Применение агентно-сервисного подхода при разработке интеллектуальных систем поддержки принятия решений в энергетике

В. Р. Кузьмин¹, Ю. А. Загорулько²

¹ *Институт систем энергетики им. Л. А. Мелентьева СО РАН
Иркутск, Россия*

² *Институт систем информатики им. А. П. Еришова СО РАН
Новосибирск, Россия*

Аннотация

Статья посвящена применению агентно-сервисного подхода для разработки интеллектуальных систем поддержки принятия решений (ИСППР). Рассматриваются понятия агента и мультиагентной системы. Дается подробное описание агентно-сервисного подхода, архитектуры типовой ИСППР, используемой в данном подходе. Обсуждается применение агентно-сервисного подхода для разработки ИСППР «Ситуационный полигон», обеспечивающей поддержку принятия стратегических решений в энергетике, и веб-ориентированной информационно-аналитической системы WIS, предназначенной для оценки влияния энергетики на геозоологию.

Ключевые слова

агентно-сервисный подход, мультиагентные системы, интеллектуальные системы поддержки принятия решений, ситуационное управление

Благодарности

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект № 19-37-50070)

Для цитирования

Кузьмин В. Р., Загорулько Ю. А. Применение агентно-сервисного подхода при разработке интеллектуальных систем поддержки принятия решений в энергетике // Вестник НГУ. Серия: Информационные технологии. 2020. Т. 18, № 3. С. 5–18. DOI 10.25205/1818-7900-2020-18-3-5-18

Usage of the Agent-Service Approach for the Development of Intelligent Decision Support Systems in the Energy Sector

V. R. Kuzmin¹, Yu. A. Zagorulko²

¹ *Melentiev Energy Systems Institute SB RAS
Irkutsk, Russian Federation*

² *A. P. Ershov Institute of Informatics Systems SB RAS
Novosibirsk, Russian Federation*

Abstract

Recently, the concept of intelligent energy systems becomes more popular in Russia. In order to implement such systems, it is required both development and usage of modern information technologies to manage technological infrastructure, and upgrade of this infrastructure. In turn, infrastructure upgrade requires a strategic decision-making for energy sector development. To provide a high quality of such decisions, intellectualization of the process of making them is required. This article deals with usage of agent-service approach for development of intelligent decision support systems (IDSS). Concepts of agent and multiagent system are being considered. Detailed description of agent-service approach and architecture of a typical IDSS, used in this approach, is provided. Also, article considers usage of

agent-service approach for development of IDSS “Situation polygon” (for strategic decision-making support in energy sector) and web-oriented information-analytical system WIS (for impact assessment of the energy sector on geoecology). In the future, we plan to add additional functionality in these systems, in particular, to provide in the “Situation polygon” an automatic setting of the values of connections in cognitive maps based on the values of connections in the ontology, and to add in WIS the possibility of calculating the trajectory of the transfer of harmful substances.

Keywords

agent-service approach, multiagent systems, intelligent decision-making support systems, situational management

Acknowledgements

This research was supported by the Russian Foundation for Basic Research (grant no. 19-37-50070)

For citation

Kuzmin V. R., Zagorulko Yu. A. Usage of the Agent-Service Approach for the Development of Intelligent Decision Support Systems in the Energy Sector. *Vestnik NSU. Series: Information Technologies*, 2020, vol. 18, no. 3, p. 5–18. (in Russ.) DOI 10.25205/1818-7900-2020-18-3-5-18

Введение

В последнее время в России всё большее распространение получает концепция интеллектуальных энергетических систем [1; 2]. Для реализации такого класса систем требуется как развитие и применение современных информационных технологий для управления технологической инфраструктурой, так и модернизация самой инфраструктуры. Так как при модернизации инфраструктуры требуется принимать стратегические решения по развитию энергетики, то для обеспечения их высокого качества необходима интеллектуализация поддержки их принятия.

В ИСЭМ СО РАН был предложен подход к интеллектуализации поддержки принятия решений, базирующийся на концепции ситуационного управления. Основными методами ситуационного управления являются ситуационное моделирование и ситуационный анализ. Для того, чтобы реализовать эти методы, было предложено применить разработанные в ИСЭМ СО РАН авторские методы семантического моделирования (онтологическое, когнитивное, событийное и вероятностное) [3]. Средства поддержки семантического моделирования были интегрированы в интеллектуальную ИТ-среду, которая послужила прототипом для интеллектуальной системы поддержки принятия решений (ИСППР) «Ситуационный полигон», а также были использованы при разработке ИСППР «WIS». В связи с тем, что в этих ИСППР должны использоваться различные методы семантического и математического моделирования, причем некоторые из методов и вычислений должны выполняться параллельно, было принято решение реализовывать такие ИСППР в виде мультиагентных систем с использованием агентно-сервисного подхода. При таком подходе методы концептуально являются агентами, а с точки зрения реализации – программными сервисами.

