

КОНЦЕПТУАЛЬНАЯ МОДЕЛЬ ЗНАНИЙ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЙ КРИТИЧЕСКИХ ИНФРАСТРУКТУР ЭНЕРГЕТИКИ

Ворожцова Татьяна Николаевна

К.т.н., вед. инженер лаборатории информационных технологий в энергетике,

e-mail: tnn@isem.irk.ru

Пяткова Наталия Ивановна

К.т.н., ст. науч. сотрудник лаборатории развития ТЭК

e-mail: nata@isem.irk.ru

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

664130 г. Иркутск, ул. Лермонтова 130

Аннотация. В статье предлагается концептуальная модель знаний для исследования топливно-энергетического комплекса как критической инфраструктуры. Предложено в качестве концептуальной модели использовать систему взаимосвязанных онтологических моделей, отражающих базовые понятия предметной области и их взаимосвязи. Рассматривается структура объектов топливно-энергетического комплекса, задачи исследований с позиций энергетической безопасности и требуемая информационная база. Разработанная система онтологий используется для структурирования, интеграции знаний при исследованиях критических инфраструктур энергетики.

Ключевые слова: критическая инфраструктура, энергетическая безопасность, топливно-энергетический комплекс, онтология, метаонтология, концептуальная модель, моделирование знаний, фрактальная модель

Цитирование: Ворожцова Т.Н., Пяткова Н.И. Концептуальная модель знаний для исследований критических инфраструктур энергетики // Информационные и математические технологии в науке и управлении. 2019. № 1 (13). С. 38–46. DOI: 10.25729/2413-0133-2019-1-04

Введение. В настоящее время исследования критических инфраструктур становятся все более актуальными. За рубежом исследования критических инфраструктур начались в 90-х годах прошлого века, были предложены различные трактовки термина «критическая инфраструктура» [9, 10], созданы исследовательские центры.

Под критической понимается «инфраструктура, элементы которой имеют особое значение для государства и общества, выход из строя или ограничение работоспособности которых привели бы к длительным перебоям в снабжении, серьезным нарушениям общественной безопасности или иным драматическим последствиям» [4]. К критически важной инфраструктуре относятся объекты, сети, службы и системы, сбой в работе которых отразится на здоровье, безопасности и благосостоянии граждан. В соответствии с этим определением к категории критических инфраструктур можно отнести как отраслевые системы энергетики, так и топливно-энергетический комплекс [ТЭК], представляющий собой взаимосвязанную инфраструктуру, состоящую из отдельных систем энергетики.

1. ТЭК как критическая инфраструктура. Федеральный закон «О безопасности объектов топливно-энергетического комплекса» [6] определяет важнейшие объекты

топливно-энергетического комплекса. К ним относятся объекты, нарушение или прекращение работы которых приведет к потере контроля над экономикой Российской Федерации, субъекта Российской Федерации или административно-территориальной единицы, ее необратимым отрицательным изменениям (уничтожению) или значительному уменьшению безопасности жизни населения.

В Институте систем энергетики им. Л.А. Мелентьева исследование топливно-энергетического комплекса как критической инфраструктуры является одним из важных направлений исследований надежного энергоснабжения потребителей.

Указанный закон дает следующие определения рассматриваемой предметной области. Объектами ТЭК являются объекты электроэнергетики, нефтедобывающей, нефтеперерабатывающей, нефтехимической, газовой, угольной, сланцевой и торфяной промышленности, а также объекты нефтепродуктообеспечения, теплоснабжения и газоснабжения.

Линейные объекты ТЭК – электрические сети, магистральные газопроводы, нефтепроводы и нефтепродуктопроводы, предназначенные для обеспечения передачи электрической энергии, транспортировки газа, нефти и нефтепродуктов.

К критическим элементам объекта ТЭК относятся потенциально опасные элементы (участки), совершение акта незаконного вмешательства в отношении которых приведет к прекращению нормального функционирования объекта ТЭК, его повреждению или к аварии на объекте ТЭК.

