

УДК 004.822: (620.9+504.03)

## СЕМАНТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ В ИССЛЕДОВАНИЯХ УСТОЙЧИВОСТИ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ И СОЦИО-ЭКОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ

**Ворожцова Татьяна Николаевна**

к.т.н., вед. инж.-исследователь отдела «Системы искусственного интеллекта в энергетике»

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

**Пестерев Дмитрий Вячеславович**

ст. инж.-исследователь отдела «Системы искусственного интеллекта в энергетике»

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

**Кузьмин Владимир Русланович**

м.н.с. отдела «Системы искусственного интеллекта в энергетике»

e-mail: [rulisp@vigo.su](mailto:rulisp@vigo.su)

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

664033 г. Иркутск, ул. Лермонтова, 130.

**Аннотация.** В статье рассматриваются возможности применения семантического моделирования, включающего, в частности, онтологическое и когнитивное моделирование для поддержки совместных исследований энергетических и социо-экологических систем. Работа посвящена использованию онтологического инжиниринга для структурирования знаний предметных областей и когнитивного моделирования в исследованиях влияния функционирования энергетических объектов на природную среду и человека. Онтологическое моделирование используется для выявления, описания и согласования базовых понятий предметных областей исследований и позволяет систематизировать и наглядно представить взаимосвязи между элементами природной среды, объектами энергетики и их характеристиками, факторами воздействия и методами их расчета. Когнитивное моделирование используется для выявления структуры причинно-следственных связей между факторами, влияющими на устойчивость системы.

**Ключевые слова:** онтологический инжиниринг, когнитивное моделирование, устойчивость, энергетические системы, социо-экологические системы, качество жизни, базы данных.

**Цитирование:** Ворожцова Т. Н., Пестерев Д. В., Кузьмин В.Р. Семантическое моделирование в исследованиях устойчивости энергетических и социо-экологических систем // Информационные и математические технологии в науке и управлении. 2021. № 4 (24). С. 31-43. DOI: 10.38028/ESI.2021.24.4.003.

**Введение.** Исследования проблемы устойчивости энергетических систем в настоящее время являются актуальными как в России, так и за рубежом и требуют рассмотрения аспектов в разных предметных областях - технической, экологической, социальной и других [1-4]. При этом все большее внимание уделяется экологическим и социальным аспектам таких исследований. Для выполнения междисциплинарных исследований, требующих системного анализа множества факторов, необходима разработка и интеграция соответствующих методов и применение современных интеллектуальных информационных технологий, в частности, онтологического и когнитивного моделирования [5].

Постановка задачи интеграции исследований устойчивости энергетических и социо-экологических систем была ранее выполнена совместно с коллегами из Международного института прикладного системного анализа (International Institute of Application System Analysis) - МИПСА или IIASA (Лаксенбург, Австрия) [6].

В Институте систем энергетики им. Л.А. Мелентьева СО РАН ведутся исследования оценки влияния объектов энергетики на экологию, разрабатываются Web-ориентированная информационная система (WIS), интегрирующая математические и семантические методы и инструментальные средства оценки такого влияния, базы данных, базы знаний, геоинформационная система. В рамках проекта «Методы построения онтологического пространства знаний для интеллектуальной поддержки принятия решений в энергетике и экологии с учетом качества жизни», поддержанного грантом РФФИ № 20-07-00195, формируется онтологическое пространство знаний.

Основными направлениями семантического моделирования в исследованиях устойчивости являются разработка онтологических и когнитивных моделей. Онтологические описания используются для выявления и формулирования базовых понятий, систематизации и структурирования знаний предметных областей. Когнитивное моделирование используется как один из инструментов анализа и сопоставления отрицательных и положительных факторов влияния объектов энергетики на природную среду и человека. Кроме этого, онтологии, описывающие состав и структуру необходимых для исследования данных, являются основой при разработке баз данных и баз знаний выполняемых исследований.

**1. Базовые понятия исследований устойчивости энергетических и социо-экологических систем.** Разрабатываемая в мировом масштабе концепция устойчивого развития общества объединяет три составляющие: экономическую, включающую оптимальное использование ограниченных ресурсов; экологическую, как обеспечение жизнеспособности экосистем, от которых зависит стабильность всей биосферы и социальную, ориентированную на человека, как главную ценность. Необходимость рассмотрения устойчивости энергетических объектов и систем в комплексе с устойчивым развитием общества связана с решением экологических проблем, здоровьем человека и обеспечением качества жизни.

Определение понятия «устойчивость» зависит от предметной области и акцентов рассмотрения – технические, экологические, социальные. Некоторые базовые определения понятий «система» и «устойчивость», связанные с эколого-социальными аспектами были даны Николаем Федоровичем Реймерсом в словаре-справочнике по природопользованию [7]:

*Система* – это саморазвивающаяся и саморегулирующаяся упорядоченная материально-энергетическая совокупность имеющихся, поступающих извне и продуцируемых этой совокупностью веществ, энергии, информации, обеспечивающая преобладание внутренних связей над внешними.

*Устойчивость системы* – это ее способность оставаться относительно неизменной в течение определенного периода вопреки внешним и внутренним возмущениям.

*Система социо-экологическая (геосоциальная)* – это система, составленная всей биосферой, человечеством как социально-экономической совокупностью (со всем его хозяйством) и человечеством как биосоциальной видовой разновидностью.

