

УДК 620.9:004

doi: 10.15622/rcai.2025.005

## МЕТОДЫ ПОСТРОЕНИЯ ЭКОСИСТЕМЫ ЗНАНИЙ НА ПРИМЕРЕ ЭНЕРГЕТИКИ<sup>1</sup>

Л.В. Массель (*massel@isem.irk.ru*)

А.Г. Массель (*amassel@isem.irk.ru*)

В.Р. Кузьмин (*kuzmin\_vr@isem.irk.ru*)

Институт систем энергетики имени Л.А. Мелентьева СО РАН,  
Иркутск

В статье рассмотрен подход к построению экосистемы знаний (на примере энергетики), как инновационного подхода к управлению знаниями. Предлагается архитектура цифровой платформы, как основы экосистемы знаний. Используется опыт авторов, полученный при построении ИТ-инфраструктуры системных исследований в энергетике. Методы построения экосистемы знаний определяются архитектурой цифровой платформы, частично апробированы в предыдущих работах авторов. Предлагается использовать имеющиеся авторские научные прототипы инструментальных средств, которые могут стать основой разрабатываемых сервисов.

**Ключевые слова:** управление знаниями, экосистема знаний, цифровая платформа, энергетика.

### Введение

В условиях стремительной цифровизации современного мира информация приобрела характер ключевого стратегического ресурса, а эффективное управление знаниями стало критическим фактором конкурентоспособности и устойчивого развития. Особую актуальность этот тезис получает в сложных, наукоемких отраслях, например, таких, как энергетика, где объемы данных, необходимых для принятия решений, растут экспоненциально.

Управление знаниями является важной составляющей развития организаций и инструментом, позволяющим его сотрудникам справляться с огромными объемами данных по нескольким причинам: 1) в эпоху ин-

---

<sup>1</sup> Результаты получены в рамках выполнения проекта по госзаданию ИСЭМ СО РАН FWEU-2021-0007 № AAAA-A21-121012090007-7.

формационных технологий (ИТ) компании получили доступ к такому объему информации (внутренней и внешней), что выявление актуальной информации, необходимой для принятия решений, требует значительных усилий; 2) из-за постоянных изменений во внешней среде знания довольно быстро теряют свою актуальность, поэтому компаниям необходимо быстро находить и применять новые знания; 3) все больше компаний осознают, что ошибки и незнание проблемы ссылок могут иметь фатальные последствия [Гаврилова и др., 2017].

В настоящее время всё большее распространение, по мере развития цифровой экономики, получает термин «Цифровая экосистема». Под этим термином понимается сеть взаимосвязанных цифровых технологий, услуг и платформ, которые взаимодействуют друг с другом для создания ценности для потребителей и бизнеса.

Основой цифровой экосистемы является цифровая платформа, под которой понимают систему средств, поддерживающую использование цифровых процессов, ресурсов и сервисов значительным количеством субъектов цифровой экосистемы и обеспечивающую возможность их бесшовного взаимодействия<sup>2</sup>. Создание экосистемы знаний на основе цифровой платформы предполагает дополнительную разработку организационных соглашений, регламентирующих отношения разработчиков и пользователей (бенефициаров) экосистемы знаний.

В статье выполнен анализ современного состояния этой области исследований в России и за рубежом, рассмотрены предлагаемая архитектура цифровой платформы экосистемы знаний (на примере энергетики) и методы ее построения.

## **1. Экосистема знаний**

В зарубежной литературе экосистемы знаний рассматриваются с конца 90-х годов [Shrivastava, 1998], подробный разбор понятия и работ по этой тематике был приведён в статье [Robertson, 2020]. В России вопрос экосистем знаний проработан хуже, чем в зарубежных публикациях, интерес к этой тематике стал проявляться относительно недавно, в статьях еще используется различная терминология для данного термина, как, например, «экосистема управления знаниями» [Кулясова и др., 2019], «экосистема знаний» [Масюк и др., 2022] или «знаниевая экосистема» [Абузярова, 2021].

