

## Интеллектуальные и математические технологии в энергетике

УДК 004.822: (338.51+338.57)

DOI:10.25729/ESI.2024.33.1.009

### Семантический анализ взаимосвязей системы моделей для оценки межотраслевой составляющей ценовой эластичности спроса на электроэнергию

Ворожцова Татьяна Николаевна, Гальперова Елена Васильевна,

Гальперов Василий Ильич

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

Россия, Иркутск, [tnn@isem.irk.ru](mailto:tnn@isem.irk.ru)

**Аннотация.** В работе рассмотрены возможности использования семантического подхода, а именно онтологического представления входных и выходных данных компьютерных моделей, предназначенных для выполнения научных исследований. Методический подход для оценки межотраслевой составляющей коэффициентов ценовой эластичности спроса на электроэнергию предполагает использование группы разработанных разными специалистами моделей, каждая из которых решает одну или несколько конкретных задач. Использование семантических технологий при решении поставленной задачи обеспечивает согласование понятий, интеграцию моделей, а также структурирование знаний и данных. Выполнен семантический анализ информационных потоков между моделями. Приведены примеры разработанных графических онтологий. Применение семантических технологий в научных исследованиях расширяет возможности структурирования знаний, обмена данными между процессами, приложениями, специалистами и способствует получению новых знаний.

**Ключевые слова:** семантический подход, онтологии, ценовая эластичность, интеграция моделей, знания

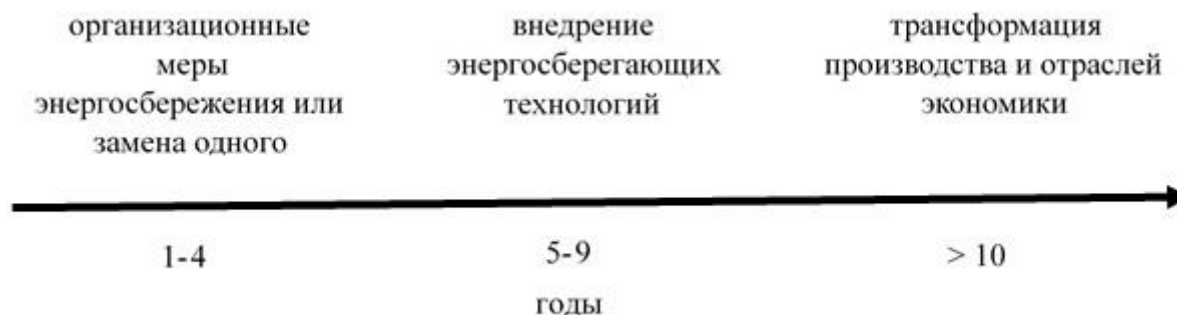
**Цитирование:** Ворожцова Т.Н. Семантический анализ взаимосвязей системы моделей для оценки межотраслевой составляющей ценовой эластичности спроса на электроэнергию / Т.Н. Ворожцова, Е.В. Гальперова, В.И. Гальперов // Информационные и математические технологии в науке и управлении. – 2024. – № 1(33). – С. 103-111. – DOI:10.25729/ESI.2024.33.1.009.

**Введение.** Термин «семантический» связан со смысловым значением сущностей, описывающих предметную область. Наибольшее распространение получило использование понятия «семантический анализ текстов» в компьютерной лингвистике [1, 2], вместе с тем, семантические технологии уже имеют широкое применение в области обработки информации и приложений на предприятиях. Например, в рамках подхода ЕИ (Enterprise Information Integration) [3, 4] они используются для интеграции различных видов информации на предприятии с целью обеспечения взаимодействия людей, процессов, систем и технологий. Семантическая интеграция основывается на знании содержательного смысла используемых данных.

Авторы предлагают применить семантический анализ для описания массивов входных и выходных данных, в разработанных разными специалистами компьютерных моделях, предназначенных для выполнения научных исследований. Семантические технологии являются одним из перспективных направлений в области формализации знаний, а онтологические модели являются инструментом перехода от работы с данными к работе со знаниями и позволяют наглядно отобразить сущности предметной области, их свойства и взаимосвязи [5, 6]. Целью данной статьи является демонстрация возможностей применения онтологий (как одного из направлений семантического подхода) для описания, структурирования и наглядного представления информационных потоков процесса решения задач, который позволит специалистам в разных научных областях лучше понимать друг друга и обмениваться знаниями.

**1. Решаемая задача и методический подход для оценки межотраслевой составляющей коэффициентов ценовой эластичности спроса на электроэнергию.** В настоящее время возрастающий интерес к способам оценки и учету взаимосвязей спроса и цен на энергоносители вызван необходимостью определения последствий принятия тех или иных решений в области экономической и/или экологической политики.