*Устойчивость экологическая* – способность экосистемы сохранять свою структуру и функциональные особенности при воздействии внешних и внутренних факторов (нередко рассматривается как синоним стабильности).

*Экосистема* – сообщество живых существ и его среда обитания, объединенные в единое функциональное целое, возникающее на основе взаимозависимости и причинно-следственных связей между отдельными экологическими компонентами.

*Устойчивость экосистемы* – ее способность к реакциям, пропорциональным по величине силе воздействия.

В исследованиях энергетики понятия «энергетическая система» и «устойчивость», как правило, связано с понятием энергетической безопасности [8]:

*Энергетическая система* – открытая человеко-машинная производственная система, предназначенная для добычи (производства, получения), переработки (преобразования), транспортирования, хранения и распределения энергоресурсов и снабжения потребителей этой продукцией.

*Устойчивость энергосистемы* – это способность возвращаться в исходное состояние при малых или значительных возмущениях.

Как видно из приведенных определений, во всех случаях устойчивость – это способность любой системы переносить, приспосабливаться и восстанавливаться после возмущающих воздействий.

Социальная устойчивость тесно связана как с экологическими вопросами, так и с вопросами жизнеобеспечения населения необходимыми благами, в том числе теплом и электроэнергией. Этим обусловлена необходимость совместных экологических и социальных исследований, а также энергетической безопасности, как «состояния защищенности граждан, общества, государства, экономики от угроз дефицита в обеспечении их потребностей в энергии экономически доступными энергетическими ресурсами приемлемого качества и угроз нарушений бесперебойности энергоснабжения» [8].

Поскольку энергетика обеспечивает потребности населения в тепловой и электрической энергии, но, с другой стороны, отрицательно влияет на природную среду и может сказываться на здоровье населения и качестве его жизни, понятие «качество жизни» используется в исследованиях для сопоставления положительного и отрицательного влияния функционирования объектов энергетики [9, 10].

**2. Компоненты онтологического пространства знаний.** Задачами онтологического инжиниринга являются согласование понятий предметных областей, обеспечение доступности и восприятия неструктурированной информации, описание и представление знаний, работа со смыслом информации, интеграция систем и приложений [11, 12]. В выполняемых исследованиях требуется согласование исследований сложных систем энергетики и экологии. Для оценки степени влияния энергетики на природную среду и человека авторами используется понятие «качество жизни» (показатель социологических исследований), позволяющее учесть множество объективных и субъективных факторов, отражающих благосостояние, здоровье, удовлетворенность условиями жизни и другие социально-личностные аспекты.

Система разрабатываемых онтологий предполагает онтологическое описание метауровней и их дальнейшее расслоение, предусматривающее все большую степень детализации на каждом следующем уровне. Метаонтологии являются основой для описания структуры онтологического пространства и включают базовые понятия предметных областей, имеющие отношение к совместным исследованиям.

Для интеграции выполняемых исследований влияния энергетики на природную среду метаонтология включает следующие базовые понятия, являющиеся классами – *энергетический объект, энергетический ресурс, элемент природной среды, антропогенный фактор*. Каждое из этих понятий может иметь тип или подкласс в терминах онтологического представления, а также, набор свойств. При этом имеет значение не только тип энергетического объекта, но и его технологические характеристики, а также тип используемого энергетического ресурса, его качественные и количественные свойства [13].

Наиболее важным базовым понятием с точки зрения экологических аспектов исследований является понятие *Антропогенный фактор*. По определению Реймерса Н.Ф., это фактор, косвенно обязанный своим происхождением деятельности человека (планируемой или случайной, настоящей или прошлой) [7]. Применительно к энергетическим объектам под антропогенными факторами понимаются эмиссии, отходы,

излучение, шум, вибрация, радиация и т.п. Антропогенный фактор зависит от типа и вида энергоресурса, типа технологий энергетического объекта, измеряется количеством выбросов, сбросов, отходов.

В результате более детального исследования антропогенных факторов в сочетании с методическим инструментарием для их количественной оценки нашими коллегами по экологическим исследованиям предложено рассмотрение следующих понятий:

*Антропогенное воздействие* – процесс влияния хозяйственной или иной деятельности человека на элементы природной среды, измеряется показателями состава загрязняющих веществ, классом их опасности, климатическими и орографическими характеристиками территории (путем оценки фонового состояния элементов природной среды и информации об их свойствах); климатическими «поведенческими» моделями, описывающими физические, термодинамические, химические процессы в элементах природной среды.

*Антропогенное загрязнение* – результат изменения в элементах природной среды, вызываемый антропогенным воздействием. Степень загрязнения зависит от антропогенной нагрузки и обуславливает концентрацию вредных веществ в элементах природной среды, определяется составом вредных веществ, способностью адаптироваться к антропогенному воздействию и его продолжительностью, измеряется концентрацией загрязняющих веществ, плотностью выпадения (с использованием моделей распространения загрязняющих веществ в различных средах).

*Антропогенное последствие* – результат антропогенного загрязнения (изъятие территории, истощение земель, нарушение ландшафта, уничтожение растительного покрова, закисление почвы, заболевание животных и человека, высыхание водных объектов и т.п.), измеряется кратностью превышения норм ПДК для различных сред, превышения нормативов допустимых выбросов/сбросов и др. (путем систематизации существующих норм качества по каждому элементу природной среды).

