

# ЭКОСИСТЕМА ЗНАНИЙ ДЛЯ ПОДДЕРЖКИ ИССЛЕДОВАНИЙ И УПРАВЛЕНИЯ РАЗВИТИЕМ ЭНЕРГОСИСТЕМ

**Л.В. Массель**

*Институт систем энергетики им. Л.А. Мелентьева СО РАН*  
Россия, 664033, Иркутск, ул. Лермонтова, 130  
E-mail: lvmassel@gmail.com

**Ключевые слова:** экосистема знаний, энергосистема, ИТ-инфраструктура, онтологии, цифровые двойники, базы данных и знаний, сервисы.

**Аннотация:** В статье предлагаются, в связи с актуальностью перехода к экономике, основанной на знаниях, разработка и использование экосистемы знаний в энергетике для поддержки принятия решений в исследованиях и управлении развитием энергетики. Рассматривается состояние исследований в этой области, отмечается, что в нашей стране эта тематика слабо проработана, а в зарубежных публикациях не затрагиваются вопросы технологий, используемых при построении экосистем знаний. В качестве научного прототипа экосистемы знаний предлагается ИТ-инфраструктура системных исследований в энергетике, разрабатываемая в коллективе, возглавляемом автором, одним из важных компонентов которой является онтологический портал знаний. Предложена архитектура ИТ-инфраструктуры и рассмотрены основные ее составляющие, в том числе цифровые двойники и их базовые компоненты. Выделен спектр инструментальных средств для построения сервисов экосистемы знаний.

## 1. Введение

В связи с развитием тенденции цифровой экономики стали говорить об экономике, основанной на знаниях (knowledge based economy), или проще, но менее корректно – экономике знаний (knowledge economy), например, [1, 2]. В то же время при разработке систем поддержки принятия стратегических решений, которые должны объединять информационную, модельно-программную и интеллектуальную подсистемы, как правило, основное внимание уделяется первым двум. Автор предлагает использовать для поддержки принятия решений в исследованиях и управлении развитием энергосистем экосистему знаний в энергетике. В качестве научного прототипа экосистемы знаний в энергетике рассматривается разрабатываемая под руководством автора ИТ-инфраструктура для построения интеллектуальных систем управления развитием и функционированием систем энергетики<sup>1</sup> (далее для краткости будем называть ее ИТ-инфраструктура системных исследований в энергетике).

Экосистемы знаний рассматриваются как новый подход к управлению знаниями. Идея «Экосистемы знаний» представляет собой подход к управлению знаниями, направленный на развитие взаимодействий между участниками обмена (агентами), упрощение процесса принятия решений и стимулирование инноваций, благодаря

---

<sup>1</sup> Проект по госзаказу ИСЭМ СО РАН «Методология построения ИТ-инфраструктуры для разработки интеллектуальных систем управления развитием и функционированием систем энергетики» (2021-2025), выполняемый под руководством автора

эволюции сотрудничества между агентами [3, 4]. Это направление активно развивается за рубежом (подробный обзор дается, например, в [5], где приводятся 80 ссылок)

В России проблематика экосистем знаний проработана гораздо хуже, что подтверждается, в том числе, расхождениями в терминологии: например, используются термины «знаниевые экосистемы» (Абузярова М.И.) «экосистема управления знаниями» (Шарипов Ф.Ф.). Важность проблемы управления знаниями подчеркивается в [6]. В ней отмечается, что существующие подходы к управлению знаниями (УЗ) в российских компаниях носят пока фрагментарный характер, фокусируясь лишь на отдельных аспектах УЗ (например, на информационных технологиях).

В целом можно сделать вывод, что разработка методологии построения и использования экосистем знаний, как нового подхода к управлению знаниями, является актуальной, но недостаточно проработанной в нашей стране. Кроме того, в проанализированных литературных источниках ничего не говорится о технологиях построения экосистем знаний, что подтверждает актуальность предложенной темы.

## **2. Экосистемы знаний**

### **2.1. Основные понятия и определения**

Термин «биологические экосистемы» был введен британским ботаником Артуром Тэнсли в 1930-х годах, он отражает «непрерывную совместную эволюцию организмов, которые приспосабливаются к внешним изменениям и нарушениям, ощущаемым в окружающей их среде» [7]. За рубежом термин «экосистема» часто используется как метафора для описания организации взаимозависимых субъектов (например, клиентов, поставщиков, конкурентов), которые коллективно создают ценности и используют возможности для роста и инноваций [8].

