

УДК 620.9:004

doi: 10.15622/rcai.2025.084

СЕРВИСЫ ДЛЯ ОБРАБОТКИ ДАННЫХ И ЗНАНИЙ В ЭКОСИСТЕМЕ ЗНАНИЙ В ЭНЕРГЕТИКЕ¹

Л.В. Массель (*massel@isem.irk.ru*)

А.Г. Массель (*amassel@isem.irk.ru*)

В.Р. Кузьмин (*kuzmin_vr@isem.irk.ru*)

Т.Г. Мамедов (*mamedowtymur@isem.irk.ru*)

Д.А. Гаськова (*gaskovada isem.irk.ru*)

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

В работе описывается предлагаемый подход к интеграции сервисов в рамках архитектуры экосистемы знаний в энергетике. В коллективе, который представляют авторы, разработаны программные решения для реализации семантического моделирования, программный комплекс для прогнозных исследований топливно-энергетического комплекса с точки зрения энергетической безопасности, а также информационно-вычислительная система для проведения вычислительных экспериментов и решения задач по оценке выбросов загрязняющих веществ от объектов энергетики. В работе рассматривается проектирование взаимодействия существующих решений как сервисов разрабатываемой экосистемы знаний в энергетике.

Ключевые слова: экосистема знаний, энергетика, семантическое моделирование, сервисы, обработка знаний.

Введение

В современной научной практике решение комплексных исследовательских задач требует применения разнообразных программных комплексов и решений. Спектр используемых решений охватывает специализированные проприетарные продукты с закрытым исходным кодом, про-

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

граммные комплексы с открытым исходным кодом, универсальные решения общего назначения и авторские научные разработки, созданные для решения конкретных исследовательских задач.

Особую актуальность необходимость применения разнообразных вычислительных продуктов приобретает в контексте междисциплинарных научных исследований, к которым относится и энергетический сектор. Сложность выполнения таких исследований зачастую выходит за рамки одной системы. Целью настоящей работы является разработка подхода к интеграции существующих научных разработок в области энергетики, выполненных в коллективе авторов, в рамках единой среды для обмена знаниями и результатами исследований – экосистемы знаний. Однако, перед тем как переходить к описанию предлагаемого подхода к интеграции, в работе будут рассмотрены аналогичные российские и зарубежные разработки.

В настоящее время, существует ряд решений связанных с построением баз знаний и схожих программных решений, как в России, так и зарубежом, однако, провести сравнение с ними затруднительно, так как они являются проприетарными, а также решают несколько иные задачи. В России в качестве примера можно привести «Систему управления знаниями Росатома» (ЕИП РТТН) [Управлять знаниями, 2021], предназначенную для мониторинга и контроля реализации Комплексной программы РТТН, а также создания единого хранилища и организации информационной поддержки участников реализации программы «Развитие техники, технологий и научных исследований в области использования атомной энергии в Российской Федерации на период до 2024 года». Также стоит отметить информационную базу знаний «Россети Сибирь», одной из задач которой является повысить эффективность основных бизнес-процессов за счет формирования системного подхода к управлению знаниями. Проект направлен на совершенствование существующей системы управления и развития, управления корпоративными знаниями [Россети Сибирь разработали и внедрили систему управления знаниями, 2022]. За рубежом также разработан ряд решений в этой отрасли, например, References+ – это корпоративная соцсеть для сотрудников компании Siemens, которая позволяет находить экспертов, обмениваться опытом в режиме чата и снижать время решения проблем [Muller et.al, 2012]. Остальные зарубежные решения, описанные в [Top 10: Energy Management Platforms, 2025], направлены больше на цифровизацию энергетики и оптимизацию работы с точки зрения энергоэффективности с использованием ИИ, чем на создание программных продуктов, связанных со знаниями. Для рассмотренных решений отсутствуют описания архитектуры, а также применённых методов к интеграции данных и знаний.

Далее в работе рассматривается интеграция программных комплексов по двум направлениям:

- Исследования направлений развития топливно-энергетического комплекса (ТЭК) страны проводятся в подавляющем большинстве случаев с применением программных средств, реализующих сценарный подход, позволяющий проводить исследования в условиях неопределённости, а оценка результатов зачастую осуществляется на экспертном уровне. Такие исследования проводятся, например, с помощью модели NEMS (США) [Gabriel, 2001], предназначенной для прогнозирования развития экономики США с особым акцентом на энергетический сектор, программного комплекса SCANNER (ИНЭИ РАН) для исследования энергетики страны и мира [Макаров, 2011] или программного комплекса ИНТЭК (ИСЭМ СО РАН), обеспечивающего поддержку научных расчетов и моделирования сценариев развития ТЭК с учётом энергетической безопасности.