---

<sup>2</sup> Решение Высшего Евразийского экономического совета от 11.10.2017 № 12 «Об основных направлениях реализации цифровой повестки Евразийского экономического союза до 2025 года».

Концепция «Экосистемы знаний» представляет собой инновационный подход к управлению знаниями, который направлен на развитие взаимодействия между участниками обмена, упрощение процесса принятия решений, а также на стимулирование инноваций путём эволюции сотрудничества между участниками [Shrivastava, 1998].

Экосистемы знаний основаны на активном вовлечении разработчиков и пользователей в совместное создание, изучение и применение общей базы знаний, что приносит пользу всем участникам. Участие в такой экосистеме позволяет субъектам преобразовывать первоначально полученные знания в новые – для коммерциализации продуктов/услуг или для открытия недоступных в одиночку бизнес-моделей и процессов [Järvi et al., 2018].

Поскольку суть экосистем знаний заключается в коллективном обмене знаниями, знания становятся ключевым инструментом взаимодействия между участниками. Результатом на уровне экосистемы обычно являются исследовательские знания и связанные с ними приложения, создаваемые и изучаемые участниками совместно как общий ресурс. Таким образом, экосистемы знаний можно определить как организации, объединяющие разнородных участников вокруг совместного поиска ценных знаний, при этом сохраняющих свою автономную деятельность за пределами этой экосистемы [Scaringella et al., 2018], [Valkokari, 2015].

В отличие от многих других типов экосистем, экосистемы знаний характеризуются ориентацией организаций-участников на исследования, причем эти исследования носят широкий и фундаментальный характер, что позволяет компаниям и другим акторам адаптировать или модифицировать полученные знания под свои конкретные контексты и потребности.

Участников экосистемы знаний можно разделить на две основные категории по их роли относительно центральной базы знаний: создатели (организации и отдельные лица, активно участвующие в обмене, исследовании и формировании общей базы знаний для совместного использования) и пользователи (бенефициары), чья основная цель – использование этой общей базы знаний для последующих инноваций, выхода на рынок или технологического развития. Важно отметить, что эти роли не являются взаимоисключающими: создатели могут становиться пользователями и наоборот. Различение этих категорий не критично, поскольку каждая вносит уникальный вклад в развитие экосистемы [Trischler et al., 2020].

Таким образом, на основе вышесказанного, можно сделать вывод, что разработка методологии построения экосистем знаний, как нового подхода к управлению знаниями, является актуальной. Стоит отметить, что в результате анализа литературных источников не удалось найти сведений о методах и технологиях, используемых при разработке подобных систем, в статьях зарубежных авторов приводятся общие сведения об экосистемах

знаний и результатах их применения, на вопросах реализации и, тем более, конкретной архитектуры авторы не останавливаются, например, [Robertson, 2020], в которой приводятся ссылки на 80 источников.

Авторы предлагают разработку цифровой платформы, как основы построения экосистемы знаний. Таким образом, методы построения экосистемы знаний определяются методами построения основных компонентов цифровой платформы. Ниже рассмотрена предлагаемая авторами архитектура цифровой платформы экосистемы знаний в энергетике.

## **2. Архитектура цифровой платформы экосистемы знаний в энергетике**

Исходя из определения цифровой платформы, приведенного выше, авторами были выделены следующие основные ресурсы, процессы и сервисы для разработки предлагаемой цифровой платформы (рис. 1).

Ресурсы включают в себя знания (а также модели их представления), математические модели и данные. Данные включают, в свою очередь: структурированные данные (описанные моделями данных), слабоструктурированные и неструктурированные, а также потоковые и датасеты.

Процессы включают в себя три основные группы:

1. Процессы с ресурсами – включают такие процессы, как: получение, обработка, хранение и передача данных; эмуляция и импутация данных для цифровых двойников; извлечение данных и знаний, а также генерацию и обработку знаний (в т.ч. анализ и верификацию данных и знаний).
2. Пользовательские процессы – включают в себя регламентацию работы (авторизация, аутентификация и разграничение доступа) и технологию использования, которая опирается на сценарии использования, поддерживает методологию использования и включает нормативные методики.
3. Сервисные процессы – используются при конвертации данных, интеграции сервисов и мониторинге работы сервисов.