В России, по мере развития тенденции цифровой экономики, получил распространение термин «Цифровая экосистема», под которой понимают сеть взаимосвязанных цифровых технологий, платформ и услуг, взаимодействующих друг с другом для создания ценности для бизнеса и потребителей. Автор рассматривает экосистему знаний как развитие и специализацию цифровой экосистемы [9].

Поскольку экосистемы знаний сосредоточены на «процессе коллективного обмена знаниями», знания используются как наиболее важное средство взаимодействия между его участниками. Результатом на уровне экосистемы обычно являются знания, основанные на исследованиях, и связанные с ними приложения, в которых участники экосистемы совместно создают и исследуют новые знания в качестве общего ресурса. В этом отношении экосистемы знаний – это «организации, состоящие из различных акторов, объединенных совместным поиском ценных знаний, и в то же время обладающих независимой деятельностью за пределами экосистемы знаний» [10, 11].

Одним из ключевых является понятие «артефакты». В контексте экосистемы артефакты относятся к продуктам и услугам, входам и выходам (включая материальные и нематериальные ресурсы), которые совместно создаются всеми участниками как выход на уровне экосистемы [12].

Субъектов, взаимодействующих с экосистемой знаний, можно разделить на две категории: 1) субъекты, организации и отдельные лица, которые вносят свой вклад в обмен, исследование и создание центральной базы знаний для совместного использования (участники); 2) члены экосистемы, которых в первую очередь интересует использование общей базы знаний для дальнейших инноваций, рынка или технологического развития (бенефициары). Эти две категории не обязательно исключают друг друга, и вкладчики (участники) могут стать членами-бенефициарами и наоборот [13].

Актуальность решения проблемы разработки концепции, методов и технологий построения экосистем научных знаний, как нового подхода к управлению знаниями, обусловлена в первую очередь возрастанием в современном мире роли управления знаниями (УЗ), из-за влияния ряда причин [6]: 1) доступ к такому большому объему информации (как из внутренней, так и из внешней среды), что идентификация актуальной и ценной для принятия решений информации требует значительных усилий; 2) за счет постоянных изменений внешней среды знания достаточно быстро теряют свою актуальность; 3) часто неудачи вызваны отсутствием четкой стратегии УЗ, или чрезмерными надеждами на возможности информационных технологий, а также, в ряде случаев, низкой профессиональной грамотностью в теории и практиках УЗ в ряде российских компаний.

В научных организациях эта проблема также полностью не осознана, например, низкая востребованность научных результатов академических институтов, в частности, связанных с исследованиями энергетики, может быть обусловлена, в том числе, тем, что неявные знания ученых и получаемые научные результаты не трансформируются в прагматические знания, которые могут быть применены в энергетических организациях, а это невозможно сделать без разработки теоретических основ, методов и средств управления знаниями. В статье рассматривается подход, развиваемый коллективом под руководством автора<sup>2</sup>, в котором ИТ-инфраструктура системных исследований в энергетике предлагается как научный прототип экосистемы знаний в энергетике [14]. Одним из основных компонентов ИТ-инфраструктуры является онтологический портал, объединяющий онтологическое пространство знаний в энергетике.

## 2.2. Онтологическое пространство знаний в энергетике

Основой создания экосистемы знаний, по мнению автора, должно быть построение онтологического пространства знаний в энергетике, или разработка онтологического портала знаний. Онтологическое моделирование – одно из ведущих направлений семантического моделирования, развиваемого в искусственном интеллекте в рамках инженерии знаний, которое активно обсуждается и используется в России [15, 16] и за рубежом [17, 18]. Онтологическая модель включает основные понятия (концепты) предметной области и отношения между ними. Онтологии могут быть представлены в графическом виде (например, в системах CMapTools, Protégé) и/или описаны с помощью специализированных языков (XML, RDF, RDFS, OWL и др.).

Структура онтологического пространства в нашем случае соответствует структуре системных исследований энергетики (СИЭ). На рис. 1 представлена описывающая ее метаонтология, разработанная Ворожцовой Т.Н. (сотрудницей отдела, возглавляемого автором).

---

<sup>2</sup> Отдел Систем искусственного интеллекта в энергетике (СИИЭ) ИСЭМ СО РАН, возглавляемый Л.В. Массель



**Рис. 1.** Метаонтология основных направлений системных исследований в энергетике,

Принципы построения онтологического портала: 1) структурирование онтологий (онтологии предметной области, онтологии ресурсов); 2) использование базовых онтологий (базовая онтология научной деятельности, базовая онтология задач и методов, базовая онтология ресурсов); использование паттернов онтологического проектирования. На первом этапе (для контактов с экспертами – энергетиками) онтологии представляются в графическом виде, и затем описываются на языке OWL в системе Protégé.