Рассмотрим некоторые из определений, используемых в статье.

Системы поддержки принятия решений (СППР) – одно из направлений информационных технологий. Под СППР понимают комплекс взаимосвязанных программ и данных, которые используются для анализа ситуации, формулирования альтернативных решений и выбора из них наиболее приемлемого [4]. При этом для анализа и выработки решений могут быть использованы различные методы [5], такие как методы поиска знаний в базах данных, методы информационного поиска, интеллектуальный анализ данных, имитационное моделирование, эволюционные вычисления и генетические алгоритмы, нейронные сети, ситуационный анализ, рассуждение на основе прецедентов, когнитивное моделирование и другие. Многие из этих методов относятся к методам искусственного интеллекта. Если они используются в СППР, то такая система называется интеллектуальной СППР (ИСППР).

Мультиагентные системы, или МАС, появились на стыке искусственного интеллекта и теории систем. Их можно рассматривать как активно развивающиеся и открытые системы, в которых основное внимание уделяется взаимодействию агентов, как причине возникнове-

ния системы с новыми качествами. С другой стороны, на практике мультиагентные системы строятся как объединение отдельных интеллектуальных систем, основанных на знаниях [6]. МАС содержит ряд децентрализованных взаимодействующих систем, называемых агентами, причём каждый агент работает автономно [7]. Также МАС можно определить как сеть из асинхронных агентов, работающих вместе над решением проблемы, которую ни один из них не в состоянии решить сам. В последнее время мультиагентные технологии нашли применение в распределённых системах разного типа, в том числе, системах, поддерживающих распределённую обработку информации и распределённые научные вычисления.

В данной статье рассматривается возможность применения агентно-сервисного подхода для разработки ИСППР на основе типовой архитектуры: «Ситуационного полигона» и веб-ориентированной информационно-аналитической системы «WIS», предназначенной для оценки влияния энергетики на геоэкологию региона.

Типовая архитектура ИСППР

Из-за того, что при принятии стратегических решений приходится сталкиваться с ситуациями, в которых присутствует фактор неопределённости, в работе [8] было предложено использовать двухуровневую технологию построения ИСППР. На нижнем уровне ИСППР производится количественная оценка анализируемой ситуации, на верхнем уровне – качественная. Последняя выполняется при помощи инструментальных средств семантического моделирования. В общем случае, под семантической моделью понимается модель, отражающая понятия предметной области и их взаимосвязи. Как правило, к таким моделям относят семантические сети, инфологические модели данных и онтологии. В работе [9] было обоснованно отнесение к семантическому моделированию когнитивных, событийных и вероятностных моделей.

Как результат отображения общей схемы решения задачи ситуационного управления, предложенной Д. А. Поспеловым, на инструментальные средства семантического моделирования и экспертных систем, была предложена архитектура типовой интеллектуальной системы поддержки принятия решений семиотического типа (рис. 1). В ней можно выделить следующие блоки (в качестве названий блоков, используются термины, предложенные Д. А. Поспеловым в [10]).

- **Анализатор** – производит оценку сообщения и, затем, определяет необходимость вмешательства системы управления в процесс, протекающий в объекте управления.
- **Классификатор** – на основании хранящейся в нём информации, соотносит текущую ситуацию к одному или нескольким классам, которым соответствуют одношаговые решения.
- **Коррелятор** – определяет то логико-трансформационное правило (ЛТП), которое должно быть использовано.
- **Экстраполятор** – осуществляет выбор лучшего ЛТП из найденных Коррелятором на основе прогноза возможного развития ситуаций, в случае если существует несколько подходящих ЛТП.
- **Блок случайного выбора** – запускается в том случае, если Экстраполятор не может не может принять решение, и выбирает одно из воздействий, оказывающих не слишком большое влияние на объект, либо происходит отказ от какого-либо воздействия.

Для описания текущей ситуации предлагается использовать либо язык ситуационного управления (Contingency Management Language – CML), либо язык управления знаниями (Knowledge Manipulation Language – KML). Для классификации ситуации используются экспертная система и инструментальные средства семантического моделирования, такие как OntoMap (поддержка онтологического моделирования) и CogMap (поддержка когнитивного моделирования). Работа Коррелятора базируется на CogMap, а Экстраполятора – на применении событийного и вероятностного моделирования (при помощи систем EventMap и BayNet).