Потенциально опасные объекты (участки) ТЭК – это объекты (территориально выделенные зоны (участки), конструктивные и технологические элементы объектов), на которых используются, производятся, перерабатываются, хранятся, эксплуатируются, транспортируются или уничтожаются радиоактивные, взрыво-, пожароопасные и опасные химические и биологические вещества, а также гидротехнические и иные сооружения, аварии на которых могут привести к возникновению чрезвычайных ситуаций с опасными социально-экономическими последствиями.

Охраняемые объекты ТЭК – это здания, строения, сооружения, а также прилегающие к ним территории и акватории в пределах установленных границ.

Эти определения являются базовыми при описании исследуемой предметной области.

Закон также предусматривает категорирование объектов ТЭК с учетом степени потенциальной опасности совершения акта незаконного вмешательства и его возможных последствий. При этом учитываются следующие факторы:

- является ли объект критически важным объектом для инфраструктуры и жизнеобеспечения ТЭК,
- масштабы возможных социально-экономических последствий вследствие аварий,
- наличие критических элементов объекта ТЭК,
- наличие потенциально опасных участков объекта ТЭК,
- наличие на объекте уязвимых мест.

Главной целью обеспечения безопасности объектов ТЭК является их устойчивое и безопасное функционирование, защита интересов личности, общества и государства от актов незаконного вмешательства.

2. Задачи исследований. В ИСЭМ СО РАН проводятся исследования критических инфраструктур с позиций энергетической безопасности. Энергетическая безопасность страны и ее регионов предполагает сбалансированность спроса и предложения энергоресурсов в критических или чрезвычайных ситуациях [7]. На рис. 1 представлена схема, отражающая взаимосвязи базовых характеристик, учитываемых при моделировании функционирования объектов топливно-энергетического комплекса.