- Комплексные исследования по оценке загрязнения окружающей среды объектами энергетики подразумевают взаимодействие специалистов из разных областей, а сами исследования зачастую связаны с нормативными методиками проведения необходимых расчётов. Эти факторы, во многих случаях ограничивают применение таких зарубежных программных комплексов как CollectER (европейское решение) [European Environment Agency, 2023] или программных реализаций методик HYSPLIT [Stein, 2015] и AERMOD [EPA, 2004].

1. Компоненты экосистемы знаний

Сам термин «экосистема знаний» появился более 20 лет назад [Shrivastava, 1998], но строгого определения не обрёл. Авторы рассматривают экосистему знаний как специализированное направление развития более проработанной технологии цифровых экосистем [Массель, 2023]. Под этим термином обычно понимают сеть взаимосвязанных цифровых технологий, платформ и услуг, взаимодействующих друг с другом для создания ценности для бизнеса и потребителей. Однако, ключевой ценностью в рассматриваемой концепции являются знания и обмен ими между пользователями.

В работе рассматривается подход, развиваемый в авторском коллективе, в котором предлагается разработка архитектуры цифровой платформы экосистемы знаний. В соответствии с определением Основных направлений реализации цифровой повестки Евразийского экономического союза до 2025 года [Решение Высшего Евразийского экономического совета, 2017] авторы предлагают, что архитектура цифровой платформы экосистемы знаний в энергетике должна включать не только компьютерные и математические модели, но и базы данных и знаний, информационную и интеллектуальную подсистемы, подсистему визуализации и вспомогательные сервисы.

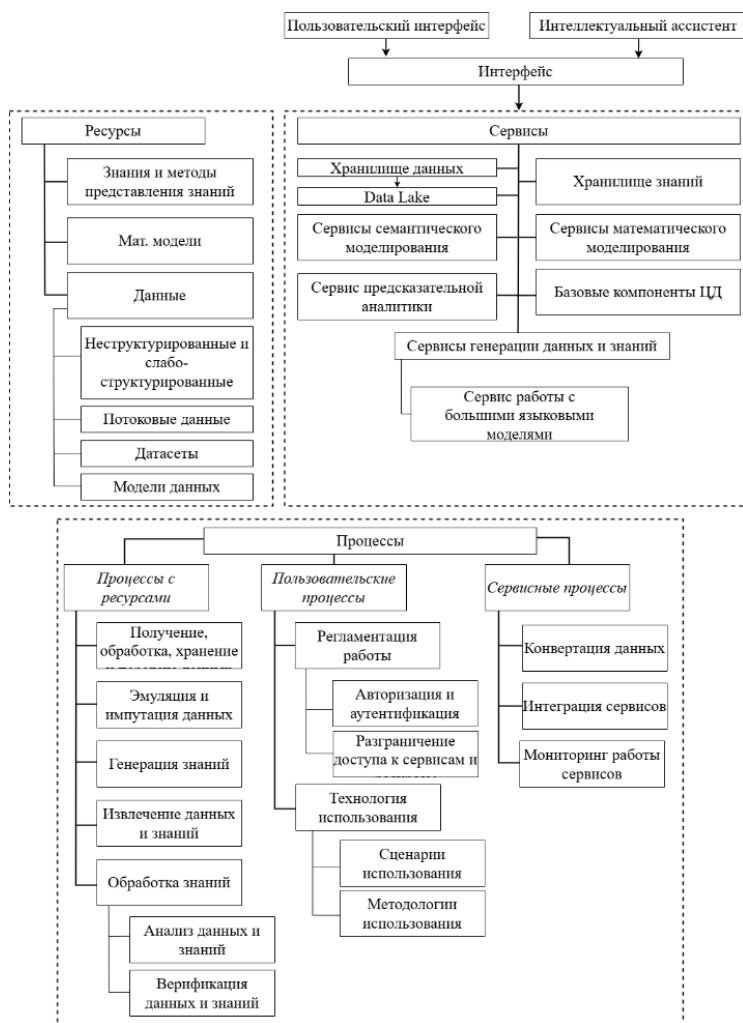


Рис. 1. Архитектура цифровой платформы экосистемы знаний в энергетике

Предлагаемая архитектура экосистемы знаний в энергетике представлена на рис. 1, подробное описание приведено в работе Л.В. Массель, А.Г. Масселя и В.Р. Кузьмина «Методы построения экосистемы знаний на примере энергетики» в этом же сборнике, здесь же отметим, что в ней выделяются три основных группы:

1. Ресурсы – включают в себя знания (а также модели их представления), математические модели и данные.