Понятие *Качество жизни* определяется как совокупная характеристика уровня объективных и субъективных условий жизни населения, определяющих физическое, ментальное, социально-культурное развитие человека, группы или сообщества людей [14].

Наиболее часто качество жизни характеризуется индикаторами – показателями здравоохранения, образования, экономических условий, экологической обстановки, условий жизни, занятости и др. Состав индикаторов зависит от целей выполняемых исследований, от уровня экономического развития стран и других факторов. Часто индикаторы подразделяются на объективные и субъективные. Кроме этого существуют интегральные индикаторы, отражающие такие группы показателей, как характеристики социальной сферы, качество природно-климатических условий, качество экологии, благосостояние населения и демографические показатели.

Основными разделами разрабатываемого онтологического пространства знаний являются энергетика, экология и качество жизни. Соответственно онтологии разделов исследований содержат следующие описания:

- энергетика – описание характеристик и параметров объектов энергетики и производственных процессов для оценки их влияния на экологию;
- экология – описание существующих методов оценки выбросов загрязняющих веществ, моделей распространения загрязнений, показателей антропогенного воздействия от объектов энергетики.
- качество жизни – описание методических подходов к исследованиям, критериев и индикаторов качества жизни.

Пример описания базовых классов онтологического пространства приведен на рис. 1.

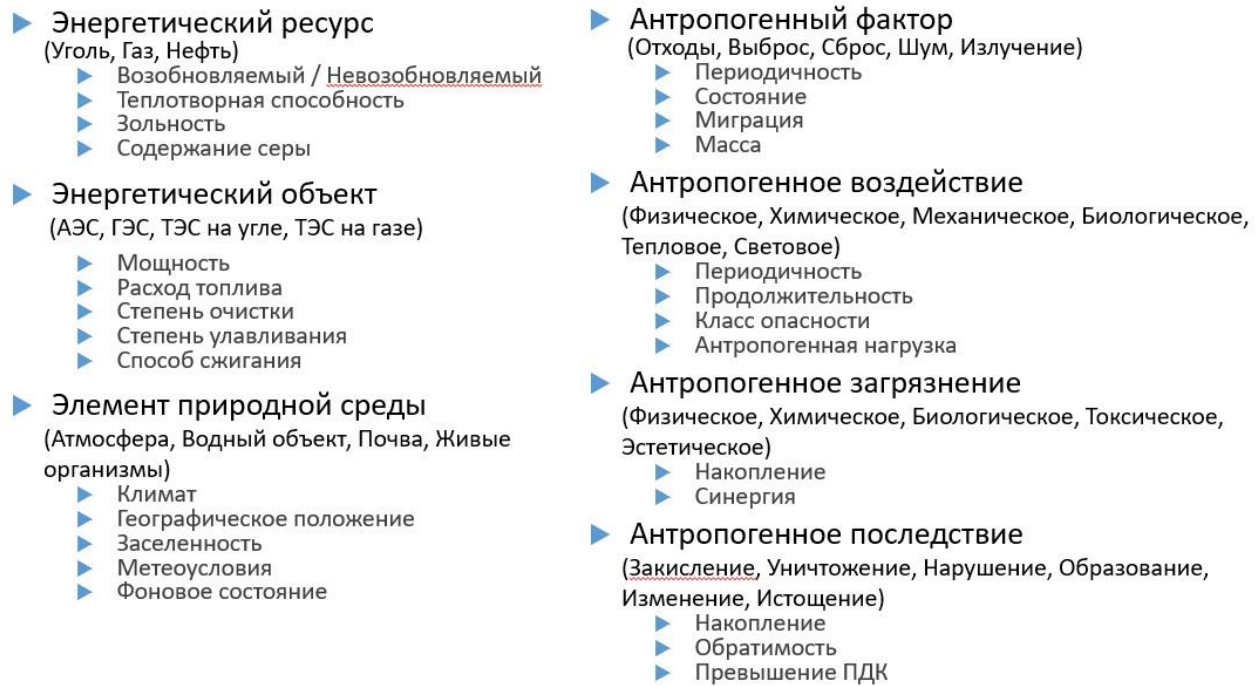


Рис. 1. Структура базовых классов онтологического пространства.

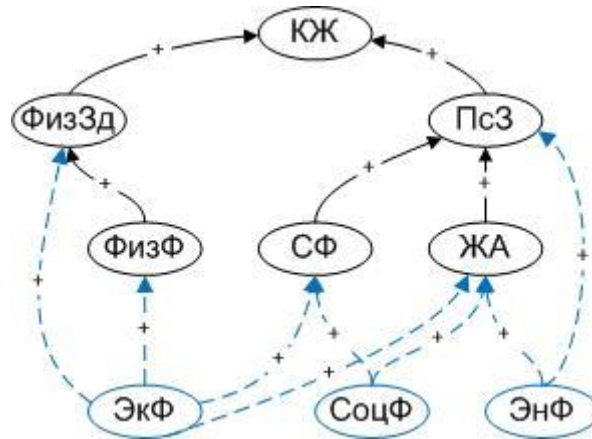
**3. Когнитивное моделирование.** Когнитивное моделирование – процесс построения когнитивных моделей. Когнитивная модель описывается ориентированным графом, где вершины графа – концепты (факторы) предметной области, а дуги – связи между концептами. Связи могут быть положительными или отрицательными в зависимости от характера взаимовлияния факторов. Также связь может иметь весовой коэффициент, который определяется экспертным путем и отражает степень этого влияния. Графическое представление когнитивной модели называется когнитивной картой.