На рис. 1 в общем виде показана реакция потребителей на изменение стоимости энергоносителей и примерный временной период для реализации мероприятий, приведенных в [7]. Эта реакция может быть охарактеризована коэффициентом эластичности, который показывает, на сколько процентов изменится спрос на данный энергоноситель при изменении его стоимости на 1 %.



**Рис. 1.** Временная шкала и степень влияния стоимости энергоносителей на динамику их спроса, энергоемкость отдельных отраслей и экономики в целом

Методической основой исследований ценовой эластичности спроса на энергию является применение разного вида эконометрических моделей [8-10]. Важно отметить, что эти модели используют в качестве исходной информации ряды статистических (отчетных) данных по потреблению и стоимости энергоносителей. Очевидно, что полученные на их основе оценки отражают существовавшие в прошлом факторы и взаимосвязи. Для прогнозных исследований необходимо имитировать будущие условия, в том числе возможные межотраслевые трансформации, происходящие в долгосрочной перспективе под влиянием удорожания энергоносителей.

Для оценки межотраслевой составляющей ценовой эластичности спроса на электроэнергию предлагается алгоритм расчетов, показанный на рис. 2. Для учета перспективы развития экономики и энергетики принимается некий базовый сценарий, характеризующийся определенной динамикой изменения валового внутреннего продукта (ВВП), валовой продукции отраслей ( $X_i$ ), конечного потребления ( $Y_i$ ), цен на энергоносители, удельных показателей, энергопотребления и проч. Для выбранного для исследования года и принятой для него потребности в электроэнергии ( $W$ ) определяется удовлетворяющая ее структура мощностей в электроэнергетике и соответствующая ей стоимость электроэнергии.

Если расчетная стоимость электроэнергии не совпадает с принятой в базовом варианте, то это изменение ( $I_3$ ) является исходной информацией для оценки изменения цен продукции отраслей ( $I_{pi}$ ) под влиянием удорожания стоимости электроэнергии. Это изменение ( $I_{pi}$ ), в свою очередь, влияет на доходы отраслей, населения и бюджета, которые формируют новое значение конечного потребления ( $Y_i^1$ ) для исследуемого года, отражающее влияние изменения стоимости электроэнергии. Далее, под это значение определяются новые объемы валовой продукции отраслей ( $X_i^1$ ) и соответствующее им новое электропотребление ( $W^1$ ). Процентное отношение разности объемов потребления электроэнергии до и после изменения стоимости электроэнергии к процентному изменению ее стоимости позволяет вычислить перспективную межотраслевую составляющую ценовой эластичности спроса на электроэнергию.