Разработка онтологического портала выполняется на основе технологии построения интеллектуальных научных Интернет-ресурсов (ИНИР), разработанной в Институте систем информатики им. А.П. Ершова СО РАН (г. Новосибирск). Особенности технологии ИНИР являются использование онтологий в качестве средства представления и систематизации знаний и ориентация на экспертов – специалистов в тех областях знаний, для которых создаются ресурсы.

### 3. ИТ-инфраструктура системных исследований как научный прототип экосистемы знаний

Архитектура ИТ-инфраструктуры системных исследований приведена на рисунке 2. Представленная архитектура ИТ-инфраструктуры отражает модели, программные компоненты и технологии для четырех уровней ИТ-инфраструктуры (агрегаты, объекты энергетики, энергетические системы и ТЭК в целом) и соответствующих уровней управления (оперативное управление объектами и агрегатами; оперативное управление энергосистемами; тактический и стратегический уровни управления).

Выделены пять компонентов программного обеспечения, необходимых для создания цифровых двойников и умных цифровых двойников [19], которые объединены в Инструментальную ИТ-среду для построения ЦД (II).

Инструментальная ИТ-среда для построения ЦД включает:

- Ядро цифрового двойника (CDT) – предметно ориентированные (по уровням ИТ-инфраструктуры) математические (в т.ч. имитационные) и информационные модели.

- Систему сбора данных с физического объекта (DCS), включающую подсистемы наблюдения, распознавания и сбора данных, мониторинга и управления, обеспечивающие сбор данных с физического объекта.
- Системы, обеспечивающие хранение собранных данных – классические СУБД (Oracle, MS SQL, DB2), СУБД с открытым исходным кодом (PostgreSQL), облачные хранилища (S3, RedShift, Greenplum), распределенные файловые системы HDFS и др.
- Сервисные элементы, предоставляющие сервисы и интерфейс для клиентов (SE) – инструменты для поддержки сервисов оптимизации, математического моделирования (MT), визуализации (VT) т.д.
- Систему коммуникаций (CS) – платформу Интернета вещей (IoT), обеспечивающую связи между вышеперечисленными элементами.

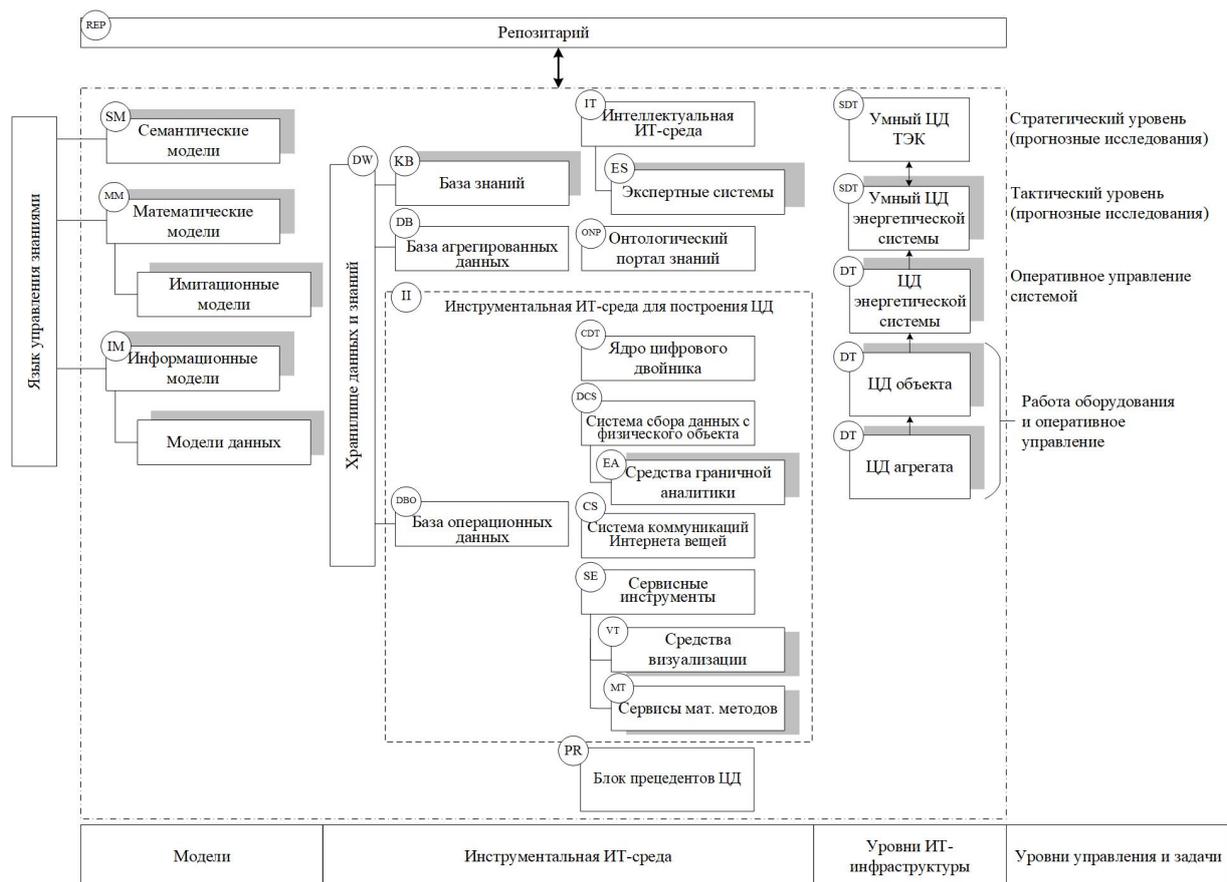
Для управления энергетическими объектами достаточно использовать традиционные ЦД. При управлении энергосистемами могут потребоваться элементы интеллектуальных технологий, а при стратегическом управлении (управлении развитием топливно-энергетического комплекса) потребуется умный цифровой двойник (УЦД).