2. Процессы – включают процессы с ресурсами, пользовательские процессы, сервисные процессы.
3. Сервисы – включают хранилища данных и знаний, сервисы математического и семантического моделирования, а также сервисы предсказательной аналитики.

Ключевым аспектом реализации этого подхода является интеграция существующих в коллективе научных программных комплексов рамках этой архитектуры. Такая интеграция подразумевает определение и формализацию сценариев взаимодействия сервисов и последовательность решения научных задач, а также технические соглашения разработки сервисов. Программные комплексы, рассмотренные в рамках этой работы:

- Программный комплекс (ПК) ИНТЭК-SAW предназначен для оценки влияния внешних угроз на ТЭК страны и регионов, а также определения мероприятий по их предупреждению или ликвидации последствий их наступления в контексте принятия стратегических решений. Основные функциональные возможности компонентов ПК ИНТЭК-SAW представлены на рис. 2, более подробно в [Массель, 2021].

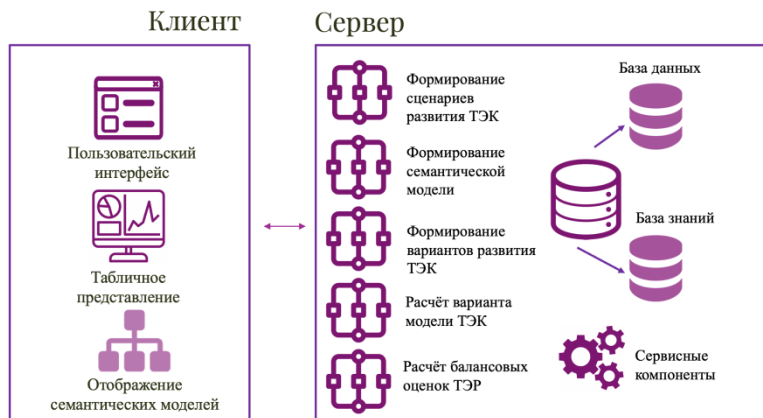


Рис. 2. Базовые компоненты и задачи ПК ИНТЭК-SAW

- Информационно-вычислительная система (ИВС) WICS разработана для проведения комплексных исследований по оценке загрязнения окружающей среды объектами энергетики и позволяет оценивать объём выбросов загрязняющих веществ (ЗВ) от объектов энергетики, рассчитывать их распространение в атмосферном воздухе с учётом метеорологических условий, а также оценивать экономический ущерб, нанесённый окружающей среде выбросами ЗВ от объектов энергетики. Основные функциональные возможности компонентов ИВС WICS представлены на рис. 3, подробнее в [Kuzmin, 2023].

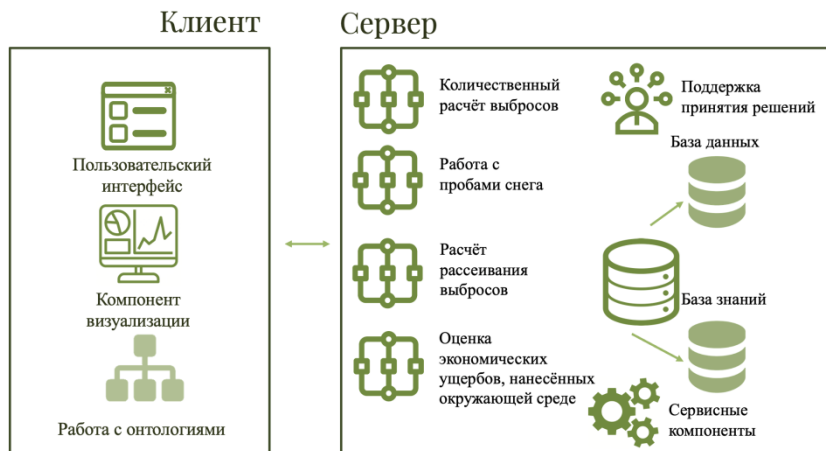


Рис. 3. Базовые компоненты и задачи ИВС WICS

Представленные решения имеют клиент-серверную архитектуру, собственные вычислительные компоненты и локальные базы данных и знаний. Для обеспечения единообразного хранения данных и знаний в формализованном виде с использованием онтологий, предоставить возможность работы с онтологиями, обеспечить пополнение и актуализацию данных и знаний из внешних источников, предоставить интерфейс с возможностью поиска знаний и данных предлагается разработка онтологического портала.