Когнитивное моделирование в исследовании устойчивости используется для определения взаимного влияния между факторами исследуемых систем. Эти факторы можно определить как при построении когнитивной карты, так и использовать уже существующие, описанные в онтологическом пространстве исследуемой области.

«Когнитивная карта» как термин впервые предложил Э. Толмен. в работе [15]. Использование когнитивных карт для анализа и принятия решений в плохо определённых ситуациях предложил Р. Аксельрод. Большое распространение получила когнитивная карта Робертса-Аксельрода. Она была предложена Робертсом [16] как знаковый оргграф и приведена впоследствии в книге Аксельрода [17] как когнитивная карта, поэтому в некоторых источниках она приводится как когнитивная карта Аксельрода. Для нашего исследования она примечательна тем, что в этой когнитивной карте авторы показали взаимовлияние энергетических, экологических и социальных факторов. Эта карта является хорошей основой, в которую можно внести дополнительные факторы из области энергетических и социо-экологических систем значительно увеличив ее размерность и расширить применимость при исследованиях устойчивости этих систем. Небольшой пример модификации представлен на рис. 2. Введен дополнительный фактор «Уровень заболеваемости», а также добавлены дополнительные связи между существующими факторами «Энергетические мощности» – «Состояние окружающей среды», «Численность населения» – «Число рабочих мест», «Число предприятий» – «Состояние окружающей среды».



факторов, характеризующих энергетические и социо-экологические системы, как представлено на рис. 3.



**Рис. 3.** Когнитивная карта интегрального показателя жизни по методике SF-36 с включением групп внешних факторов.

Комментарии в карте: КЖ – интегральный показатель качества жизни; ФизЗд – физическое здоровье; ПсЗ – психическое здоровье; ФизФ – физическое функционирование; СоцФ – социальное функционирование; ЖА – жизненная активность;

Кроме показателей, содержащихся в методике SF-36, в эту карту включены группы факторов энергетических (ЭнФ) и социо-экологических (СоцФ и ЭкФ, соответственно) систем.

Определение весов субъективных факторов производится на основе результатов анкетирования населения в соответствии с методикой SF-36. Определение весов внешних факторов производится на основе экспертных оценок.

Использование объективно-субъективных связей между факторами в когнитивных моделях можно дополнять количественными весовыми оценками для дальнейшего математического моделирования ситуаций.

**4. Проектирование баз данных на основе онтологий.** Учитывая объём выполняемых исследований, целесообразным является применение информационных систем для проведения вычислительных экспериментов и выработки рекомендаций, для которых требуется разработка баз данных для хранения как результатов исследований, так и различной дополнительной информации, например, технологических характеристик энергетических объектов или справочной информации для выработки рекомендаций. Однако, как уже было отмечено, проводимые исследования являются междисциплинарными и включают в себя различные предметные области, что в свою очередь требует рассмотрения множества различных факторов, терминов и их взаимосвязей.

Разработанная система онтологий обеспечивает информационную поддержку исследований, проектирования и разработки баз данных на основе онтологического описания. Онтологическое моделирование целесообразно применять на этапе концептуального проектирования базы данных – описания важнейших сущностей (таблиц) и связей между ними. На рис. 4 приведена онтология дизельной электростанции, отражающая состав технических характеристик и производственных показателей ее функционирования. На основе этой онтологии, с применением методики, описанной в работе [22] была построена следующая модель данных, приведённая на рис. 5.