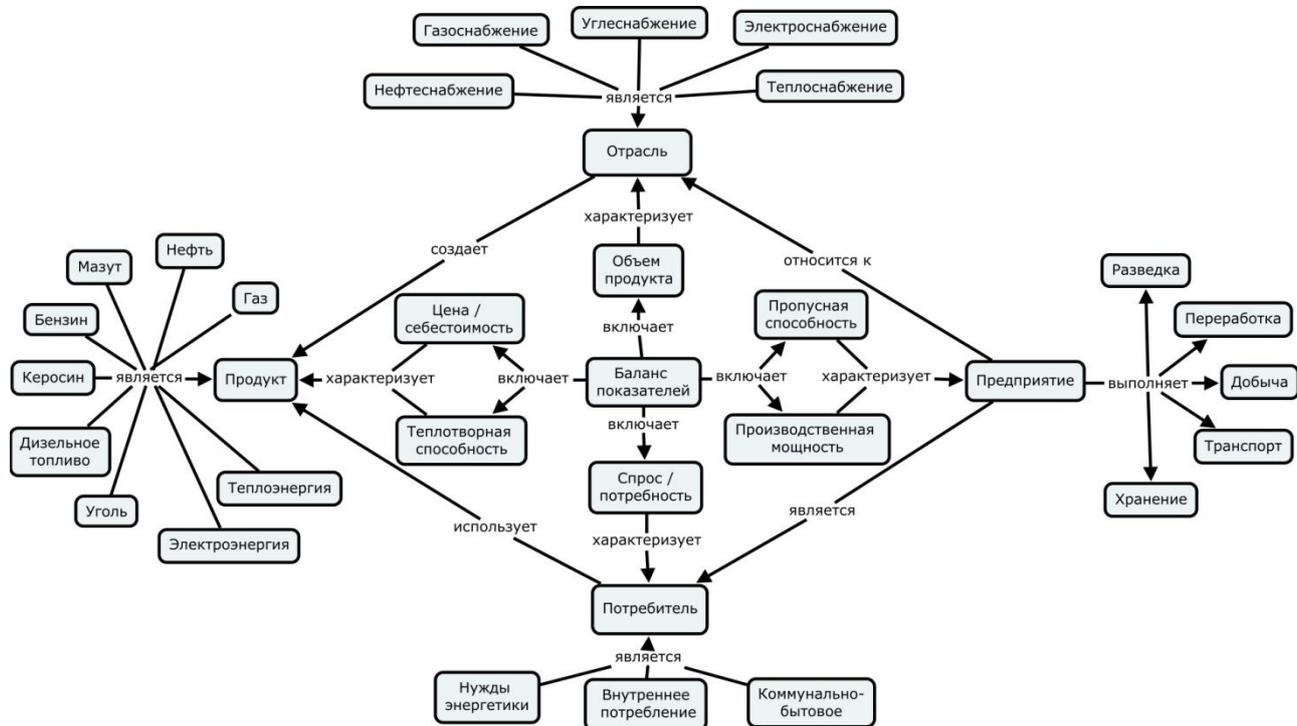


Рис. 1. Схема взаимосвязей показателей объектов ТЭК

При этом должно учитываться множество характеристик (показателей) объектов ТЭК, а также достаточно подробно представлена территориально-производственная структура ТЭК. Одна из основных целей исследований состоит в выявлении ключевых объектов (или их совокупности), воздействие на которые может оказать наиболее негативный эффект на отрасль, ключевой ресурс или всю инфраструктуру. Необходимо оценить последствия такого воздействия и разработать механизмы снижения таких рисков.

При этом решаются следующие задачи:

- Формирование возможных угроз.
- Разработка сценариев потенциальных угроз.
- Анализ уязвимых мест.
- Оценка последствий негативного воздействия.
- Разработка механизмов защиты.
- Прогнозирование состояния систем энергетики.
- Оценка функционирования систем энергетики.

Исследования критических инфраструктур выполняются на базе вычислительных экспериментов с применением экономико-математических моделей. При этом решаются задачи по прогнозированию, функционированию и оценке состояния систем энергетики с учетом возможных нештатных ситуаций, а также выбору мер по снижению их негативного воздействия.

Для решения этих задач разработана система экономико-математических моделей функционирования систем энергетики (СЭ) и ТЭК в целом [2]. Используемые территориально-производственные модели отражают технологический цикл преобразований энергоресурсов, имитируют работу ключевых отраслевых объектов в заданных условиях функционирования. При этом моделируются возможные состояния объектов энергетики в условиях нештатных ситуаций.

3. Знания для исследований критических инфраструктур. Для выполнения исследований требуется достаточно сложная информационная база, включающая:

- Техничко-экономические характеристики энергетических объектов
- Отчетные данные о состоянии систем энергетики
- Местоположение объекта
- Взаимосвязи объектов
- Значимость объекта для взаимосвязанных этапов производственного процесса
- Взаимодействие с другими элементами инфраструктуры

При моделировании используются результаты исследований развития ТЭК и другие показатели, характеризующие цикл преобразований энергетических ресурсов. Учитывается территориальное, отраслевое, временное деление и множество топливно-энергетических ресурсов, объектов и территориальных образований. Объекты описываются протекающими в них процессами, технологическими и экономическими характеристиками. Используемые модели учитывают межотраслевые связи, состояние систем энергетики и ТЭК в нештатных ситуациях и позволяют выявить ограничения, которые негативно влияют на надежное топливо- и энергоснабжение потребителей [1].

4. Концептуальная модель знаний. Для систематизации и структурирования сложной информационной составляющей предлагается разработка базы знаний, включающей описание свойств, структуры и взаимосвязи объектов и систем данной предметной области. Количественные характеристики объектов, как правило, накапливаются в базах данных.

Концептуальные модели используются для построения систем, основанных на знаниях. Концептуальное моделирование – это формальное описание аспектов исследуемой предметной области с целью понимания и коммуникации [11 - 14].

Концептуальная модель знаний – это системное описание используемых знаний, состоящее из множества взаимосвязанных понятий, их свойств и характеристик, с классификацией этих понятий по типам, ситуациям и признакам. В качестве концептуальной модели предлагается онтологическая модель в виде системы онтологий, объединенных метаонтологией [3, 8].

При разработке онтологической модели используется фрактальный подход [5], позволяющий представить необходимую информацию о предметной области в виде непересекающихся слоев – информационных миров, объединяющих однотипные объекты. При этом каждый информационный мир может быть расслоен и детализирован.