Рис. 1. Архитектура типовой ИСППР

Fig. 1. Architecture of a typical IDSS

В следующем разделе будет описан агентно-сервисный подход к разработке ИСППР и рассмотрено использование в нем данной архитектуры.

Агентно-сервисный подход к разработке ИСППР

Как было сказано выше, в данной статье описывается подход к разработке ИСППР, которая представляется в нем как мультиагентная система. В связи с этим рассмотрим сначала математическое описание методического подхода к построению МАС.

Прежде всего, заметим, что перед началом построения системы необходимо определить цель ее создания (G). Для достижения этой цели система должна быть способна решить ряд задач $\{T\}$, как простых, так и сложных. Эти задачи могут быть разделены на ряд подзадач. Исходя из набора задач $\{T\}$, вводится набор функций будущей системы $\{F\}$. Эти функции распределяются между агентами $\{A\}$ таким образом, чтобы каждый агент решал свою собственную задачу, либо часть некоторой большей задачи. Следовательно, необходимо задать цепочку отображений:

$$G \rightarrow \{T\} \rightarrow \{F\} \rightarrow \{A\}.$$

Как правило, задачи должны решаться в определенном порядке, при этом некоторые из них могут быть решены несколькими разными способами. В связи с этим необходимо определить порядок вызова агентов системы $\{P_A\}$. На основании порядка вызова агентов и набора агентов системы создается набор агентных сценариев $\{S_A\}$, для которого строятся событийные модели, описывающие сценарии $\{E_S\}$. Для того чтобы ускорить разработку мультиа-

гентной системы, желательно использовать набор основных программных компонентов для агентов $\{C_B\}$. Таким образом, модель МАС может быть определена следующим образом:

$$M_{MAS} = (A, P_A, S_A, E_S, C_B).$$

На основе методического подхода, предложенного в работе [11] В. И. Гальперовым, была разработана методика построения интеллектуальных систем поддержки принятия решений на основе конкретизации типовой архитектуры ИСППР, описанной в предыдущей главе.

Опишем основные шаги этой методики.

1. Дать описание будущей системы, исходя из специфики решаемой задачи, которое бы включало в себя: определение цели создания ИСППР, выделение множества задач $\{T\}$, определение множества функций ИСППР $\{F\}$, определение списка будущих агентов $\{A\}$ на основании функций систем и разработку базовых компонентов ИСППР $\{C_B\}$.

2. Разработать агентные сценарии: определить порядок вызова $\{P_A\}$ агентов в системе, разработать сценарии вызова этих агентов $\{S_A\}$, описать сценарии в виде событийных моделей $\{E_S\}$.

3. Разработать архитектуру ИСППР.

4. Спроектировать ИСППР.

5. Реализовать ИСППР.

Агентно-сервисный подход при разработке ИСППР было предложено использовать по следующим причинам.

- Полное описание ситуации может потребовать совместного использования различных семантических и математических инструментальных средств моделирования.
- Применение агентно-сервисного подхода позволит относительно легко добавлять новые инструментальные средства моделирования.
- Некоторые виды моделирования требуют проведения объёмных и сложных расчётов, которые желательно выполнять параллельно. Агентно-сервисный подход позволяет распараллелить выполнение задач и, таким образом, уменьшить время, затрачиваемое на проведение расчёта.

Далее, рассмотрим применение агентно-сервисного подхода и архитектуры типовой ИСППР, описанной в предыдущей главе, для разработки двух ИСППР: «Ситуационный полигон» (для поддержки принятия стратегических решений в энергетике) и WIS (для оценки влияния энергетики на геоэкологию).

Применение агентно-сервисного подхода при разработке ИСППР «Ситуационный полигон»

Основной целью создания ИСППР «Ситуационный полигон» является обеспечение поддержки принятия стратегических решений в энергетике экспертами и лицами, принимающими решение (ЛПР). В работе [12] было предложено рассматривать семантическое моделирование как одно из направлений семиотического моделирования, в котором преобладает графическое представление разрабатываемых моделей. С учетом этого данная ИСППР должна выполнять следующий набор задач.

- Поддержка инструментальных средств семантического и математического моделирования.
- Обеспечение возможности перехода от одного типа семантических моделей к другим (например, от онтологий к когнитивным картам, от когнитивных карт к событийным моделям).
- Обеспечение работы с базой данных и базой знаний (наполнение, поиск и редактирование знаний).
- Поддержка визуализации полученных результатов с применением Геокомпонента (осуществляет вызов ГИС и передачу данных в неё).

