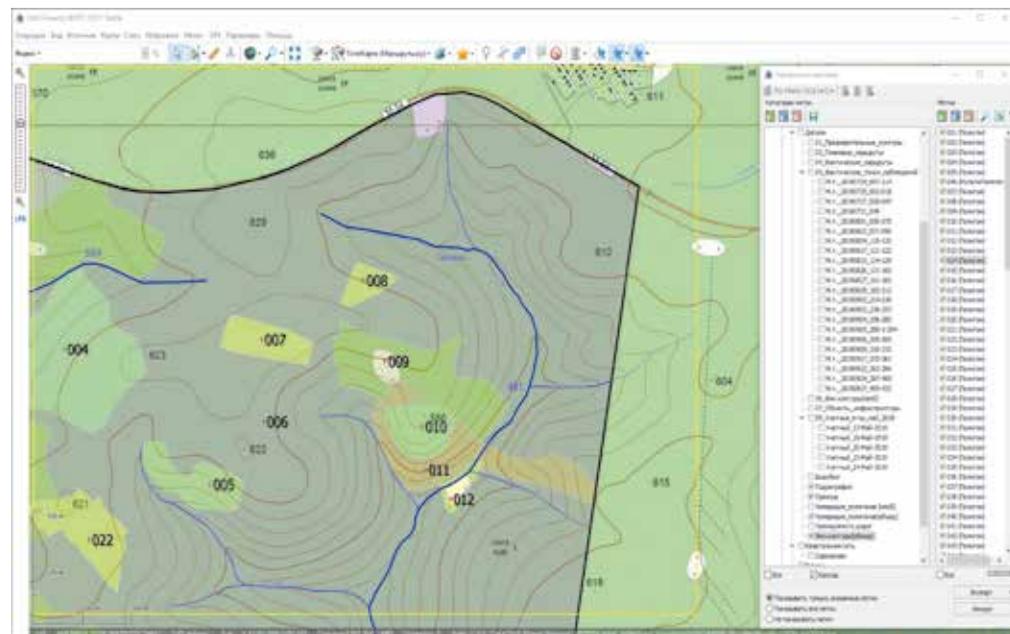


Рис. 1. Рабочая область программы SAS.Планета

Объект и результаты исследований

Объектом исследований для разработки методики стал охотничий участок «Саржаково», расположенный на территории Емельяновского муниципального района Красноярского края, объектом экспериментального применения методики – участок «Голоустное» Иркутской области.

В результате исследований, проведенных на участке «Саржаково» был накоплен материал, установлены уверенные взаимосвязи между дешифровочными признаками и фактическим составом лесонасаждений и разработана методика охотничьего картографирования, опробованная в незнакомой местности (участок «Голоустное»).

При проведении работ применялись не только дистанционные, но и наземные методы исследований.

Маршруты планировались в расчете на один день, с возвращением после завершения маршрута в город. Подъезд к точкам начала маршрута осуществлялся на автотранспорте.

Маршрутными исследованиями в большем объеме охвачена центральная и западная часть района, поскольку здесь присутствуют многочисленные разновозрастные вырубки. Область наибольшего сгущения точек наблюдения приходится на юго-запад территории в связи с пестрым составом ее лесонасаждений. Восточная часть территории в меньшей части охвачена маршрутной съемкой в связи с труднодоступностью этих районов, а также более однородным составом лесов. Эти площади покрыты в основном перестойными хвойными лесами, по большей части непроходимыми.

Точки наблюдения закладывались таким образом, чтобы их местоположение находилось в месте, отражающем общий фон, цвет и текстуру характеризуемого этой точкой выдела (полигона).

Маршруты закладывались в основном круговые, с началом и выходом на проезжих дорогах, чтобы максимально сократить величину пустого хода. Кроме основных точек наблюдения в маршрутах планировалось фиксировать