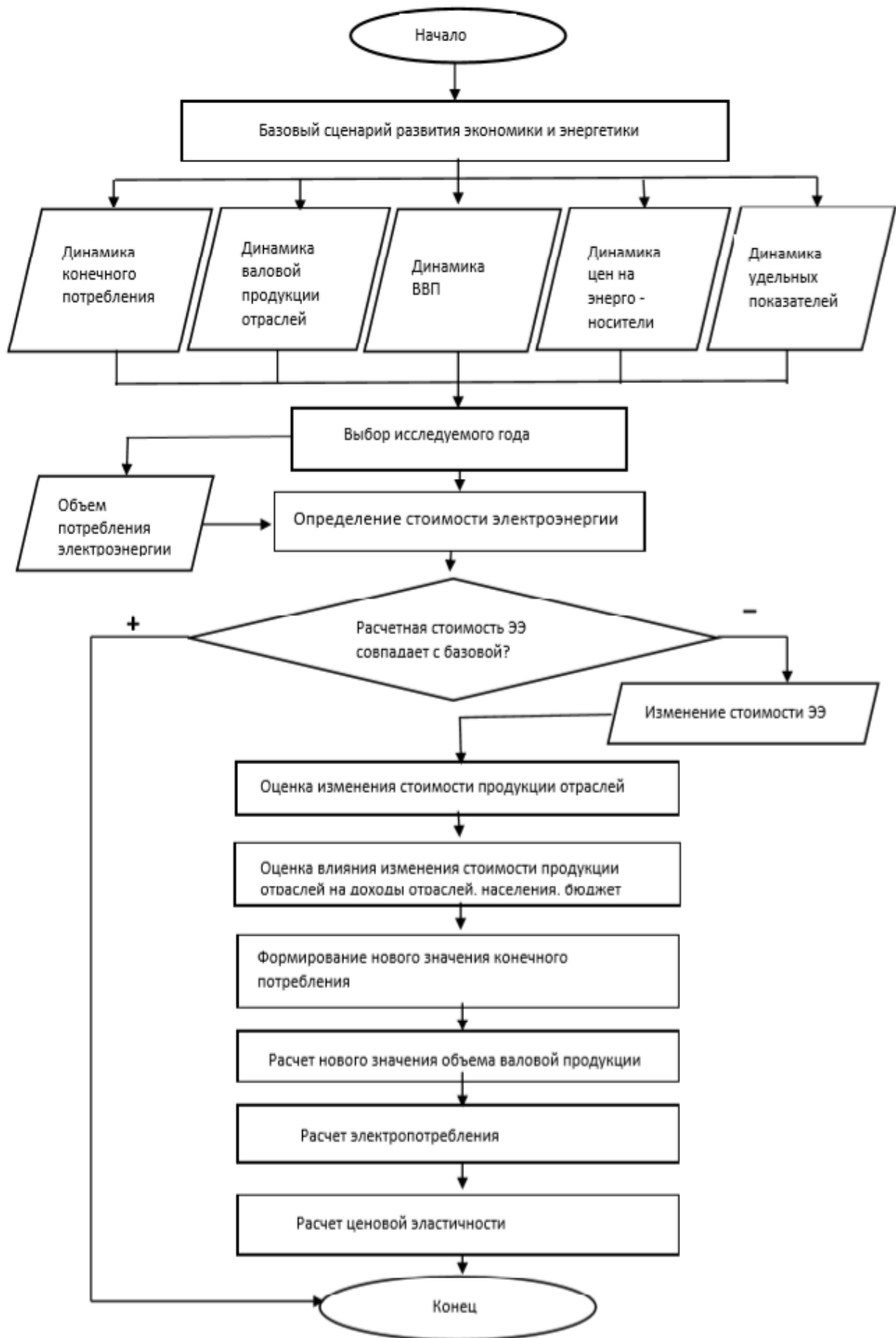


Рис. 2. Алгоритм расчета межотраслевой составляющей ценовой эластичности спроса на электроэнергию

**2. Краткое описание используемых моделей.** Для определения межотраслевой составляющей ценовой эластичности спроса на электроэнергию предлагается использовать ряд моделей из имеющегося в ИСЭМ СО РАН стенда моделей, предназначенного для оценки возможного влияния государственной ценовой и налоговой политики на развитие ТЭК [11, 12]. Этот стенд состоит из набора отдельных моделей, каждая из которых решает одну или несколько конкретных задач. Для указанной выше задачи выбираются несколько моделей из комплекса, решения на которых дополняют друг друга:

- МИДЛ – Макроэкономическая Имитационная Динамическая с распределенными Лагами оптимизационная модель предназначена для приближенной оценки возможного влияния изменений в ТЭК страны на развитие экономики. Критерий – максимум конечного потребления товаров и услуг за рассматриваемый период с учетом задаваемых условий и ограничений.
- ИНФЛЯЦИЯ – оптимизационная межотраслевая модель, определяет изменения цен в отраслях народного хозяйства при изменении стоимости энергоносителей. Критерий – минимум стоимости производства продукции отраслей.
- ОГРАН – балансовая модель, определяет изменения жизненного уровня населения, доходов и расходов бюджета, ресурсов и инвестиций при изменении стоимости энергоносителей.
- ЭНЕРДЕМ – имитационная модель, определяет потребности народного хозяйства в электроэнергии, тепле, топливе.
- МИСС-ЭЛ – Модель Имитационная Стохастическая Статическая, предназначена для приближенной оценки конкурентоспособности разных электростанций и разных способов обеспечения потребности в электроэнергии. Критерий – минимум стоимости производства и передачи электроэнергии

Для успешного исследования необходимо осуществить качественный обмен входными и выходными данными моделей. Как правило, передача данных из одной модели в другую требует их согласования и анализа с участием экспертов-исследователей. Для облегчения понимания этого процесса предлагается использовать семантические технологии.

**3. Семантический анализ взаимосвязей системы моделей.** Применение семантических технологий при решении поставленной задачи обеспечивает согласование понятий, интеграцию моделей, а также структурирование данных и знаний. Для визуализации и анализа межмодельных информационных потоков были использованы онтологическое моделирование и фрактальный подход при разработке самих онтологий [13, 14]. Это позволило определить основные потоки информации между всеми выбранными для решения задачи моделями. Схема информационных потоков представлена на рис. 3.

Онтологии позволяют создавать модели, отражающие определенный фрагмент предметной области, более точно соответствующий реальности, чем другие способы классификации [15-17]. Онтологическое моделирование начинается с анализа терминов. Терминология этих исследований связана со множеством разнородных понятий – отрасль, продукция, инвестиции, затраты, производство, потребление, трудоемкость и др. С учетом решаемой задачи для согласования обмена данными между моделями построена метаонтология базовых понятий, отражающих информационные взаимосвязи (рис. 4).