Сервисы в рамках цифровой платформы экосистемы знаний определяются интерфейсом (интерфейс пользователя либо интеллектуальный ассистент с применением больших языковых моделей). Предлагаемые сервисы включают в себя три основных группы:

- Хранилище данных (хранит в себе структурированные данные), Data Lake (слабоструктурированные и неструктурированные данные), сервисы математического моделирования, сервис предсказательной аналитики.
- Хранилище знаний, сервисы семантического моделирования, а также базовые компоненты цифровых двойников.
- Сервисы генерации данных и знаний, также включающие в себя сервис работы с большими языковыми моделями.

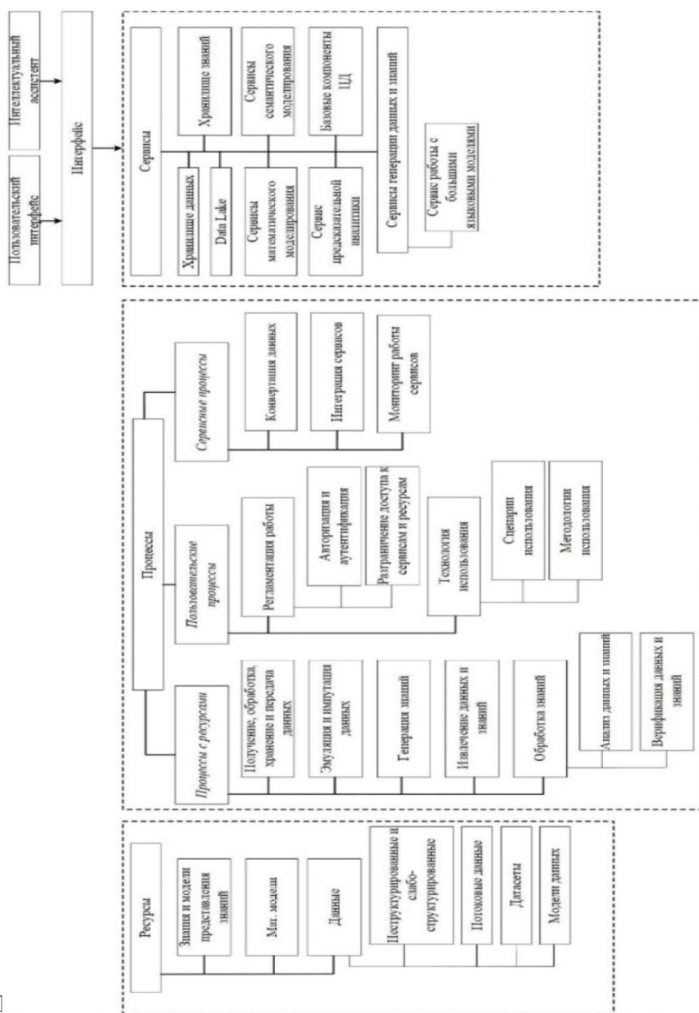


Рис. 1

се

За основу предлагаемой архитектуры цифровой платформы экосистемы знаний (рис. 1) взята разработанная ранее коллективом, который представляют авторы, архитектура ИТ-инфраструктуры системных исследований в энергетике [Массель и др., 2023], [Massel et al., 2024].

Таким образом, отталкиваясь от архитектуры цифровой платформы, основными методами построения экосистемы знаний являются:

- Методы математического и семантического моделирования и предиктивной (предиктивной) аналитики.

- Методы извлечения и представления знаний, методы проектирования хранилища данных и знаний.
- Методы генерации и обработки знаний, в т.ч анализа и верификации данных и знаний.
- Методы построения цифровых двойников энергетических объектов и эмуляции и импутации данных для них.
- Методы интеграции сервисов и мониторинга их работы.
- Методы картирования знаний [Гаврилова и др., 2024].
- Методы разработки интерфейсов, в том числе построения интеллектуальных помощников с использованием больших языковых моделей.