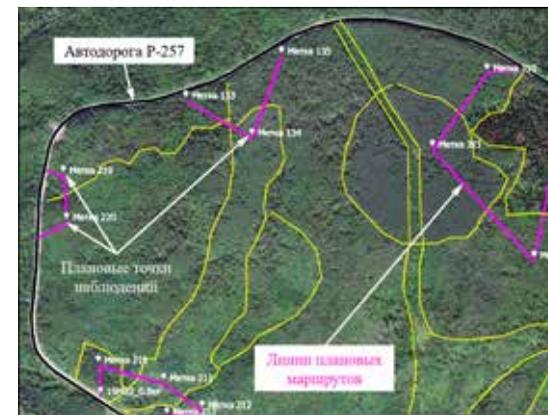


Рис. 2. Планирование точек наблюдения и маршрутов на снимках

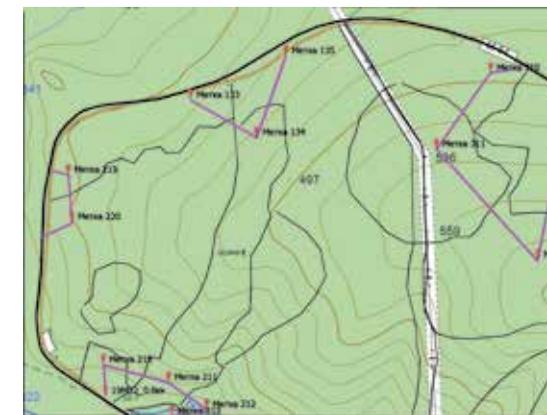


Рис. 3. Рабочий экран GPS-приемника с контурами выделов, линиями маршрутов и точками наблюдений

сировать точки смены характера леса по ходу движения. Для этого в GPS приемник загружалась топооснова с нанесенными на нее предварительными контурами (рис. 2–3).

Данные, полученные в конкретной точке наблюдения затем распространялись на весь участок, ограниченный непрерывным контуром на карте, который эта точка характеризует.

В каждой точке наблюдения описывались такие элементы как состав древостоя, сомкнутость полога, состав, густота и характер распределения по территории подроста и подлеска, виды травяного и мохового покрова и степень покрытия ими почвы.

На основании полученной информации на этапе камеральной обработки определялась группа типов лесного массива и его возраст.

Грамотное построение маршрутов с использованием специального программного обеспечения, географических информационных систем на основе аэрофотоснимков и карт местности может существенно сократить время на выполнение полевых работ и соответствующие затраты.

В настоящее время авторами ведется работа по оптимизации маршрутов для представленных в работе объектов в Иркутской области с использованием MS Excel и Arc GIS

на основе аэрокосмических снимков и карт местности.

Задачи по оптимизации маршрутов чаще всего решаются для сферы логистики и доставки, но могут быть использованы и для других задач. При этом возможно учесть в расчетах такие факторы как загруженность дорог, доступность точек доставки, расход топлива и другие.

Использование Яндекс.Карт, Google Maps и MS Excel для планирования маршрутов – наиболее доступный инструмент для многих организаций, занимающихся логистикой.

Задача коммивояжера позволяет найти самый короткий маршрут, чтобы посетить каждую точку один раз и затем вернуться в начальную точку [6].

Для решения задачи необходимо использовать пакеты прикладных программ.

Основной целью задачи – минимизация общей стоимости транспортировки [2].

Вопрос назначения представляет из себя задачу, где из каждого пункта производства в каждый пункт потребления перевозится только один товар.

Другой вариант, когда число пунктов производства будет равно количеству пунктов назначения. При этом транспортная таблица приобретет форму квадрата. В каждом пункте назначения объем потребности будет равен 1,

а при этом величина предложения от каждого пункта производства будет равна 1. Такие задачи решаются с применением алгоритмов решения транспортной задачи, а также методов линейного программирования.

Когда использование математических моделей затруднено, может применяться имитационное моделирование. Метод имитационного моделирования применяют в сложных ситуациях вариантов расчетов.

Методы линейного программирования дают возможность получить оптимальные решения. Методы имитационного моделирования позволяют проложить маршруты, приводящие к наилучшим результатам.

Перед тем, как применять имитационную модель на реальных задачах нужно оценить ее надежность, провести расчеты на длительный интервал времени, получить репрезентативные характеристики. Для вычислений имитационных моделей чаще всего применяют пакеты прикладных программ.

Сегодня для решения транспортных задач могут применяться также методы искусственного интеллекта [1].

Транспортные задачи стали интересны для специалистов Data Science. Это связано с тем, что появился большой объем разнообразных данных, которые могут быть проанализированы в комплексе.