Каждое из базовых понятий уточняется на следующем уровне на основе фрактального подхода, предусматривающего дальнейшую детализацию метапонятий. В качестве примера на рис. 5 показана онтология понятия «Показатель», детализирующая его, в том числе, по производственным и экономическим составляющим.

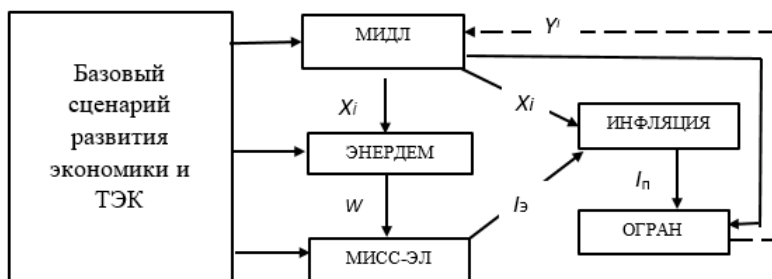


Рис. 3. Состав моделей и потоки информации для оценки межотраслевой составляющей ценовой эластичности спроса на электроэнергию

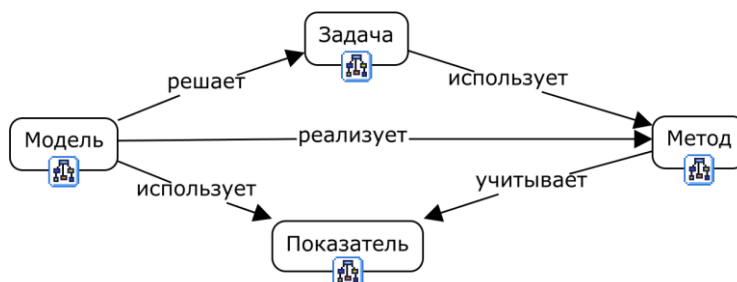


Рис. 4. Базовые понятия метаонтологии

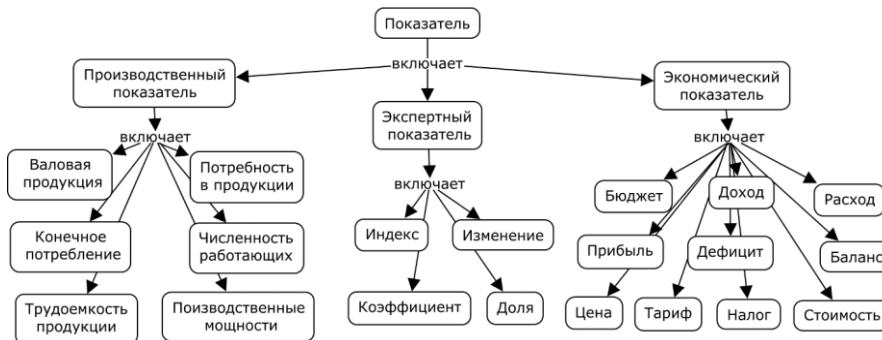


Рис. 5. Онтология понятия «Показатель»

В зависимости от «Задачи» и используемой «Модели» понятие «Показатель» включает набор компонентов, которые могут иметь разные наименования и разные свойства, требующие согласования при обмене данными между моделями, например, единицы измерения. На рис. 6 демонстрируется пример онтологии модели «ИНФЛЯЦИЯ», отражающей набор входных и выходных параметров этой модели. В процессе семантического анализа были описаны входные и выходные данные всех компьютерных моделей, нужных для решения задачи оценки межотраслевой составляющей коэффициентов ценовой эластичности спроса на электроэнергию.

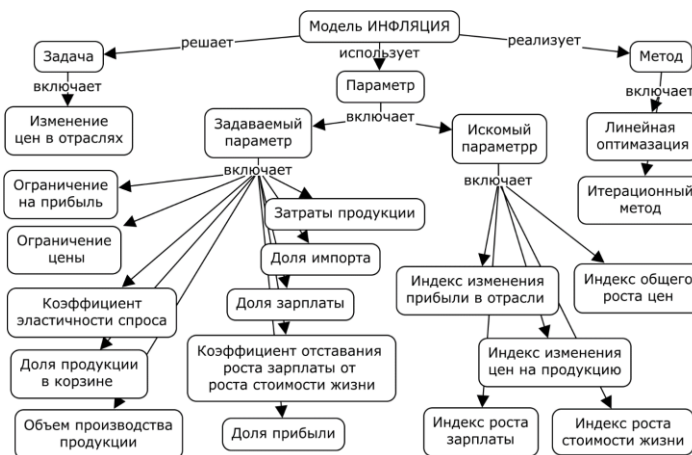


Рис. 6. Онтология модели «ИНФЛЯЦИЯ»

Проведенный семантический анализ и разработанные онтологические модели позволили систематизировать и структурировать основные понятия, необходимые для решения поставленной задачи. Результат семантического (онтологического) анализа представлен на рис. 7, отражающем наиболее важные потоки информации и показатели. При необходимости возможен и более детальный их анализ.