Методы машинного обучения (МО) используются как для прогнозирования погодных характеристик при разработке цифровых двойников возобновляемых источников энергии, так и для проведения расчётов выбросов загрязняющих веществ от объектов энергетики в окружающую среду. При построении цифровых двойников возобновляемых источников энергии для прогнозирования погодных характеристик (освещенность, ветровая обстановка и др.) используется такой метод МО, как LSTM-сеть.

LSTM-сети способны работать с большим количеством данных в сравнении с РНС (рекуррентные нейронные сети) за счет «вентилей», которые понимают долговременное и кратковременное состояние, и вектора состояния, который хранит информацию о состоянии сети на определённом шаге. LSTM-сеть способна выдать точный прогноз, основанный на последней поданной информацией с учетом долгосрочной памяти. В работе используется также такой вид РНС, как управляемые рекуррентные блоки (Gated Recurrent Unit, GRU). Этот вид РНС является «упрощенной» версией LSTM-сети, которая не использует отдельный канал для элемента памяти, а находится в самом векторе состояния. Это позволяет ускорить работу, но, в то же время, теряется точность прогноза [Multi-step wind power forecast, 2019], [Wei et al., 2019].

Для построения модели прогноза погодных характеристик необходимо описать используемые данные (датасет). Данные представляют собой погодные характеристики, которые необходимы для расчета выходных характеристик солнечной электростанции.

Были проведены вычислительные эксперименты с использованием конкретного датасета, содержащего данные о погодных характеристиках в г. Байкальск в размере 88889 записей, сделанных с интервалом в 1 час. Этот датасет содержит столбцы: скорость ветра, температура воздуха, атмосферное давление, прямая солнечная радиация, рассеянная солнечная радиация и суммарная солнечная радиация. Датасет содержит только количественные переменные. Реализация анализа и прогноза выполнена при помощи языка Python с использованием встроенных и сторонних библиотек. Для работы и

построения прогноза применен разведочный анализ данных. Разведочный анализ данных (Exploratory data analysis, EDA) – это процесс исследования и анализа данных с целью выявления закономерностей, паттернов, аномалий и взаимосвязей между переменными [Komorowski et al., 2016]; он включает в себя использование различных методов и инструментов для описательной статистики, визуализации данных и построения графиков, а также применения статистических тестов и моделей для проверки гипотез и извлечения информации из набора данных.

Также разработаны архитектуры отдельных компонентов экосистемы знаний, например, архитектура онтологического портала (приводится на рис. 2).

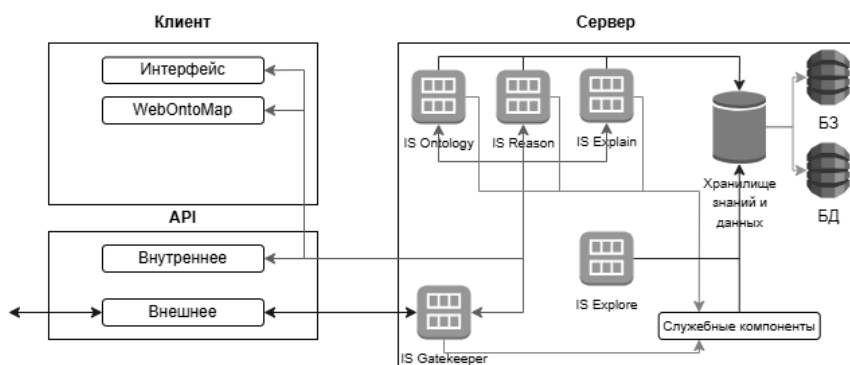


Рис. 2. Архитектура онтологического портала (Онтопортал)