Для реализации описанного набора задач было предложено использовать язык ситуационного управления (Contingency Management Language – CML) [13], который является одним из основных компонентов разрабатываемой системы. В ней CML обеспечивает функции описания знаний, интеграции компонентов, а также интерфейсные функции. На рис. 2. показана метаонтология языка CML.

Рис. 2. Метаонтология CML

Fig. 2. Metaontology of CML

Для того чтобы система могла выполнять описанный выше набор задач, она должна предоставлять соответствующий набор функций. Для поддержки этих функций в системе необходимо предусмотреть присутствие следующих агентов: главный агент-координатор, агент-координатор базы данных $\{A_{DB}\}$, агент-координатор базы знаний $\{A_{KB}\}$, агенты-координаторы инструментальных средств семантического $\{A_{SM}\}$ и математического моделирования $\{A_{MM}\}$, агент-координатор средств визуализации и Геокомпонента $\{A_{GEOVIS}\}$.

Набор же базовых компонентов выглядит следующим образом.

- Средства семантического моделирования (OntoMap (C_{ONT}), CogMap (C_{COG}), EventMap (C_{EVENT}), BayNet (C_{BN})) и математического моделирования.
- Экспертная система «Advice» – обеспечивает возможность наполнять и использовать базу знаний.
- Репозиторий – обеспечивает хранение семантических моделей и поддерживает работу с ними.
- База данных и база данных.
- Геокомпонент – отображает полученные результаты при помощи ГИС.

С учётом методики, описанной в предыдущей главе, а также списка агентов и базовых компонентов, архитектуру ИСППР «Ситуационный полигон», можно представить следующим образом (рис. 3) [14]. На рис. 4 показан пример сценария работы пользователя с системой.

Рис. 3. Архитектура ИСППР «Ситуационный полигон»

Fig. 3. Architecture of IDSS «Situation polygon»

Рис. 4. Пример сценария работы пользователя с системой

Fig. 4. Example of user's workflow with the system

Рассмотрим список процессов и событий в этом сценарии.

Процессы:

- A_{SM} – вызов и процесс работы агента средств семантического моделирования.
- A_{ONT} – вызов и процесс работы агента, работающего с инструментальными средствами онтологического моделирования.
- A_{COG} – вызов и процесс работы агента, работающего с инструментальными средствами когнитивного моделирования.
- A_{COORD} – вызов и процесс работы основного агента-координатора.
- A_{MM} – вызов и процесс работы агента средств математического моделирования.
- A_{INTEK} – вызов и процесс работы агента, работающего с программным комплексом ИНТЭК-М.

События:

- S_{START} – начало работы с системой. Осуществляется вызов инструментальных средств семантического моделирования.
- S_{ONT_INIT} – инициализация и загрузка инструментальных средств онтологического моделирования – CML ($CALL$, C_{ONT}).
- S_{ONT_FINISH} – пользователь завершает свою работу с инструментальными средствами онтологического моделирования. Полученная в результате работы модель (ontology), сохраняется в базе знаний при помощи команды CML ($RECORD$, $ontology$).
- S_{COG_INIT} – инициализация и загрузка инструментальных средств когнитивного моделирования – CML ($CALL$, C_{COG}). Если пользователь хочет построить когнитивную карту на основе онтологии, полученной на предыдущем шаге, то произойдёт загрузка этой онтологии и её преобразование путём вызова метода CML ($CONVERT$, $ontology$).
- S_{COG_FINISH} – пользователь завершает свою работу с инструментальными средствами когнитивного моделирования. Полученные результаты сохраняются в базе знаний.
- S_{SEM_FINISH} – пользователь завершает свою работу с инструментальными средствами семантического моделирования.
- S_{MM_INIT} – инициализация и загрузка инструментальных средств математического моделирования.
- S_{MM_INTEK} – инициализация и загрузка ПК ИНТЭК-М.
- Res – пользователь завершает свою работу с системой.

Далее, покажем несколько примеров работы пользователя с системой.

На рис. 5. показан пример создания онтологии угрозы похолодания.

Рис. 5. Создание онтологии «Угроза похолодания»

Fig. 5. Creation of ontology «Cold threat»

Рис. 6. Когнитивная карта на основе онтологии угрозы похолодания
 Fig. 6. Cognitive map based on ontology «Cold threat»

На следующем шаге пользователь может перейти к когнитивной карте на основе построенной онтологии. Преобразование произойдёт в автоматическом режиме. (Заметим, что в данный момент в автоматическом режиме преобразовываются только связи, отмеченные как «причинно-следственные».)