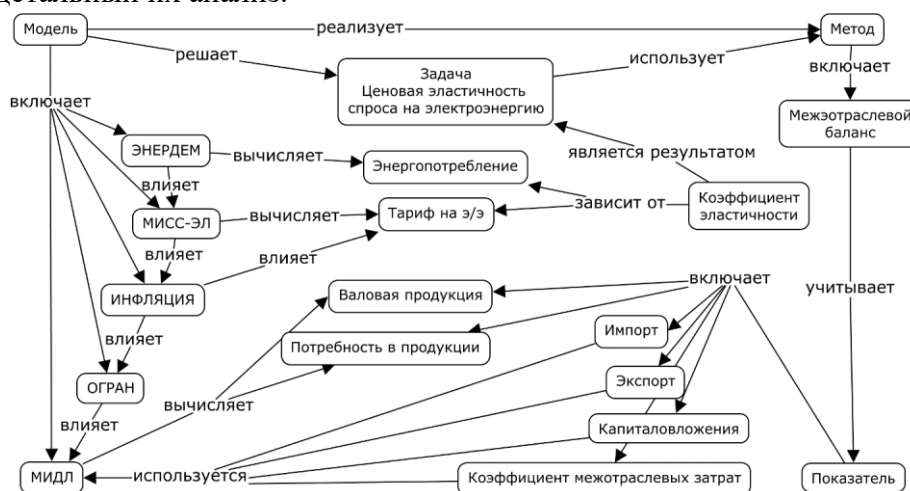


Рис. 7. Онтология основных взаимосвязей моделей и показателей

Графическое представление онтологий обеспечивает визуализацию словаря терминов соответствующей области исследования и соотношение понятий между собой, их наглядность и возможность согласования терминологии между специалистами разных областей знаний. Подобная интерпретация задачи позволяет эксперту быстрее и качественнее проводить исследования, а также обеспечивает передачу знаний в более доступной форме.

**Заключение.** Семантические технологии расширяют возможности обмена данными между процессами, приложениями, специалистами и способствуют получению новых знаний. Выполненный семантический анализ информационных потоков и разработанная система онтологий, на примере решения задачи оценки межотраслевой составляющей ценовой эластичности спроса на электроэнергию с применением группы компьютерных моделей, позволяет использовать эти модели не только их разработчикам, но и более широкому кругу исследователей. Онтологическое моделирование обеспечило структурирование информации и более наглядное представление знаний экспертов, работающих с описанными моделями.

В связи с тем, что данный комплекс моделей относится к категории унаследованных программных систем, но имеет важное значение для выполнения научных исследований, возможно, в дальнейшем потребуются его реинжиниринг [18]. Онтологическое моделирование информационного обмена данными является одним из первых этапов анализа и инвентаризации рассматриваемой системы моделей с точки зрения возможности реинжиниринга этого программного обеспечения.

**Благодарности.** Работа выполнена в рамках проекта государственного задания (№ FWEU-2021-0007 рег. № AAAA-A21-121012090007-7) и проекта государственного задания № FWEU-2021-0003 (рег. № AAAA-A21-121012090014-5) программы фундаментальных исследований РФ на 2021-2030 гг.

### Список источников

1. Батура Т.В. Семантический анализ и способы представления смысла текста в компьютерной лингвистике / Т.В. Батура // Программные продукты и системы, 2016. – № 4(116). – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/semanticheskij-analiz-i-sposoby-predstavleniya-smysla-teksta-v-kompyuternoy-lingvistike>.
2. Загоруйко Ю.А Семантический подход к анализу документов на основе онтологии предметной области / Ю.А. Загоруйко, И.С. Кононенко, Е.А. Сидорова // Компьютерная лингвистика и интеллектуальные технологии. Труды Международной конференции "Диалог 2006". – Российский государственный гуманитарный университет, 2006.