Для целей оптимизации маршрутов применяют большие данные с видеокамер и устройств IoT и GPS, установленных на автомобилях и объектах транспортной инфраструктуры. На автомобилях устанавливаются телеметрические системы для определения местоположения, скорости, уровня топлива, состояния двигателя, веса, габаритов грузов, температуры, стиля вождения.

Выводы

Развитие вычислительных технологий позволило создавать более сложные модели и обрабатывать большие объемы данных.

Для составления оптимальных маршрутов движения могут успешно применяться данные и различные методы искусственного интеллекта.

Такие нейронные сети как Graph Neural Network (GNN), Pointer Network в комбинации с другими методами (Graph Neural Network (GNN) и её комбинация с Monte Carlo Tree Search (MCTS), или Pointer Network в комбинации с DRL, работающие по принципам обучения с подкреплением, где модели обучаются и оптимизируют решения на основе обратной связи).

Dynamic Attention Model, Simulated Annealing – модели, которые используют принципы внимания и обучения с подкреплением.

В Multi-Agent Architecture for Metaheuristics используются различные методы и алгоритмы поиска оптимального маршрута и несколько агентов работают совместно» [1].

Оптимизация маршрутов дает существенные преимущества по сравнению с ручным планированием поездок. Эта автоматизация маршрутизации снижает пробег автомобилей на 20–30%, что в дальнейшем оказывает влияние на снижение общих затрат компании, занимающейся доставкой [1].

Для оптимизации маршрутов для проведения мониторинга лесных ресурсов в представленной работе на первом этапе маршруты были проложены вручную по космическим снимкам и картам, затем загружены в GPS-приемник. На данном этапе работ планируется применение программных продуктов: MS Excel и Arc Gis и подготовка оптимизированных маршрутов.

В Microsoft Excel будет разработана вычислительная модель и рассчитан оптимальный маршрут движения без учета положения дорог на реальной карте.

Маршруты движения автомобилей между географическими точками с использованием критерия минимума стоимости доставки при наличии проходимости реальных дорог, полученной по карте местности и аэрокосмическим снимкам будут спроектированы в программном комплексе Arc Gis.

По результатам выполнения работы должна быть получена графическая схема минимальных маршрутов между точками наблюдения с учетом видимости дорог на космических снимках.

INFORMATION SUPPORT FOR FOREST MONITORING USING SATELLITE IMAGES AND GIS

Muzyka Sergey, Associate Professor of the Department of Hunting and Bioecology, Irkutsk State Agrarian University named after A.A. Ezhevsky. E-mail: ignitmuz@mail.ru

Sutugina Irina, Federal State Educational Institution of Higher Education «National Research Moscow State University of Civil Engineering» (NRU MGSU), Department of Information Systems, Technologies and Automation in Construction, a teacher. E-mail: SutuginaIM@mgsu.ru

Abstract. One of the promising methods of obtaining information about natural resources, including forest resources, is the use of aerospace surveys, data acquisition and processing using geographic information systems (GIS) and other modern digital technologies. The article provides information on the possibilities of monitoring and mapping forest resources based on aerospace surveys, as well as considers issues of optimizing ground routes using satellite images, the ArcGIS and MS Excel software package.

Keywords: forest resources, geographic information systems, remote sensing, aerial and space images, decryption, digital photogrammetric image processing, optimization of ground routes.