Метаонтология включает базовые понятия, например, система, отрасль, объект, ресурс и другие. Для рассматриваемой предметной области предлагается метаонтология, демонстрирующая понятия, используемые при исследовании и моделировании ТЭК. Она показана на рис. 2.

Онтологии каждого следующего уровня детализируют разделы исследуемой предметной области, например, задачи исследований, модели ТЭК, цикл преобразования ресурсов и др.

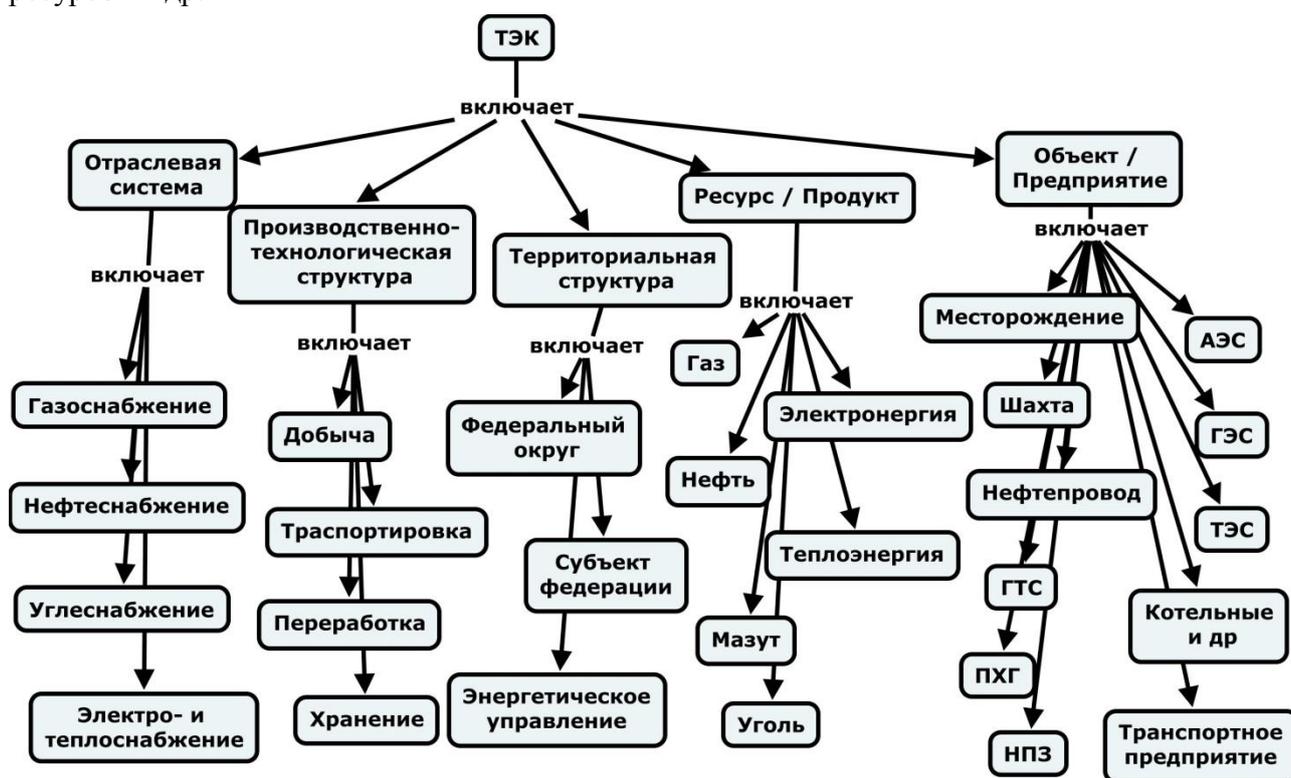


Рис. 2. Метаонтология исследований ТЭК

Добывающие отрасли представлены месторождениями ресурсов, агрегированными по территории. Системы электро- и теплоснабжения представлены соответственно различными типами электростанций и котельных.