3. Черняк Л. На пути к технологиям работы с информацией / Л. Черняк // Открытые системы. СУБД, 2008. – №2.
4. Черняк Л. Интеграция данных: синтаксис и семантика / Л. Черняк // Открытые системы. СУБД, 2009. – №10.
5. Тузовский А.Ф. Система интеграции информации и знаний с использованием семантических технологий / А.Ф. Тузовский, А.В. Черный // Известия Томского политехнического университета, 2009. – Т. 315. – № 5. – С. 127–132.
6. Рубашкин В.Ш. Онтологическая семантика: Знания. Онтологии. Онтологически ориентированные методы информационного анализа текстов / В.Ш. Рубашкин. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2012. – 346 с.
7. Кононов Ю.Д. Влияние энергетических стратегий на энергопотребление. – Иркутск: СЭИ, 1985, 106 с.
8. Reinhard Madlener, Ronald Bernstein, Miguel Ángel Alva González Econometric estimation of energy demand elasticities. - E.ON Energy research center series, vol. 3, iss. 8, Aachen, October 2011, Germany, p. 59, ISSN: 1868-7415.
9. Xavier Labandeira, José M. Labeaga, Xiral López-Otero. Estimation of elasticity price of electricity with incomplete information. Energy Economics, 2012, no. 34, pp. 627-633.
10. M.G. Lijesen. The real-time price elasticity of electricity. Energy Economics, 2007, no. 29, pp. 249-258.
11. Кононов Ю.Д. Методы и модели прогнозных исследований взаимосвязей энергетики и экономики / Ю.Д. Кононов, Е.В. Гальперова, Д.Ю. Кононов и др. – Новосибирск: Наука, 2009. – 178 с.
12. Гальперова Е.В. Использование стенда моделей для долгосрочного прогнозирования рыночного спроса на энергоносители / Е.В. Гальперова // Информационные и математические технологии в науке и управлении, 2016. – № 4-2. – с. 17-27.
13. Ворожцова Т.Н. Семантическое моделирование в исследованиях устойчивости энергетических и социо-экологических систем / Т.Н. Ворожцова, Д.В. Пестерев, В.Р. Кузьмин // Информационные и математические технологии в науке и управлении, 2021. – №4(24). – С. 31-43. – DOI: 10.38028/ESI.2021.24.4.003.
14. Массель Л.В. Фрактальный подход к структурированию знаний и примеры его применения / Л.В. Массель // Онтология проектирования, 2016. – Т. 6. – № 2(20). – С. 149-161. – DOI:10.18287/2223-9537-2016-6-2-149-161.
15. Хорошевский В.Ф. Семантические технологии: ожидания и тренды / В.Ф. Хорошевский // II Международная научно-техническая конференция «Открытые семантические технологии проектирования интеллектуальных систем (OSTIS - 2012)». – Минск, 2012
16. Массель Л.В. Семантические технологии на основе интеграции онтологического, когнитивного и событийного моделирования / Л.В. Массель, А.Г. Массель // III междунар. научно-технич. конф. Открытые семантические технологии проектирования интеллектуальных систем. Минск Белоруссия, 2013. – С.247-250.
17. Массель Л.В. Когнитивная графика и семантическое моделирование для геопространственных решений в энергетике / Л.В. Массель, А.Г. Массель, Р.А. Иванов // Тр. 21-й междунар. конф. Интеркарто/ИнтерГИС «Устойчивое развитие территорий: картографо-геоинформационное обеспечение», Краснодар-Фиджи, 2015, – С.496-502.
18. Массель А.Г. Адаптация методики реинжиниринга унаследованных программных систем / А.Г. Массель, Т.Р. Мамедов // Информационные и математические технологии в науке и управлении, 2021. – №4(24). – С. 88-99. – DOI: 10.38028/ESI.2021.24.4.009.

**Ворожцова Татьяна Николаевна.** Кандидат технических наук, ведущий инженер отдела систем искусственного интеллекта в энергетике Института систем энергетики им. ЛА. Мелентьева. Научные интересы: семантические технологии, онтологии и онтологические системы, когнитивное моделирование, представление знаний. AuthorID: 11040, SPIN: 4372-0299, ORCID: 0000-0002-4022-8937, tnn@isem.irk.ru, 664033, Иркутск, ул. Лермонтова 130.

**Гальперова Елена Васильевна.** Кандидат технических наук, доцент, старший научный сотрудник Института систем энергетики им. ЛА. Мелентьева. Основные научные интересы: исследование и долгосрочное прогнозирование динамики и структуры энергопотребления, конъюнктуры региональных энергетических рынков с учетом научно-технологического прогресса, качества жизни населения, ценовых и экологических показателей и ограничений. AuthorID: 73970, SPIN: 5744-2377, ORCID: 0000-0001-6749-8630, galper@isem.irk.ru, 664033, Иркутск, ул. Лермонтова 130.

**Гальперов Василий Ильич.** Кандидат технических наук, младший научный сотрудник Института систем энергетики им. ЛА. Мелентьева. Основные научные интересы: проектирование и разработка многоагентных систем для исследования перспектив развития энергетики. AuthorID: 991603, SPIN: 8567-0618, ORCID: 0000-0003-4691-3713, galperov@gmail.com, 664033, Иркутск, ул. Лермонтова 130.