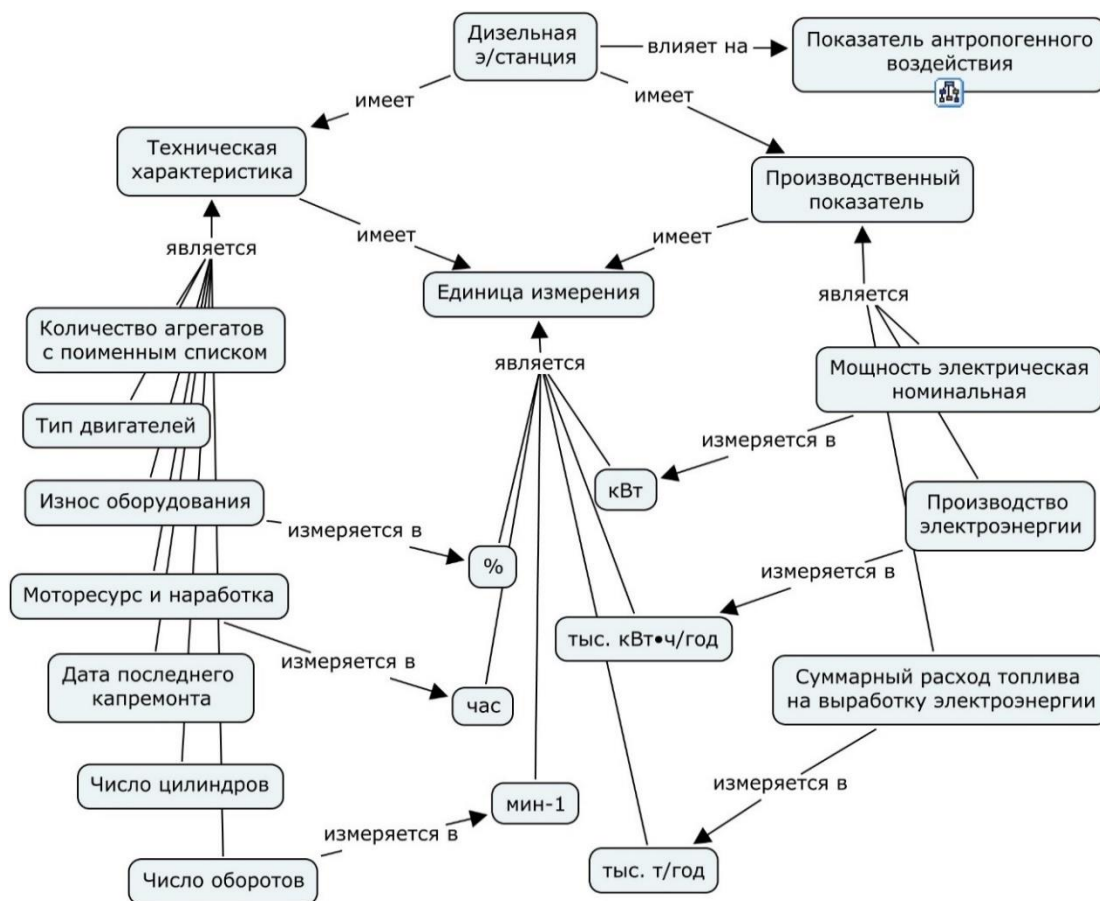


Рис. 4. Онтология дизельной электростанции.

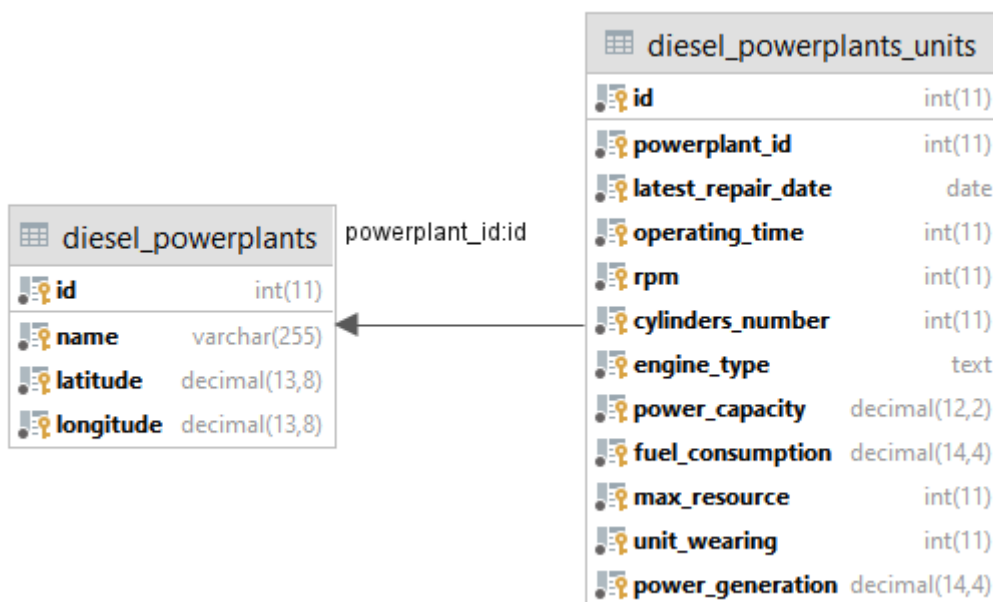


Рис. 5. Модель данных дизельной электростанции.

Спроектированная модель данных включает в себя две таблицы: таблицу, содержащую сведения о дизельной электростанции (*diesel\_powerplants*) и таблицу, содержащую сведения об её агрегатах (*diesel\_powerplants\_units*). Таблица *diesel\_powerplants* содержит небольшой набор сведений об электростанции: её наименование и местоположение (широту и долготу). Таблица *diesel\_powerplants\_units* содержит перечисление агрегатов дизельной электростанции с их техническими характеристиками, а также в неё включены



производственные показатели. Производственные показатели перенесены в таблицу агрегатов в связи с тем, что на электростанции может быть установлено несколько агрегатов, обладающих различными характеристиками. Также такое разделение может быть полезно при проведении экспериментов, связанных с выработкой решений по снижению вредного воздействия от энергетического объекта, например, путём замены существующих агрегатов на новые. Связь электростанции с её агрегатами осуществляется при помощи дополнительного поля *powerplant\_id* в таблице *diesel\_powerplants\_units*.

Использование онтологического подхода обеспечивает значительное преимущество с точки зрения корректной подготовки информационных компонентов, т.к. позволяет наладить обмен и сопоставление данных, выявление коллизий и согласование противоречий.

### **Заключение.**

В работе рассматривается применение семантического подхода, включающего онтологическое и когнитивное моделирование подхода для интеграции исследований энергетических систем с учетом их взаимовлияния на социо-экологические системы. Выполненные исследования направлены на разработку онтологических и когнитивных моделей для междисциплинарных исследований в области энергетики и экологии. Структура разрабатываемого комплекса онтологий позволяет переходить от рассмотрения понятий более общего уровня ко все более детальному, позволяющему формулировать постановки задач.