Клиентская часть онтологического портала включает в себя пользовательский интерфейс, а также компонент WebOntoMap для работы с онтологиями. В API выделяется внутреннее (для взаимодействия между компонентами системы) и внешнее (для организации взаимодействия с внешними системами). Серверная часть включает следующие компоненты:

- IS Ontology – подсистема для работы с онтологиями, хранящимися в базе знаний;
- IS Reason – подсистема для организации вывода на онтологиях;
- IS Explain – подсистема для обработки запросов от пользователя на естественном языке и поиска в базе данных и знаний;
- IS Explore – подсистема поиска знаний и данных в открытом доступе для пополнения баз;
- IS Gatekeeper – подсистема для обработки и маршрутизации запросов, отправленных на методы внешнего API;
- база знаний и база данных;
- служебные компоненты.

На рис. 3 приведён пример диаграммы рабочих процессов для роли «бенефициар».



Рис. 3. Диаграмма рабочих процессов для роли «Бенефициар»

Большинство перечисленных методов разработаны и апробированы при разработке ИТ-инфраструктуры системных исследований в энергетике; при разработке экосистемы знаний потребуется их адаптация и/или развитие и доработка.

Кроме того, предлагается использовать в архитектуре цифровой платформы авторские научные прототипы инструментальных средств, которые могут стать основой разрабатываемых сервисов [Массель и др., 2024].

Предлагаемая цифровая платформа экосистемы знаний может быть использована для различных исследований в энергетике, так как платформа обладает гибкой архитектурой, позволяющей подключать дополнительные компоненты в платформу. В частности, цифровая платформа позволяет моделировать четыре уровня энергетической инфраструктуры (агрегат, объект энергетики, энергетическая система и ТЭК страны) и использовать программные средства и технологии для проведения их исследований.

Основным направлением применения цифровой платформы авторы считают интеллектуальную поддержку принятия стратегических решений по развитию энергетики России.

На данный момент основным разработчиком экосистемы знаний является Институт систем энергетики им. Л.А. Мелентьева СО РАН, соорганизаторы – участники разработки: Институт систем информатики СО РАН (Новосибирск), ФИЦ ИУ РАН (Москва), НИИ информационных технологий (Ханты-Мансийск), Институт информационных технологий и анализа данных Иркутского национального исследовательского технического университета. На первом этапе бенефициары, кроме перечисленных разработчиков – представители энергетических организаций и Энергетических институтов ВУЗов России.



## Заключение

В статье рассмотрен предлагаемый авторами подход к построению экосистемы знаний (на примере энергетики), как инновационный подход к управлению знаниями. Предлагаемые методы построения экосистемы знаний определяются разработанной коллективом, представляемым авторами, архитектурой цифровой платформы. Рассматриваемые методы разработаны и частично апробированы в предыдущих работах авторов. Предлагается архитектура цифровой платформы, как основа экосистемы знаний, при этом используется опыт авторского коллектива, полученный ранее при построении ИТ-инфраструктуры системных исследований в энергетике. Предлагается использовать имеющиеся авторские научные прототипы инструментальных средств, которые могут стать основой разрабатываемых сервисов. Перечислены организации – участники разработки и возможные бенефициары экосистемы знаний.