UDC 004.822: (338.51+338.57)

DOI:10.25729/ESI.2024.33.1.009

## **Semantic analysis of interrelationships within a system of models for evaluating the price elasticity of demand for electricity**

**Tatyana N. Vorozhtsova, Elena V. Galperova, Vasily I. Galperov**

Melentiev Energy Systems Institute,

Russia, Irkutsk, *tnn@isem.irk.ru*

**Abstract.** The paper examines the possibilities of using a semantic approach, namely an ontological representation of information used in computer models designed to carry out research. The proposed methodological approach for assessing the cross-industry component of the coefficients of price elasticity of demand for electricity involves the use of a group of computer models developed by different specialists, each of which solves one or more specific problems. The use of semantic technologies in solving a given problem ensures the coordination of concepts, the integration of models and applications, as well as the structuring of knowledge and information. A semantic analysis of information flows between models was performed. Examples of developed graphic ontologies are given. Semantic technologies expand the possibilities of structuring information, exchanging data between processes, applications, specialists, and obtaining new knowledge.

**Keywords:** semantic approach, ontologies, price elasticity, integration of models, knowledge

**Acknowledgements:** The study was carried out under State Assignment Project № FWEU-2021-0007 per. № AAAA-A21-121012090007-7 (. № AAAA-A21-121012090007-7) and State Assignment Project no. FWEU-2021-0003 (reg. no AAAA-A21-121012090014-5) of the Fundamental Research Program of Russian Federation 2021-2030, some results were obtained with partial funded by RFBR project no 20-010-00204.

### **References**

1. Batura T.V. Semanticheskij analiz i sposoby predstavleniya smysla teksta v komp'yuternoj lingvistike [Semantic analysis and ways of representing the meaning of a text in computational linguistics]. Programmnyye produkty i sistemy [Software products and systems], 2016, no 4(116), available at: <https://cyberleninka.ru/article/n/semanticheskij-analiz-i-sposoby-predstavleniya-smysla-teksta-v-kompyuternoy-lingvistike>.
2. Zagorulko Yu.A., Kononenko I.S., Sidorova E.A. Semanticheskij podhod k analizu dokumentov na osnove ontologii predmetnoj oblasti [Semantic approach to document analysis based on domain ontology]. Komp'yuternaya lingvistika i intellektual'nyye tekhnologii. Trudy Mezhdunarodnoy konferentsii "Dialog 2006" [Computational linguistics and intellectual technologies. Proceedings of the International Conference "Dialogue 2006"], Rossiyskiy gosudarstvennyy gumanitarnyy universitet [Russian State University for the Humanities], 2006.
3. Chernyak L. Na puti k tekhnologiyam raboty s informaciej [On the way to technologies of working with information]. Otkrytye sistemy, SUBD [Open systems, DBMS], 2008, no. 2.
4. Chernyak L. Integraciya dannyh: sintaksis i semantika [Data integration: Syntax and semantics]. Otkrytye sistemy, SUBD [Open systems, DBMS], 2009, no. 10.
5. Tuzovsky A.F. Sistema integracii informacii i znaniy s ispol'zovaniem semanticheskikh tekhnologij [System of integration of information and knowledge using semantic technologies]. Izvestiya Tomskogo politekhnicheskogo universiteta [Proceedings of Tomsk polytechnic university], 2009, vol. 315, no 5, pp. 127-132
6. Rubashkin V.S. Ontologicheskaya semantika. Znaniya. Ontologii. Ontologicheski orientirovannyye metody informacionnogo analiza tekstov [Ontological semantics. Knowledge. Ontologies. Ontologically oriented methods of information analysis of texts]. Moscow, FIZMATLIT Publ., 2012, 346 p.
7. Kononov Yu.D. Vliyanie energeticheskikh strategij na energopotreblenie [Impact of energy policies on energy consumption]. Irkutsk, SEI, 1985, 106 p.
8. Reinhard Madlener, Ronald Bernstein, Miguel Ángel Alva González Econometric estimation of energy demand elasticities. - E.ON Energy research center series, vol. 3, iss. 8, Aachen, October 2011, Germany, p. 59, ISSN: 1868-7415.
9. Xavier Labandeira, José M. Labeaga, Xiral López-Otero. Estimation of elasticity price of electricity with incomplete information. Energy Economics, 2012, no. 34, pp. 627-633.
10. M.G. Lijesen. The real-time price elasticity of electricity. Energy Economics, 2007, no. 29, pp. 249-258.
11. Kononov Yu.D., Galperova E.V., Kononov D.Yu. et al. Metody i modeli prognoznyh vzaimosvyazey energetiki i ekonomiki [Methods and models for projections of energy-economy interactions]. Novosibirsk, Nauka [Science], 2009, 178 p.
12. Galperova E.V. Ispol'zovanie stenda modelej dlya dolgosrochnogo prognozirovaniya rynochnogo sprosa na energositoliteli [Set of models for long-term forecasting of market energy demand]. Informacionnye i matematicheskie