Формализованные модели ЦД и УЦД описаны в [20], разработанные в авторском коллективе прецеденты ЦД возобновляемых источников энергии рассмотрены в [21].

Другие компоненты ИТ-инфраструктуры:

*IT – Интеллектуальная ИТ-среда* – многоагентная инструментальная среда для проведения системных исследований в энергетике, включающая агенты-сервисы семантического моделирования, экспертные системы (ES) и сервисные инструменты [22].

*DW* – Хранилище данных и знаний, включающее базы знаний (KB), агрегированные базы данных и операционные базы данных.



**Рис. 2.** Архитектура ИТ инфраструктуры системных исследований в энергетике.

*REP* – Репозиторий – программный компонент, обеспечивающий доступ к хранилищу данных и знаний, содержащий его метоописание.

*ONP* – онтологический портал знаний.

Для интеграции семантических, математических и информационных моделей предлагается использовать *язык управления знаниями*, который разрабатывается на основе реализованного ранее языка ситуационного управления CML (Contingency Management Language) [23].

При разработке экосистемы знаний используется принцип ее построения как инструментальной среды, когда все инструментальные средства реализуются как агенты-сервисы и обеспечивается возможность их использования отдельно или в заданной конфигурации. На первом этапе рассматривается применение экосистемы знаний для поддержки принятия решений в исследованиях энергетики: например, в прогнозных исследованиях развития энергетики используется многоагентный программный комплекс ИНТЭК-А, реализующий экономико-математическую модель ТЭК, и инструментальное средство CogMap для поддержки когнитивного моделирования [24], входящее в состав интеллектуальной ИТ-среды. Для поддержки принятия решений в управлении развитием энергосистем могут использоваться базы данных и базы знаний, результаты расчетов, выполненных с использованием программных комплексов, цифровые двойники энергетических объектов и систем.

## 4. Заключение

В связи с актуальностью перехода к экономике, основанной на знаниях, предлагается использование экосистемы знаний в энергетике для поддержки принятия решений в исследованиях и управлении развитием энергетики. Рассматриваются состояние исследований в области создания экосистем знаний. Отмечается, что в нашей стране эта тематика очень слабо проработана. В зарубежных публикациях не затрагиваются вопросы технологий, используемых при построении экосистем знаний. В качестве научного прототипа экосистемы знаний рассматривается ИТ-инфраструктура системных исследований в энергетике, разрабатываемая в коллективе, возглавляемом автором, одним из важных компонентов которой является онтологический портал знаний. Предложена архитектура ИТ-инфраструктуры и рассмотрены основные ее составляющие. Подчеркивается роль ЦД, как компонентов экосистемы знаний. Выделен спектр инструментальных средств, которые смогут стать основой сервисов экосистемы знаний, а также инструментальных средств для проектирования и интеграции баз данных и баз знаний.