Предлагается рассматривать понятие качества жизни, как показатель, учитывающий положительные и отрицательные факторы взаимовлияния экологических и энергетических аспектов исследований.

Онтологические модели являются каркасом исследований с использованием технологий когнитивного моделирования для выявления взаимовлияния и обеспечения устойчивости энергетических и социо-экологических систем. Также онтологические модели являются основой для разработки моделей данных, которые позволяют хранить как результаты исследований, так и различную дополнительную информацию, такую как, технологические характеристики энергетических объектов или справочную информацию для выработки рекомендаций. Представленные когнитивные модели, отражают общие факторы взаимного влияния исследуемых систем, что в дальнейших исследованиях будет использовано для интеллектуальной поддержки принятия решений в энергетике.

**Благодарности.** Работа выполнена в рамках проекта по госзаданию ИСЭМ СО РАН АААА-А21-121012090007-7 (проект № FWEU-2021-0007) и при частичной финансовой поддержке гранта РФФИ № 20-07-00195 с использованием ресурсов ЦКП "Высокотемпературный контур" (Минобрнауки России, проект № 13.ЦКП.21.0038).

### **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Davoudi, S. Resilience: A Bridging Concept or a Dead End / Planning Theory and Practice. 2012. № 13 (2). P. 299-307.
2. Wang Y., Chen C., Wang J., Baldick R. Research on resilience of power systems under natural disasters – A review // IEEE Trans. Power Syst. 2016. Vol. 31. № 2. Pp. 1604-1612.
3. Бобылев С.Н., Зубаревич Н.В., Соловьева С.В. и др. Устойчивое развитие: методология и методики измерения. М.: Экономика. 2011.
4. Стрекалова А.С, Фролов Д.П. Социально-экологическая система как объект экологического маркетинга. Вестн. Волгогр. гос. ун-та. Сер. 3. Экон. Экол. 2015. № 4 (33) DOI: <http://dx.doi.org/10.15688/jvolsu3.2015.4.19>.

5. Massel L.V., Massel A.G. Intelligent system of semiotic type for decision-making support in Russia energy sector based on situational management conception // Proceedings of IV International scientific conference «Information technologies in science, management, social sphere and medicine» (ITSMSSM 2017): Advances in Computer Science Research (ACSR). Tomsk. 2017. Vol. 72. P. 423-429.
6. Massel L.V., Zorina T.G., Massel A.G. Methodological Approaches to Modeling the Assessment of the Impact of Energy on Geo-Ecology and Quality of Life (on the Example of the Russian and Belarusian Regions) // Energy Systems Research. 2019. Vol. 2 № 3. P. 63-72.
7. Реймерс Н.Ф. Природопользование: Словарь-справочник. М.: Мысль. 1990. 637 с.
8. Энергетическая безопасность. Термины и определения / отв. редактор чл.-корр. РАН Воропай Н.И. М.: «ИАЦ Энергия» 2005. 60 с.
9. Массель Л.В., Иванова И.Ю., Ворожцова Т.Н., Майсюк Е.П., Ижбулдин А.К., Зорина Т.Г., Барсегян А.Р. Онтологические аспекты исследования взаимовлияния энергетики и геоэкологии // Онтология проектирования. 2018. Т.8. № 4(30). С. 550-561. DOI: 10.18287/2223-9537-2018-8-4-550-561.
10. Массель Л.В., Комендантова Н.П. Оценка рисков природных и техногенных угроз устойчивости энергетических, экологических и социальных систем на основе интеллектуальных информационных технологий // Информационные и математические технологии в науке и управлении. 2019. № 4(16). С. 31-45. DOI: 10.25729/2413-0133-2019-4-03.
11. Онтологический инжиниринг. Режим доступа: [https://cs.hse.ru/ai/issa/Field\\_Ontology\\_Engineering](https://cs.hse.ru/ai/issa/Field_Ontology_Engineering) (дата обращения: 02.09.2021).
12. Салтыков С.А., Русяева Е.Ю. Онтологический инжиниринг и философия теории управления / Материалы XIII Всероссийского совещания по проблемам управления ВСПУ-2019. Москва 17-20 июня 2019. С. 1584-1588. Режим доступа: <https://vspu2019.ipu.ru/proceedings/1584.pdf> (дата обращения: 02.03.2021).
13. Ворожцова Т.Н., Майсюк Е.П., Иванова И.Ю. Система онтологий для исследования антропогенного влияния объектов энергетики на окружающую среду. // Информационные и математические технологии в науке и управлении. 2020. № 1 (17). С. 89-104. DOI: 10/38028/ESI.2020.17.1.007.
14. Большая Российская энциклопедия Режим доступа: <https://bigenc.ru/economics/text/2054276> (дата обращения: 02.12.2021).
15. Tolman E.C. Cognitive maps in rats and men. Psychological Review. 1948. 55(4). 189-208. DOI: 10.1037/h0061626.
16. Roberts F. S. Discrete Mathematical Models with Applications to Social, Biological, and Environmental Problems. Englewood Cliffs, N.J.: Prentice-Hall. 1976. 559 p.
17. Axelrod R. Structure of Decision: The Cognitive Maps of Political Elites. Princeton: Princeton University Press. 1976. 422 p.
18. Массель А.Г. Когнитивное моделирование угроз энергетической безопасности // Горный информационно-аналитический бюллетень. Отд. вып. № 17. М.: Изд-во: «Горная книга». 2009. С. 194–199.
19. Финогенко И.А., Дьякович М.П., Блохин А.А. Методология оценивания качества жизни, связанного со здоровьем // Вестник Тамбовского университета. Серия: Естественные и технические науки. 2016. Т. 21. № 1. С. 121-130.