- tehnologii v nauke i upravlenii [Information and mathematical technologies in science and management], 2016, no. 4-2, pp. 17-27.
13. Vorozhzcova T.N., Pesterev D.V., Kuz'min V.R. Semanticheskoe modelirovanie v issledovaniyah ustojchivosti energeticheskikh i socio-ekologicheskikh system [Semantic modeling in sustainability studies of energy and socio-ecological systems]. Informacionnye i matematicheskie tekhnologii v nauke i upravlenii [Information and mathematical technologies in science and management], 2021, no. (24), pp. 31-43, DOI: 10.38028/ESI.2021.24.4.003.
  14. Massel' L.V. Fraktal'nyj podhod k strukturirovaniyu znaniy i primery ego primeneniya [Fractal approach to structuring knowledge and examples of its application]. Ontologiya proektirovaniya [Design Ontology], 2016, vol.6, no. 2(20), pp. 149-161, DOI:10.18287/2223-9537-2016-6-2-149-161.
  15. Khoroshevsky V.F. Semanticheskie tekhnologii: ozhidaniya i trendy [Semantic technologies: expectations and trends]. Trudy II Mezhdunarodnoj nauchno-tekhnicheskoj konferencii «Otkrytye semanticheskie tekhnologii proektirovaniya intellektual'nyh sistem [Proc. of II International Scientific and Technical Conference "Open Semantic technologies for designing Intelligent systems (OSTIS - 2012)"]», Minsk, 2012.
  16. Massel' L.V., Massel' A.G. Semanticheskie tekhnologii na osnove integracii ontologicheskogo, kognitivnogo i sobytiynogo modelirovaniya [Semantic technologies based on the integration of ontological, cognitive and event modeling]. III mezhdunar. nauchno-tekhnich. konf. Otkrytye semanticheskie tekhnologii proektirovaniya intellektual'nyh sistem [III international scientific and technical conf. Open semantic technologies for designing intelligent systems], Minsk, Belarus, 2013, pp.247-250.
  17. Massel' L.V., Massel' A.G., Ivanov R.A. Kognitivnaya grafika i semanticheskoe modelirovanie dlya geopros-transtvennyh reshenij v energetike [Cognitive graphics and semantic modeling for geospatial solutions in the energy sector]. Tr. 21-j mezhdunar.konf. Interkarto/InterGIS “Ustojchivoe razvitie territorij: kartografo-geoinfor-macionnoe obespechenie” [Proc. 21st International Conf. Interkarto/InterGIS “Sustainable development of terri-tories: cartographic and geoinformation support”], Krasnodar-Fiji, 2015, pp.496-502.
  18. Massel' A.G., Mamedov T.R. Adaptaciya metodiki reinzhiniringa unasledovannyh programmnyh sistem [Adapta-tion of techniques for reengineering legacy software systems]. Informacionnye i matematicheskie tekhnologii v nauke i upravlenii [Information and mathematical technologies in science and management], 2021, no. 4(24), pp. 88-99, DOI: 10.38028/ESI.2021.24.4.009.

**Vorozhtsova Tatyana Nikolaevna.** PhD in technics, leading engineer of the department of artificial intelligence systems in Melentiev energy systems institute. Research interests: semantic technologies, ontologies and ontological systems, cognitive modeling, knowledge representation. AuthorID: 11040, SPIN: 4372-0299, ORCID: 0000-0002-4022-8937, tnn@isem.irk.ru, 664033, Irkutsk, st. Lermontova 130.

**Galperova Elena Vasilievna.** PhD in technics, associate professor, senior researcher at the Melentiev energy systems institute. Main scientific interests: research and long-term forecasting of the dynamics and structure of energy consumption, conditions of regional energy markets, taking into account scientific and technological progress, quality of life of the population, price and environmental indicators and restrictions. AuthorID: 73970, SPIN: 5744-2377, ORCID: 0000-0001-6749-8630, galper@isem.irk.ru, 664033, Irkutsk, st. Lermontova 130.

**Galperov Vasily Ilyich.** PhD in technics, junior researcher at the Melentiev energy systems institute. Main scientific interests: design and development of multi-agent systems for studying the prospects for energy development; AuthorID: 991603, SPIN: 8567-0618, ORCID: 0000-0003-4691-3713, galperov@gmail.com, 664033, Irkutsk, st. Lermontova 130.

Статья поступила в редакцию 17.11.2023; одобрена после рецензирования 16.02.2024; принята к публикации 11.03.2024.

The article was submitted 11/17/2023; approved after reviewing 02/16/2024; accepted for publication 03/11/2024.