Понятие «Производственно-технологическая структура» детализирует этапы производственного процесса – добычу, транспортировку, переработку и хранение энергоресурсов.

К понятию «Территориальная структура», используемому в метаонтологии, относятся федеральные округа, субъекты федерации и районные энергетические объединения. Аналогичным образом онтологии отражают типы производимых и потребляемых энергоресурсов, виды предприятий энергетики.

Каждый из элементов не только детализируется на следующем уровне рассмотрения, но и имеет взаимосвязи с другими концептами на своем уровне, например, на рис. 3 представлены связи концепта «Ресурс» с другими концептами метаонтологии.



Рис. 3. Взаимосвязи концепта «Ресурс»

Онтологии детального уровня, содержащие описание технико-экономических характеристик объектов, предлагается использовать для формирования баз данных, содержащих требуемую количественную информацию. При этом онтологические модели используются для разработки инфологических моделей данных, на основе которых затем проектируются базы данных

Заключение. Предложенная концептуальная модель знаний для исследования критических инфраструктур в энергетике представляет собой систему взаимосвязанных онтологий, представленных на верхнем уровне метаонтологией исследований ТЭК. Метаонтология объединяет несколько слоев онтологий, отражающих разные аспекты знаний, учитываемых при моделировании и выполнении исследований, а именно, отраслевую и производственную структуру, территориальные связи, структуру ресурсов и энергетических объектов. На более детальных уровнях онтологии включают описание систем энергетики, их состояние и характеристики, задачи и модели исследования, возможные угрозы, сценарии функционирования объектов, программное обеспечение и др. Эта информация представляется в графическом виде и может быть преобразована в форматы, удобные для автоматизированной обработки. Предложенная концептуальная модель знаний используется для структурирования и интеграции знаний при исследованиях критических инфраструктур энергетики. Разработанная система онтологий обеспечивает обмен знаниями и взаимодействие исследователей данной предметной области.

Благодарности. Работа выполняется в рамках проекта по госзаданию ИСЭМ СО РАН №АААА-А17-117030310444-2 и при частичной поддержке грантом РФФИ № 19-07-00351 .

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Береснева Н.М., Еделев А.В., Пяткова Н.И. Исследование критических инфраструктур энергетики с позиций энергетической безопасности // Методические вопросы исследования надежности больших систем энергетики: Вып. 68. Исследование и обеспечение надежности систем энергетики / Отв. ред. Н.И. Воропай. ИСЭМ СО РАН. 2017. С. 93-102.
2. Береснева Н.М., Пяткова Н.И. Особенности моделирования функционирования критических инфраструктур энергетики с учетом энергетической безопасности // Энергетическая политика. 2018. № 1. С. 3–12.
3. Бухановский А.В., Нечаев Ю.И. Метаонтология исследовательского проектирования морских динамических объектов // Онтология проектирования. 2012. № 1. С. 53–64.
4. Защита критической инфраструктуры Концепция основных мер защиты Рекомендации для предприятий. Режим доступа: <https://docplayer.ru/26181451-Zashchita-kriticheskoy-infrastruktury-koncepciya-osnovnyh-mer-zashchity.html> (дата обращения 18.03.2019)
5. Массель Л.В. Фрактальный подход к структурированию знаний и примеры его применения // Онтология проектирования. 2016. №2(20). С. 149–161. DOI:10.18267/2223-9537-2016-6-2-149-161.
6. Федеральный закон № 256-ФЗ «О безопасности объектов топливно-энергетического комплекса». Режим доступа: <http://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/12088188/> (дата обращения 18.03.2019)