20. Массель Л.В., Блохин А.А. Когнитивное моделирование индикаторов качества жизни: предлагаемый подход и пример использования // Вестник НГУ. Серия: Информационные технологии. Т.14. №2. 2016. С. 72-79.
21. Массель Л.В., Блохин А.А. Метод когнитивного моделирования индикаторов качества жизни с учетом внешних факторов // Наука и образование. Научное издание МГТУ им. Баумана. № 4. 2016. С. 65-75. DOI: 10.7463/0416.0839061.
22. Ворожцова Т.Н., Макагонова Н.Н., Массель Л.В. Онтологический подход к проектированию базы данных для оценки влияния энергетики на окружающую среду // Информационные и математические технологии в науке и управлении. 2019. № 3 (15). С. 31-41. DOI: 10.25729/2413-0133-2019-3-03.

**UDC 004.822: (620.9+504.03)**

## **SEMANTIC MODELING IN RESILIENCE RESEARCH OF ENERGY AND SOCIO-ECOLOGICAL SYSTEMS**

**Tatyana N. Vorozhtsova**

Ph.D, lead engineer-researcher of Department of Artificial Intelligence Systems in Energy

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

**Dmitriy V. Pesterev**

engineer-researcher of Department of Artificial Intelligence Systems in Energy

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

**Vladimir R. Kuzmin**

Junior researcher of Department of Artificial Intelligence Systems in Energy

e-mail: [rulisp@vigo.su](mailto:rulisp@vigo.su)

Melentiev Energy Systems Institute of SB RAS,  
664033 Irkutsk, Lermontov st., 130.

**Abstract.** The article discusses the possibilities of applying semantic modeling, including, in particular, ontological and cognitive modeling to support joint research of energy and socio-ecological systems. The work is devoted to the use of ontological engineering for structuring knowledge of subject areas and cognitive modeling in studies of the impact of the functioning of energy facilities on the natural environment and humans. Ontological modeling is used to identify, describe and coordinate the basic concepts of subject areas of research and allows you to systematize and visualize the relationship between elements of the natural environment, energy facilities and their characteristics, impact factors and methods of their calculation. Cognitive modeling is used to identify the structure of causal relationships between factors affecting the stability of the system.

**Keywords:** ontological engineering, cognitive modeling, sustainability, energy systems, socio-ecological systems, quality of life, databases.

**Acknowledgements.** The results were obtained as part of the project under the state assignment to the Melentiev ESI, SB RAS, № AAAA-A21-121012090007-7, and were supported in part by an RFBR grant №. 20-07-00195, using the resources of the High-Temperature Circuit Multi-Access Research Center (Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation, project no 13.CKP.21.0038).

## REFERENCES

1. Davoudi, S. Resilience: A Bridging Concept or a Dead End / Planning Theory and Practice. 2012. № 13 (2). Pp. 299-307.

2. Wang Y., Chen C., Wang J., Baldick R. Research on resilience of power systems under natural disasters – A review // IEEE Trans. Power Syst. 2016. Vol. 31. № 2. Pp. 1604-1612.
3. Bobylev S.N., Zubarevich N.V., Solov'eva S.V. Ustojchivoe razvitie: metodologiya i metodiki izmereniya [Sustainable development: methodology and measurement techniques]. M.: Ekonomika = Economy. 2011. (in Russian).
4. Strekalova A.S, Frolov D.P. Social'no-ekologicheskaya sistema kak ob"ekt ekologicheskogo marketinga [Socio-ecological system as an object of environmental marketing]. Vestn. Volgogr. gos. un-ta. Ser. 3. Ekon. Ekol. = Bulletin of the Volgograd State University. Series. 3. Economy. Ecology 2015. № 4 (33) DOI: 10.15688/jvolsu3.2015.4.19 (in Russian).
5. Massel L.V., Massel A.G. Intelligent system of semiotic type for decision-making support in Russia energy sector based on situational management conception // Proceedings of IV International scientific conference «Information technologies in science, management, social sphere and medicine» (ITSMSSM 2017): Advances in Computer Science Research (ACSR). Tomsk. 2017. Vol. 72. P. 423-429.
6. Massel L.V., Zorina T.G., Massel A.G. Methodological Approaches to Modeling the Assessment of the Impact of Energy on Geo-Ecology and Quality of Life (on the Example of the Russian and Belarusian Regions) // Energy Systems Research. 2019. Vol. 2. № 3. P. 63-72.
7. Rejmers N.F. Prirodopol'zovanie: Slovar'-spravochnik [Nature management: Dictionary-reference]. M.: Mysl' = Thought. 1990. 637 p. (in Russian).
8. Energeticheskaya bezopasnost. Terminy i opredeleniya [Energy security. Terms and definitions] / otv. redaktor chl.-korr. RAN Voropaj = editor-in-chief N.I. M.: "IAC Energiya" = IAC Energy 2005. 60 p. (in Russian).
9. Massel' L.V., Ivanova I.Yu., Vorozhcova T.N., Majsyuk E.P., Izhbuldin A.K., Zorina T.G., Barsegyan A.R. Ontologicheskie aspekty issledovaniya vzaimovliyaniya energetiki i geoekologii [Ontological aspects of the study of the mutual influence of energy and geoecology] // Ontologiya proektirovaniya = Design Ontology. 2018. T.8. № 4(30). Pp. 550-561. DOI: 10.18287/2223-9537-2018-8-4-550-561. (in Russian).
10. Massel' L.V., Komendantova N.P. Ocenka riskov prirodnyh i tekhnogennyh ugroz ustojchivosti energeticheskikh, ekologicheskikh i social'nyh sistem na osnove intellektual'nyh informacionnyh tekhnologij [Risk assessment of natural and man-made threats to the sustainability of energy, environmental and social systems based on intelligent information technologies] // Informacionnye i matematicheskie tekhnologii v nauke i upravlenii. = Information and mathematical technologies in science and management. 2019. № 4(16). Pp. 31-45. DOI: 10.25729/2413-0133-2019-4-03. (in Russian).
11. Ontologicheskij inzhiniring [Ontological engineering]. Available at: [https://cs.hse.ru/ai/issa/Field\\_Ontology\\_Engineering](https://cs.hse.ru/ai/issa/Field_Ontology_Engineering) (accessed 02.09.2021).
12. Saltykov S.A., Rusyaeva E.Yu. Ontologicheskij inzhiniring i filosofiya teorii upravleniya [Ontological engineering and philosophy of Management theory] / Materialy XIII Vserossijskogo soveshchaniya po problemam upravleniya VSPU-2019 = Materials of the XIII All-Russian Meeting on Management Problems of VSPU-2019. Moscow. Pp. 1584-1588. Available at: <https://vspu2019.ipu.ru/proceedings/1584.pdf> (accessed 02.03.2021) (in Russian).
13. Vorozhcova T.N., Majsyuk E.P., Ivanova I.Yu. Sistema ontologij dlya issledovaniya antropogennogo vliyaniya ob"ektov energetiki na okruzhayushchuyu sredu [A system of ontologies for the study of the anthropogenic impact of energy facilities on the environment]. // Informacionnye i matematicheskie tekhnologii v nauke i upravlenii =