Архитектура в обобщенном виде предлагаемого онтологического портала представлена на рис. 4.



Рис. 4. Базовые компоненты и задачи онтологического портала

2. Интеграция компонентов экосистемы знаний

ПК ИНТЭК-SAW позволяет решать классическую задачу линейного программирования при помощи модели оптимизации топливно-энергетических ресурсов (ТЭР) по федеральным округам с выделением блоков добычи, транспорта и производства ТЭР по отраслям энергетики (газ, уголь, мазут, электроэнергетика, теплоэнергетика, нефть). Модель описывается системой линейных уравнений и целевой функцией минимизации суммы приведенных затрат и потерь от дефицита топливно-энергетических ресурсов среди потребителей. Исследования выполняемые при помощи ПК заключаются в формировании сценария развития ТЭК как в нормальных условиях, так и в условиях реализации угроз энергетической безопасности. Сценарий представляет упорядоченную последовательность вариантов модели ТЭК. Для каждого варианта оценивается наличие дефицитов ТЭР и стоимость реализации. Также одним из результатов расчётов ПК является объем потребленного ТЭР каждой энергетической технологией или потребление неэнергетических отраслей по федеральным округам. Превышение предельно допустимых концентраций (ПДК) ЗВ напрямую не учитываются и не рассчитываются в модели, однако, могут быть учтены при формировании сценариев.

ИВС WICS реализует интеграцию методик расчётов выбросов и распространения загрязнений и позволяет проводить расчеты выбросов и распространения загрязнений без привязки к федеральным округам. Результаты вычислительных экспериментов, выполненных с применением ИВС WICS, могут быть использованы при создании и эксплуатации объектов энергетики, и оценки влияния этих решений на финансово-экономические и инвестиционные показатели, региональную экономику и экологию природопользования.

Для оценки вариантов развития ТЭК с учётом расчётов выбросов и распространения загрязнений от объектов энергетики предлагается интегрировать ПК и ИВС. Результаты расчетов, полученные в ПК ИНТЭК-SAW, а именно объемы потребленного ТЭР энергетической технологией или неэнергетическими отраслями передаются в ИВС WICS для оценки загрязнения окружающей среды и, в зависимости от цели исследования, в случае превышения ПДК по результатам вычислительного эксперимента, возвращаются в качестве входных параметров обратно в ПК. Схема такого взаимодействия представлена на рис. 5.

Для подготовки данных в ИВС WICS используются технические характеристики объектов энергетики, характеристики сжигаемого топлива, метеоданные, сведения о рельефе, нормативы ПДК, нормативы предельно допустимых выбросов. ПК ИНТЭК-SAW рассчитывает объемы потребленного ТЭР и содержит информацию о видах топлив.

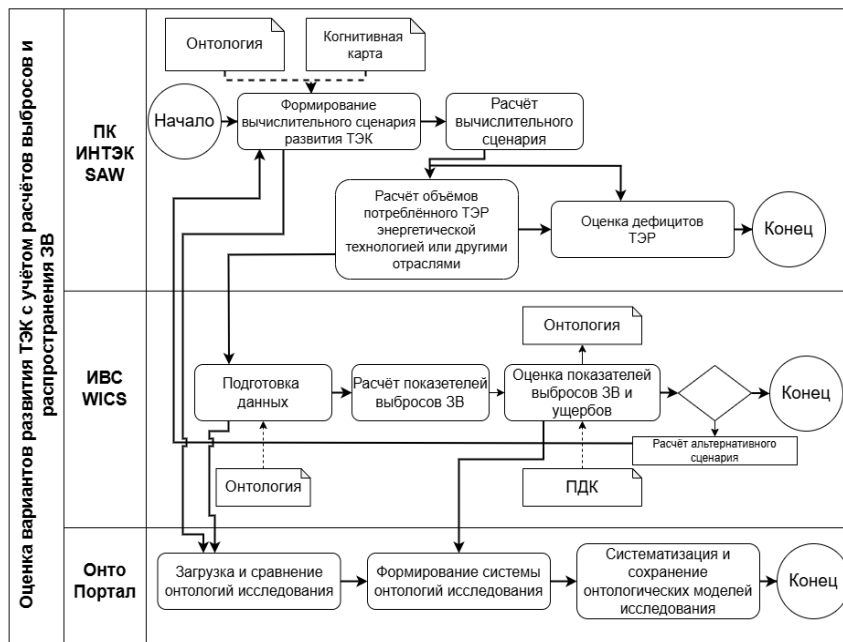


Рис. 5. Диаграмма интеграции ПК ИНТЭК-SAW, IBC WICS и онтологического портала для оценки вариантов развития ТЭК с учётом расчётов выбросов и распространения загрязнений от объектов энергетики