7. Энергетическая безопасность России: проблемы и пути решения / Н.И. Пяткова [и др.], отв. ред. Н.И. Воропай, М.Б. Чельцов; Рос. Акад. Наук, Сиб. отд-ние, Ин-т систем энергетики им. Л.А. Мелентьева. Новосибирск: Изд-во СО РАН. 2011. 198 с.
 8. Hofweber, Thomas (Aug 30, 2011). Edward N. Zalta, ed. "Logic and Ontology: Different conceptions of ontology". The Stanford Encyclopedia of Philosophy (Spring 2013 Edition). Available at: <https://plato.stanford.edu/archives/spr2013/entries/logic-ontology/#DifConOnt> (accessed 10.03.2019)
 9. Keating C., Rogers R., Dryer D., Sousa-Poza A. and other. System of Systems Engineering // Engineering Management Journal. 2003. Vol. 15. № 3 (2003).
 10. Rinaldi S., Peerenboom J., and Kelly T. Identifying, understanding and analyzing critical infrastructure interdependencies // IEEE Control Systems Magazine, IEEE, 2001 December, Pp. 11–25
 11. Robinson, S.: Conceptual Modelling: Who Needs It? SCS M&S Magazine 2010/n2 (April). Available at: http://www.scs.org/magazines/2010-04/index_file/Files/Robinson.pdf (accessed 10.03.2019)
 12. Roger J Brooks, Wang Wang. Conceptual modelling and the project process in real simulation projects: a survey of simulation modelers // Journal of the Operational Research Society. Vol 66, Issue 10, Pp 1669–1685. Available at: <https://link.springer.com/article/10.1057%2Fjors.2014.128> (accessed 8.02.2019)
 13. Sokolowski, John A.; Banks, Catherine M., ed. Modeling and Simulation Fundamentals: Theoretical Underpinnings and Practical Domains. Hoboken, New Jersey. John Wiley & Sons. 2010. 437 p. doi:10.1002/9780470590621. ISBN 9780470486740.
 14. Tatomir, A., McDermott, C., Bensabat, J., Class, H., Edlmann, K., Taherdangkoo, R., & Sauter, M. Conceptual model development using a generic Features, Events, and Processes (FEP) database for assessing the potential impact of hydraulic fracturing on groundwater aquifers // Advances in Geosciences. 2018. V.45. Pp. 185–192. Available at: <https://www.adv-geosci.net/45/185/2018/> (accessed 8.02.2019)
-

UDK 004.8

**A CONCEPTUAL KNOWLEDGE MODEL FOR RESEARCH
OF CRITICAL ENERGY INFRASTRUCTURES**

Tatiana N. Vorozhtsova

PhD., leading engineer, Laboratory "Information Technology", e-mail: tnn@isem.irk.ru

Natalia I. Pyatkova

PhD., Senior researcher, Laboratory of fuel and energy development, e-mail: nata@isem.irk.ru

Melentiev Energy Systems Institute Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences
130, Lermontov Str., 664033, Irkutsk, Russia

Abstract. The article proposes a conceptual model of knowledge for the study of the fuel and energy complex as a critical infrastructure. A system of interrelated ontological models reflecting the basic concepts of the subject area and their relationship is proposing as a conceptual model. The structure of the fuel and energy complex objects,

the tasks of research from the standpoint of energy security, the models used for research and the corresponding information base are considered. Quantitative information is presented by technical and economic characteristics of energy facilities, reporting data and research results on the development of the fuel and energy complex. The developed system of ontologies is using to structure and integrate knowledge in the study of critical energy infrastructures.

Keywords: critical infrastructure, energy security, fuel and energy complex, ontology, metaontology, conceptual model, knowledge modeling, fractal model.