Библиографический список

1. Ведерникова, О. Оптимизация маршрутов: инструменты, примеры и советы по использованию. [Электронный ресурс]. – URL: <https://blogs.epsilonmetrics.ru/route-optimization/?ysclid=1q48p61eoy99009450>, 2023.
2. Гаряев Н.А. Оптимизация процессов и принятие решений [Электронный ресурс]: конспект лекций по дисциплине «Оптимизация процессов и принятие решений» для студентов бакалавриата очной формы обучения направления подготовки 09.03.01 Информатика и вычислительная техника // Минобрнауки России, НИУ МГСУ, кафедра информационных систем, технологий и автоматизации в строительстве. Москва, 2015. Учебное сетевое электронное издание.
3. Музыка С.М., Сутугина И.М. Возможности изучения среды обитания животных на основе цифровой обработки данных дистанционного зондирования Земли в программном комплексе «Photomod» [Текст] / С.М. Музыка, И.М. Сутугина // Изд-во Уральского ГАУ. Екатеринбург. Научно-практический журнал «Аграрное образование и наука». № 3, 2021. С. 5.
4. Селиванов Ю.А. Методика качественной оценки элементов среды обитания объектов животного мира / Ю.А. Селиванов, С.М. Музыка // Значение научных студенческих кружков в инновационном развитии агропромышленного комплекса региона. Сборник научных тезисов студентов. Иркутск, 26–27 ноября 2019 года. Иркутский государственный аграрный университет им. А.А. Ежевского, 2019. С. 64–65.
5. Сутугина, И.М., Музыка, С.М. Мониторинг лесных ресурсов по материалам аэро- и космической съемки [Текст] // Развитие научно-ресурсного потенциала аграрного производства: приоритеты и технологии: материалы I Национальной научно-практической конференции с международным участием, посвященной памяти доктора технических наук, профессора Н.В. Бышова. Рецензируемое научное издание. Рязань: Издательство Рязанского государственного агротехнологического университета, 2021.

Bibliography:

1. Vedernikova O. Route optimization: tools, examples and tips for using [Electronic resource] // – URL: <https://blogs.epsilonmetrics.ru/route-optimization/?ysclid=1q48p61eoy99009450>, 2023.
2. Gariaev N.A. Optimization of processes and decision making [Electronic resource]: lecture notes on the discipline "Optimization of processes and decision making" for bachelor students of full-time education in the direction of training 09.03.01 Informatics and computational technology / Ministry of Education and Science of Russia, NIU MGSU, Department of Information Systems, Technologies and Automation in Construction. Moscow, 2015. Educational network electronic edition.
3. Muzyka S.M., Sutugina I.M. Possibilities of studying the habitat of animals based on digital processing of remote sensing data of the Earth in the software complex "Photomod" [Text] / S.M. Muzyka, I.M. Sutugina // Scientific and practical journal "Agrarian education and science", No. 3, publisher: Ural GAU. Yekaterinburg, 2021. P. 5.
4. Selivanov Yu.A. Methodology of qualitative assessment of habitat elements of wildlife objects / Yu.A. Selivanov, S.M. Muzyka // The value of scientific student circles in the innovative development of the agro-industrial complex of the region: Collection of scientific abstracts of students, Irkutsk, November 26-27, 2019. Irkutsk: Irkutsk State Agrarian University named after A.A. Ezhevsky, 2019. P. 64–65.
5. Sutugina, I.M., Muzyka, S.M. Monitoring of forest resources based on aerial and space survey [Text] // Development of scientific and resource potential of agricultural production: priorities and technologies: materials of the I National scientific and practical conference with international participation, dedicated to the memory of Doctor of Technical Sciences, Professor N.V. Byshov. Reviewed scientific publication. Ryazan: Publishing House of Ryazan State Agrotechnological University, November 23, 2021.



ИНФОРМАЦИОННЫЕ РЕСУРСЫ РОССИИ

УЧРЕДИТЕЛЬ ЖУРНАЛА

РЭА МИНЭНЕРГО
РОССИИ

12+



irr@rosenergo.gov.ru

ISSN 0204-3653

Свидетельство о регистрации СМИ ПИ № 77-12208 от 29 марта 2002 г.
Учредитель и издатель ФГБУ «РЭА» Минэнерго России
Тираж до 500 шт.
Периодичность выхода 6 раз в год

Журнал включен в Перечень рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук

Руководитель научно-редакционного совета – д. т. н. директор Пермского Центра научно-технической информации-филиала «РЭА» Минэнерго России **Александр Трусов**