Для интеграции и обмена знаниями между ПК ИНТЭК-SAW и IBC WICS предлагается использовать язык управления знаниями (Knowledge Management Language – KML) [Massel et al., 2019]. Онтология KML представлена на рис. 6. KML является модификацией и развитием языка ситуационного управления CML (Contingency Management Language). KML позволяет выполнять формализацию семантических моделей для их хранения в базе знаний, преобразование между моделями (например, онтологий в когнитивные карты), а также интеграцию с другими программными комплексами. Для интеграции ПК ИНТЭК-SAW и IBC WICS предлагается использовать когнитивные карты и онтологии, описывающие объекты энергетики, для которых проводится расчёт в ИНТЭК-SAW с требуемыми параметрами, и на основе которых в IBC WICS проводятся расчёты количественных показателей выбросов и их рассеивание в атмосферном воздухе.

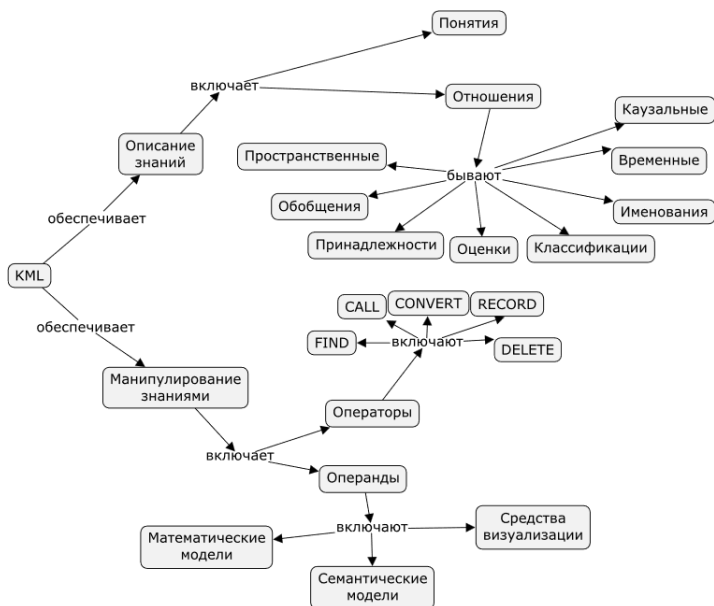


Рис. 6. Онтология языка управления знаниями KML

Для интеграции ПК ИНТЭК-SAW и ИBC WICS предлагается использовать когнитивные карты и онтологии, описывающие объекты энергетики, для которых проводится расчёт в ИНТЭК-SAW с требуемыми параметрами, и на основе которых в ИBC WICS проводятся расчёты количественных показателей выбросов и их рассеивание в атмосферном воздухе. В настоящий момент, согласован набор параметров для проведения расчётов и ведётся работа над программной реализацией. Аналогичным образом, с использованием KML, будет выполнена интеграция ИBC WICS и Онтологического портала. KML планируется интегрировать в представленные программные продукты в виде библиотеки, которая будет автоматически преобразовывать данные для взаимодействия программных продуктов между собой, а также обеспечивать доступ к знаниям, формализованным в виде онтологий и хранящихся в том числе в Онтологическом портале.

Представленные программные комплексы предоставляют возможность формализовать проводимые исследования с помощью семантических моделей: формирование сценария развития ТЭК с использованием когнитивной карты и использование системы «лёгких» онтологий для оценки загрязнения окружающей среды объектами энергетики. Проектирование онтологического портала для работы с семантическими моделями позво-

лит интегрировать сервисы на уровне работы со знаниями о предметных областях, формирования наборов необходимых данных для выполнения различных задач исследования.