References

1. Beresneva N.M., Yedelev A.V., Pyatkova N.I. Issledovaniye kriticheskikh infrastruktur energetiki s pozitsiy energeticheskoy bezopasnosti [Investigation of critical energy infrastructures from the standpoint of energy security] // Metodicheskiye voprosy issledovaniya nadezhnosti bol'shikh sistem energetiki: = Methodical issues of the study of the reliability of large energy systems. Iss. 68. Research and ensuring the reliability of energy systems / Resp. ed. N.I. Voropay. ISEM SB RAS. 2017. Pp. 93–102 (in Russian)
2. Beresneva N.M., Pyatkova N.I. Osobennosti modelirovaniya funktsionirovaniya kri-ticheskikh infrastruktur energetiki s uchetom energeticheskoy bezopasnosti [Features of modeling the functioning of critical energy infrastructures with regard to energy security] // Energeticheskaya politika = The energy policy. 2018. № 1. Pp. 3–12 (in Russian)
3. Bukhanovsky A.V., Nechaev Y.I. Metaontologiya issledovatel'skogo proyektirovaniya morskikh dinamicheskikh ob"yektov [Metaontology research designing of sea dynamic objects] // Ontologiya proyektirovaniya = Ontology of designing. 2012. № 1. Pp. 53–64 (in Russian)
4. Zashchita kriticheskoy infrastruktury Kontseptsiya osnovnykh mer zashchity Rekomenda-tsii dlya predpriyatiy [Protection of critical infrastructure. Basic protection concept. Recommendations for enterprises]. Available at: <https://docplayer.ru/26181451-Zashchita-kriticheskoy-infrastruktury-koncepciya-osnovnyh-mer-zashchity.html> (accessed 07.02.2019). (in Russian)
5. Massel' L.V. Fraktal'nyy podkhod k strukturirovaniyu znaniy i primery yego primeneniya [Fractal approach to knowledge structuring and examples of its application] // Ontologiya proyektirovaniya = Ontology of designing. 2016. №2(20). Pp. 149–161. DOI:10.18267/2223-9537-2016-6-2-149-161. (in Russian)
6. Federal'nyy zakon № 256-FZ «O bezopasnosti ob"yektov toplivno-energeticheskogo kompleksa». [Federal Law No. 256-ФЗ “On the Safety of Fuel and Energy Complex Facilities”] Available at: <http://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/12088188/> (accessed 10.03.2019). (in Russian)
7. Energeticheskaya bezopasnost' Rossii: problemy i puti resheniya [Energy security of Russia: problems and solutions] / N.I. Pyatkova [i dr.], otv. red. N.I. Voropay, M.B. Chel'tsov; Ros. Akad. Nauk, Sib. otd-niye, In-t sistem energetiki im. L.A. Melent'yeva. Novosibirsk: Izd-vo SO RAN. 2011. 198 p (in Russian)
8. Hofweber, Thomas (Aug 30, 2011). Edward N. Zalta, ed. "[Logic and Ontology: Different conceptions of ontology](#)". The Stanford Encyclopedia of Philosophy (Spring 2013 Edition).

- Available at: <https://plato.stanford.edu/archives/spr2013/entries/logic-ontology/#DifConOnt> (accessed 10.03.2019)
9. Keating C., Rogers R., Dryer D., Sousa-Poza A. and other. System of Systems Engineering // Engineering Management Journal. 2003. Vol. 15. № 3 (2003).
 10. Rinaldi S., Peerenboom J., and Kelly T. Identifying, understanding and analyzing critical infrastructure interdependencies // IEEE Control Systems Magazine, IEEE, 2001 December, Pp. 11–25
 11. Robinson, S.: Conceptual Modelling: Who Needs It? SCS M&S Magazine 2010/n2 (April). Available at: http://www.scs.org/magazines/2010-04/index_file/Files/Robinson.pdf (accessed 10.03.2019)
 12. Roger J Brooks, Wang Wang. Conceptual modelling and the project process in real simulation projects: a survey of simulation modelers // Journal of the Operational Research Society. Vol 66, Issue 10, Pp 1669–1685. Available at: <https://link.springer.com/article/10.1057%2Fjors.2014.128> (accessed 8.02.2019)
 13. Sokolowski, John A.; Banks, Catherine M., ed. Modeling and Simulation Fundamentals: Theoretical Underpinnings and Practical Domains. Hoboken, New Jersey. John Wiley & Sons. 2010. 437 p. doi:10.1002/9780470590621. ISBN 9780470486740.
 14. Tatomir, A., McDermott, C., Bensabat, J., Class, H., Edlmann, K., Taherdangkoo, R., & Sauter, M. Conceptual model development using a generic Features, Events, and Processes (FEP) database for assessing the potential impact of hydraulic fracturing on groundwater aquifers // Advances in Geosciences. 2018. V.45. Pp. 185–192. Available at: <https://www.adv-geosci.net/45/185/2018/> (accessed 8.02.2019)