Научно-редакционный совет

Лобанов И. В. – к. ю. н., ректор РЭУ им. Г.В. Плеханова, **Бирман Н. Я.** – к. т. н., профессор, библиотекарь Information Center of Green library at Stanford University, USA; **Гуриев М. А.** – д. т. н. профессор, директор по работе с гос. учреждениями Samsung Electronics in CIS; **Дзегеленок И. И.** – д. т. н., профессор НИУ «МЭИ»; **Каленов Н. Е.** – д. т. н., профессор, главный научный сотрудник МСЦ РАН; **Коллин К. К.** – д. т. н., профессор, главный научный сотрудник ИПИ РАН, заслуженный деятель науки РФ, действительный член Международной академии наук (Инсбрук, Австрия), Российской академии естественных наук и Международной академии наук высшей школы; **Левнер Е. В.** – доктор философии, профессор, Университет Бар-Илан (Bar-Ilan University), г. Рамат Ган (Израиль) и Ашкелонский Академический Колледж, г. Ашкелон (Израиль); **Подлесный С. А.** – к. т. н., профессор, советник ректора, «Сибирский федеральный университет», заслуженный работник высшей школы РФ; **Сотников А. Н.** – д. ф.-м. н., профессор, заслуженный деятель науки РФ, заместитель директора МСЦ РАН; **Трусов А. В.** – д. т. н., директор Пермского Центра научно-технической информации – филиала «РЭА» Минэнерго России, **Цветкова В. А.** – д. т. н., профессор кафедры библиотечно-информационных наук МГИК, **Антопольский А. Б.** – д. т. н., профессор, главный научный сотрудник ИНИОН РАН, **Лопатина Н. В.** – д. п. н., заведующий кафедрой библиотечно-информационных наук, Московский государственный институт культуры, ведущий научный сотрудник Федерального института промышленной собственности Роспатента, **Поляк Ю. Е.** – ведущий научный сотрудник, Центральный экономико-математический институт РАН

При использовании материалов ссылка на журнал обязательна.

Перепечатка материалов возможна только с письменного разрешения редакции.

Позиция и мнение авторов статей может не совпадать с мнением редакции.

Специальности ВАК:

05.13.17 – Теоретические основы информатики (технические науки),

05.25.05 – Информационные системы и процессы (технические науки)

2.3.1 – Системный анализ, управление и обработка информации (физико-математические науки)

Адрес и контакты:

129085, г. Москва,
проспект Мира, д. 105, стр. 1

Главный редактор журнала ИРР

Анна Горшкова

Телефон: +7 910 463-53-57

E-mail: anna.gorshik@yandex.ru,

gorshkova@rosenergo.gov.ru

Заместитель главного редактора

по подписке, распространению

и продвижению журнала «ИРР»

Виолетта Локтева

Телефон: +7 903 733-72-57

E-mail: Lokteva@rosenergo.gov.ru

Scientific Editorial Board

Lobanov I. – PhD in Law, Rector of the Russian University of Economics G.V. Plekhanov, **Birman N.** – Ph. D., Professor, librarian Information Center of Green library at Stanford University, USA; **Guriev M.** – Grand Ph. D. in Engineering, Professor, Director of work with state institutions Samsung Electronics in CIS; **Dzegelenok I.** – Grand Ph. D. in Engineering, Professor of National Research University "MPEI"; **Kalenov N.** – Grand Ph. D. in Engineering, Professor, Chief Researcher of MSC RAS; **Colin K.** – Grand Ph. D. in Engineering, Professor, Chief Researcher of the IPI RAS, Honored Worker of Science of the Russian Federation, full member of the International Academy Sciences (Innsbruck, Austria), Russian Academy of Natural Sciences and the International Academy of Sciences of Higher Education; **Levner E.** – Ph. D., Professor, Bar-Ilan University (Bar-Ilan University), Ramat Gan (Israel) and Ashkelon Academic College, Ashkelon (Israel); **Podlesny S.** – Ph. D., Professor, Adviser to the rector, "Siberian Federal University", Honored Worker of the Higher School of the Russian Federation; **Sotnikov A.** – Dr. Sc. (Phys.-Math.), Professor, Honored Worker of Science of the Russian Federation, Deputy Director of the ISC RAS; **Trusov A.** – D.Sc, Associate Professor, Director of the PermCenter for Scientific and Technical Information (TSNTI) – branch of "REA" Ministry of Energy of Russia; **Tsvetkova V.** – Grand Ph. D. in Engineering, Professor, Department Informatization of culture and electronic libraries of the Moscow State Institute of Culture and Arts; **Antopolsky A.** – Grand Ph. D. in Engineering, Professor, Chief Researcher of INION RAS; **Lopatina N.** – Ph. D., Head of the Department of Library and Information Sciences, Moscow State Institute of Culture, Leading Researcher, Federal Institute of Industrial Property of Rospatent; **Polyak Y.** – Leading Researcher, Central Economics and Mathematics Institute of the Russian Academy of Sciences