## Список литературы

- [Абузярова, 2021] Абузярова М.И. Знаниевые экосистемы как доминирующий подход формирования новых моделей управления // Экономика, предпринимательство и право. – 2021. – Т. 11, № 12. – С. 2259-2669.
- [Гаврилова и др., 2017] Гаврилова Т.А., Алсуфьев А.И., Кокоулина Л.О. Управление знаниями с российским акцентом: победы и поражения // Инновации. – 2017. – № 1(219). – С. 59-69.
- [Гаврилова и др., 2024] Гаврилова Т.А., Кузнецова А.В., Алканова О.Н., Гринберг Э.Я. Визуализация компетенций сотрудников с помощью карт знаний // Российский журнал менеджмента. – 2024. – № 22(1). – С. 86-112. – doi.org/10.21638/spbu18.2024.104.
- [Кулясова и др., 2019] Кулясова Е.В., Дьяконова М.А. Экосистема управления знаниями в отрасли производства минеральных удобрений // Путеводитель предпринимателя. – 2019. – № 44. – С. 105-116.
- [Массель и др., 2023] Массель Л.В., Массель А.Г. Построение экосистемы знаний на основе ИТ-инфраструктуры системных исследований в энергетике // Вестник Югорского университета. – 2023. – № 4. – С. 78-87. – doi: 10.18822/byusu20230478-87].
- [Массель и др., 2024] Массель Л.В., Массель А.Г. Инженерия знаний в исследованиях устойчивости энергетических и экологических систем // XXI Национальная конференция по искусственному интеллекту с международным участием, КИИ-2023: Труды конференции в 2-х т. Т. 1. – Смоленск: Принт-экспресс, 2023. – С. 113-122.
- [Масюк и др., 2022] Масюк Н.Н., Бушуева М.А., Герасимова А.А. Концепция экосистем в экономике знаний: теоретический базис // Естественно-гуманитарные исследования. – 2022. – № 44(6). – С. 208-212.
- [Järvi et al., 2018] Järvi K., Almpantopoulou A., Ritala P. Organization of Knowledge Ecosystems: Prefigurative and Partial Forms // Res. Policy. – 2018. – Vol. 47. – P. 1523-1537.

- [**Komorowski et al., 2016**] Komorowski M., Marshall D.C., Saliciccioli J.D., Crutain Y. Exploratory Data Analysis // In: Secondary Analysis of Electronic Health Records. – Springer, Cham, 2016. – P. 185-203. – [https://doi.org/10.1007/978-3-319-43742-2\\_15](https://doi.org/10.1007/978-3-319-43742-2_15).
- [**Massel et al., 2024**] Massel L.V., Massel A.G., Pesterev D.V. Knowledge Engineering in Resilience Research of Energy and Ecological System // Pattern Recognition and Image Analysis. – 2024. – Vol. 34, No. 3. – P. 464-469. – <https://doi.org/10.1134/S1054661824700214>.
- [**Multi-step wind power forecast, 2019**] Han L., Zhang R., Wang X. et.al. Multi-step wind power forecast based on VMD-LSTM // IET renewable power generation. – 2019. – Vol. 13, Iss. 10. – P. 1690-1700. – DOI: 10.1049/iet-rpg.2018.5781.
- [**Robertson, 2020**] Robertson J. Competition in Knowledge Ecosystems: A Theory Elaboration Approach Using a Case Study // Sustainability. – 2020. – Vol. 12(18):7372. – <https://doi.org/10.3390/su12187372>.
- [**Scaringella et al., 2018**] Scaringella L., Radziwon A. Innovation, Entrepreneurial, Knowledge, and Business Eco-systems: Old Wine in New Bottles? Technol. Forecast. Soc. Chang. 2018. – Vol. 136. – P. 59-87.
- [**Shrivastava, 1998**] Shrivastava P. Knowledge Ecology: Knowledge Ecosystems for Business Education and Training [Электронный ресурс]. – URL: <https://web.archive.org/web/20170825081451/http://www.facstaff.bucknell.edu/shrivast/KnowledgeEcology.html> (дата обращения: 20.05.2025).
- [**Trischler et al., 2020**] Trischler J., Johnson M., Kristensson P. A Service Ecosystem Perspective on the Diffusion of Sustainability-Oriented User Innovations // J. Bus. Res. – 2020. – 116. – P. 552-560.
- [**Valkokari, 2015**] Valkokari K. Business, Innovation, and Knowledge Ecosystems: How They Differ and How to Survive and Thrive within Them // Technol. Innov. Manag. Rev. – 2015. – Vol. 5. – P. 17-24.
- [**Wei et al., 2019**] Wei W., Li P. Multi-channel LSTM with different time scales for foreign exchange rate prediction // Proceedings of the International conference on advanced information science and system. – 2019. – No. 28. – P. 1-7. – DOI: 10.1145/3373477.3373693.