- Information and mathematical technologies in science and Management 2020. № 1 (17). Pp. 89-104. DOI: 10/38028/ESI.2020.17.1.007 (in Russian).
14. Bol'shaya Rossijskaya enciklopediya [The Great Russian Encyclopedia]. Available at: <https://bigenc.ru/economics/text/2054276> (in Russian).
  15. Tolman E.C. Cognitive maps in rats and men. Psychological Review. 1948. 55(4). 189-208. DOI: 10.1037/h0061626.
  16. Roberts F.S. Discrete Mathematical Models with Applications to Social, Biological, and Environmental Problems. Englewood Cliffs, N.J.: Prentice-Hall. 1976. 559 p.
  17. Axelrod R. Structure of Decision: The Cognitive Maps of Political Elites. Princeton: Princeton University Press. 1976. 422 p.
  18. Massel' A.G. Kognitivnoe modelirovanie ugroz energeticheskoy bezopasnosti [Cognitive modeling of energy security threats] // Gornyj informacionno-analiticheskij byulleten' = Mining information and analytical bulletin. «Gornaya kniga» = Publishing house "Mountain Book". Ed. Issue 17. 2009. Pp. 194-199. (in Russian).
  19. Finogenko I.A., D'yakovich M.P., Blohin A.A. Metodologiya ocenivaniya kachestva zhizni, svyazannogo so zdorov'em [Methodology for assessing the quality of life related to health] // Vestnik Tambovskogo universiteta. Seriya: Estestvennye i tekhnicheskie nauki = Bulletin of the Tambov University. Series: Natural and Technical Sciences. 2016. T. 21. No. 1. Pp. 121-130. (in Russian).
  20. Massel' L.V., Blohin A.A. Kognitivnoe modelirovanie indikatorov kachestva zhizni: predlagaemyj podhod i primer ispol'zovaniya [Cognitive modeling of quality of life indicators: proposed approach and use case] // Vestnik NGU. Seriya: Informacionnye tekhnologii = Bulletin of the NSU. Series: Information Technology. T.14. No. 2. 2016. Pp. 72-79. (in Russian).
  21. Massel' L.V., Blohin A.A. Metod kognitivnogo modelirovaniya indikatorov kachestva zhizni s uchetom vneshnih faktorov [The method of cognitive modeling of indicators of quality of life taking into account external factors] // Nauka i obrazovanie. Nauchnoe izdanie MGTU im. Baumana. = Science and Education. Scientific publication of the Bauman Moscow State Technical University. No. 4. 2016. Pp. 65-75. DOI: 10.7463/0416.0839061. (in Russian).
  22. Vorozhcova T.N., Makagonova N.N., Massel' L.V. Ontologicheskij podhod k proektirovaniyu bazy dannyh dlya ocenki vliyaniya energetiki na okruzhayushchuyu sredu [An ontological approach to database design for assessing the impact of energy on the environment] // Information and mathematical technologies in science and management. 2019. № 3 (15). P. 31-41. DOI: 10.25729/2413-0133-2019-3-03 (in Russian).

*Статья поступила в редакцию 15.12.2021; одобрена после рецензирования 16.12.2021; принята к публикации 20.12.2021.*

*The article was submitted 15.12.2021; approved after reviewing 16.12.2021; accepted for publication 20.12.2021.*