Работа выполнена в рамках проекта по госзаказу ИСЭМ СО РАН, № темы FNEU-2021-0007, пер. № АААА-А21-121012090007-7

## Список литературы

1. Абдикеев Н.В. Экономика, основанная на знаниях, и инновационная экономика // Вестник финансового университета, 2014. № 5. С 16-26.
2. Сыроваткина Т.Н. Развитие экономики, основанной на знаниях: теоретический аспект // Международный научно-исследовательский журнал. 2022. № 1 (115).
3. Shrivastava P. Knowledge Ecology: Knowledge Ecosystems for Business Education and Training. 1998.
4. Bray D.A. Knowledge Ecosystems: A Theoretical Lens for Organizations Confronting Hyperturbulent Environments, 2007.
5. Robertson J. Competition in Knowledge Ecosystems: A Theory Elaboration Approach Using a Case Study. Sweden (2020). <https://www.mdpi.com/2071-1050/12/18/7372>. Дата доступа 11.04.2023.
6. Гаврилова Т.А., Алсуфьев Л.О., Кокоулина Л.О. Управление знаниями с российским акцентом: победы и поражения // Инновации. 2017. № 1 (219). С. 59-69.
7. Kelly E. Business Ecosystems Come of Age; Business Trends; Industry Report. London, UK: Deloitte University Press, 2015. P. 1-17.
8. Zhang J.Z., Watson G.F. IV. Marketing Ecosystem: An Outside-in View for Sustainable Advantage // Ind. Mark. Manag. 2020. Vol. 88. P. 287-304.
9. Массель Л.В. Экосистема знаний как развитие и специализация цифровой экосистемы // Труды Межд. научно-техн. конгресса «Интеллектуальные системы и информационные технологии–2023». Научн. изд. в 2-х томах. Т. 2. Таганрог: Издатель Ступин С.А., 2023. С. 155-164.
10. Bathelt H.; Cohendet P. The Creation of Knowledge: Local Building, Global Accessing and Economic Development–Toward an Agenda // J. Econ. Geogr. 2014. Vol. 14. P. 869-882.
11. Scaringella L., Radziwon A. Innovation, Entrepreneurial, Knowledge, and Business Ecosystems: Old Wine in New Bottles? // Technol. Forecast. Soc. Chang. 2018. Vol. 136. P. 59-87.
12. Granstrand O., Holgersson M. Innovation Ecosystems: A Conceptual Review and a New Definition // Technovation. 2020. Vol. 90-91. P. 102098.
13. Trischler J., Johnson M., Kristensson P. A Service Ecosystem Perspective on the Diffusion of Sustainability-Oriented User Innovations // J. Bus. Res. 2020. Vol. 116. P. 552-560.
14. 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.
15. Suarez-Figueroa M.C., Gomez-Perez A., Motta E., Gangemi A. (Eds.). Ontology engineering in a networked world. Springer Science & Business Media, 2012.
16. Euzenat J., Shvaiko P. Ontology matching. Heidelberg: Springer, 2013.
17. Муромцев Д.И. Онтологический инжиниринг знаний в системе Protege. С.Пб.: ИТМО, 2007. 62 с.
18. Гаврилова Т. А., Кудрявцев Д. В., Муромцев Д. И. Инженерия знаний. Модели и методы. Лань, 2023. 324 с.

19. Прохоров А., Лысачев М. Цифровой двойник. Анализ, тренды, мировой опыт / Под редакцией Боровкова А.И. М.: АльянсПринт, 2020. 401 с.
20. Массель Л.В., Массель А.Г. Семантическое моделирование при построении цифровых двойников энергетических объектов и систем // Онтология проектирования. 2023. Т. 13. № 1(47). С. 44-45.
21. Массель Л.В., Массель А.Г., Шукин Н.И., Цыбиков А.Р., Лосев А.С. Построение цифровых двойников ветровой и солнечной электростанций на основе онтологического подхода // Автоматизация в промышленности. 2022. № 7. С. 28-32.
22. Массель Л.В., Массель А.Г. Интеллектуальные вычисления в исследованиях направлений развития энергетики // Известия Томского политехнического университета. Управление, вычислительная техника и информатика. 2012. Т. 321. № 5. С. 135-141.
23. Массель Л.В., Массель А.Г. Разработка языка ситуационного управления в интеллектуальной системе семиотического типа на основе онтологического инжиниринга // Open Semantic Technologies for Intelligent Systems (OSTIS-2016): материалы VI междунар. науч.-техн. конф. Минск: БГУИР, 2016. С. 65-70.
24. Авдеева З.К., Коврига С.В. Эвристический метод концептуальной структуризации знаний при формализации слабоструктурированных ситуаций на основе когнитивных карт // Управление большими системами. М.: ИПУ РАН, 2010. № 31. С. 6-34.