Заключение

Интеграция специализированных программных комплексов в рамках архитектуры цифровой платформы экосистемы знаний направлена на решение междисциплинарных задач энергетического сектора. Подход к построению архитектуры цифровой платформы экосистемы знаний, включающей математические модели, базы данных, интеллектуальные подсистемы и сервисы визуализации, позволяет преодолеть ограничения изолированного использования специализированных решений. Построение различных сценариев совместного использования программных решений обладает потенциалом для адаптации в других междисциплинарных областях, где требуется координация разнородных вычислительных ресурсов и стандартизация данных. В настоящий момент, Цифровая платформа Экосистемы знаний в энергетике находится в стадии активной разработки, поэтому некоторые аспекты интеграции компонентов могли быть не раскрыты в рамках статьи.

Список литературы

- [Макаров, 2011] Макаров А.А., Веселов Ф.В., Елисеєва О.А., Кулагин В.А., Митрова Т.А., Филиппов С.П. SCANNER – Модельно-информационный комплекс. – М.: ИНЭИ РАН, 2011.
- [Массель, 2021] Массель А.Г., Мамедов Т.Г., Пяткова Н.И. Технология вычислительного эксперимента в исследованиях работы энергетических отраслей при реализации угроз энергетической безопасности // Информационные и математические технологии в науке и управлении. – 2021. – No. 3(23). – С. 62-73.
- [Массель, 2023] 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 т. Т. 2. Таганрог: Издатель Ступин С.А., 2023. – С. 155-164.
- [Решение Высшего Евразийского экономического совета, 2017] Решение Высшего Евразийского экономического совета от 11 октября 2017 г. N 12 «Об Основных направлениях реализации цифровой повестки Евразийского экономического союза до 2025 года» [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.alt.ru/tamdoc/17vr0012/> (дата обращения: 20.05.2025).
- [Россети Сибирь разработали и внедрили систему управления знаниями, 2022] Россети Сибирь разработали и внедрили систему управления знаниями | Новости энергетики «ЭЛЕКТРОЭНЕРГИЯ. Передача и распределение» [Электронный ресурс]. – URL: <https://eepir.ru/new/rosseti-sibir-razrabotali-i-nbsp-vnedrili-sistemu-upravleniya-znaniyami/> (дата обращения: 12.08.2025).
- [Управлять знаниями, 2021] Управлять знаниями [Электронный ресурс]. – URL: <https://atomvestnik.ru/2021/10/26/upravljat-znaniyami/> (дата обращения: 12.08.2025).

- [EPA, 2004] AERMOD: description of model formulation. [Электронный ресурс]. – URL: <https://nepis.epa.gov/Exe/ZyPDF.cgi/P1009OXW.PDF?Dockey=P1009OXW.PDF> (дата обращения: 05.08.2025).
- [European Environment Agency, 2023] ЕМЕР/EEA air pollutant emission inventory guidebook – European Environment Agency, 2023 [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.eea.europa.eu/themes/air/air-pollution-sources-1/emer-eea-air-pollutant-emission-inventory-guidebook> (дата обращения: 05.08.2025).
- [Gabriel, 2001] Gabriel S.A., Kydes A.S., Whitman P. The National Energy Modeling System: A Large-Scale Energy-Economic Equilibrium Model [Электронный ресурс]. – URL: <https://doi.org/10.1287/opre.49.1.14.11195> (дата обращения: 05.08.2025).
- [Kuzmin, 2023] Kuzmin V.R., Vorozhtsova T.N., Massel L.V. Design and Development of Information and Computational System for Energy Facilities' Impact Assessment on Environment // Eng. Proc. – 2023. – 33, 21.
- [Massel et al., 2019] Massel L., Kuzmin V. Knowledge management language in the information and analytical system for impact assessment of the energy on the geocology. Advances in Intelligent Systems Research T. 166 // 7th Scientific Conference on Information Technologies for Intelligent Decision Making Support (ITIDS), 28-29 May 2019. – Ufa, Russian Federation. – P. 321-325.
- [Muller et al., 2012] Müller Johannes & Krchnavi Jaren & Stocker Alexander. Global knowledge exchange using References+ within the Siemens intranet. In: Innovation and Transformation Through Knowledge Management. Eds: Serventi, Evie. 2012.
- [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).
- [Stein, 2015] Stein A.F., Draxler R.R., Rolph G.D. [et al.] NOAA's HYSPLIT Atmospheric Transport and Dispersion Modeling System // Bulletin of the American. – 2015. – Vol. 96, Is. 12. – P. 2059-2077.
- [Top 10: Energy Management Platforms, 2025] Top 10: Energy Management Platforms|Sustainability Magazine. [Электронный ресурс]. – URL: <https://sustainabilitymag.com/top10/top-10-energy-management-platforms>.