На рис. 6 показана когнитивная карта, которая была автоматически преобразована из онтологии, показанной на рис. 5.

Применение агентно-сервисного подхода при разработке веб-ориентированной информационно-аналитической системы для оценки влияния энергетики на геоэкологию региона

В рамках выполнения международного проекта по исследованию влияния энергетики на геоэкологию региона был разработан научный прототип Web-ориентированной информационно-аналитической системы (WIS), в котором интегрируются семантические и математические модели, базы данных и базы знаний, средства для оценки влияния энергетики на геоэкологию региона и геоинформационная система (ГИС) [15; 16]. Отдельные компоненты системы были реализованы с применением агентно-сервисного подхода. На рис. 7. изображена архитектура WIS.

Как видно из приведённой архитектуры, система логически разделена на четыре уровня.

- **Уровень математического моделирования** – включает в себя разработанные программы (на основе выбранных моделей и методов) расчета объемов загрязняющих веществ и их влияния на качество жизни населения с учетом мощности энергетических объектов и плотности населения.

- **Уровень представления данных** – интегрирует ГИС и базу данных. ГИС используется как для иллюстрации результатов расчетов, так и для наглядной интерпретации семантических моделей.
- **Уровень представления знаний** – включает в себя базу знаний (описания знаний для построения семантических моделей) и систему онтологий (описания знаний предметной области), которая может использоваться как при построении базы знаний, так и при проектировании базы данных.
- **Уровень семантического моделирования** – семантические модели, описывающие взаимосвязи факторов, определяющих качество жизни с учетом таких антропогенных факторов, как обеспеченность энергоресурсами и влияние загрязняющих веществ от предприятий энергетики на экологию.

Рис. 7. Метаонтология CML

Fig. 7. Metaontology of CML

В системе выделяются следующие «крупные» агенты.

- **Главный агент-координатор** – контролирует действия других агентов-координаторов в системе; содержит в себе агентные сценарии, на основе которых строит порядок вызова агентов-координаторов. Также осуществляет контроль действий пользователя.
- **Агент-координатор базы данных** – отвечает за наполнение, редактирование и получение сведений из базы данных WIS.
- **Агент-координатор базы знаний и репозитория** – отвечает за наполнение, редактирование и получение знаний из базы знаний, предоставляет доступ к Репозитарию.

- **Агенты-координаторы инструментальных средств семантического и математического моделирования** – контролируют агентов, отвечающих за те или иные инструментальные средства моделирования. Каждое инструментальное средство моделирования в системе также представляет собой агента.

- **Агент-координатор средств визуализации и Геокомпонента** – позволяет визуализировать полученные результаты, например, в виде онтологий, когнитивных карт или организует вывод результатов при помощи ГИС и картографических сервисов.

Для описания знаний, интеграции компонентов, а также для реализации интерфейсных функций в WIS используется язык описания знаний KML (Knowledge Manipulation Language). KML является специализированной версией CML. В целом, эти языки схожи между собой за исключением операндов управления знаниями. Отличие языков состоит в том, что KML имеет больше средств для поддержки математического моделирования и геоинформационных сервисов. Это связано со спецификой ИСППР WIS. Подробно язык KML рассмотрен в [15].

Заключение

В данной статье было рассмотрено применение агентно-сервисного подхода для разработки ИСППР. Приведено описание архитектуры типовой ИСППР и методики реализации ИСППР на основе данной архитектуры с применением агентно-сервисного подхода. На основании методики типовая архитектура была успешно конкретизирована в виде двух ИСППР: «Ситуационный полигон» (для поддержки принятия стратегических решений в энергетике) и WIS (для оценки влияния энергетики на геоэкологию). Эти ИСППР были подробно рассмотрены в статье: показана их архитектура, приведены списки их агентов и компонентов. В будущем планируется доработка этих систем, в частности, в «Ситуационном полигоне» предполагается обеспечить автоматическое установление значений связей в когнитивных картах на основе значений связей в онтологии, а в WIS – добавить возможность проведения расчётов траектории переноса вредных веществ.

Список литературы

1. **Momoh J.** Smart Grid: Fundamentals of design and analysis. New York, John Wiley and Sons, 2012, 216 p.
2. **Воропай Н. И., Стенников В. А.** Интегрированные интеллектуальные энергетические системы // Изв. РАН. Энергетика. 2014. № 1. С. 64–78.
3. **Massel L. V., Arshinsky V. L., Massel A. G.** Intelligent computing on the basis of cognitive and event modeling and its application in energy security studies. *Renewable and Alternative Energy: Concept, Methodologies, Tools, and Applications*. 2016, vol. 3, no. 1, p. 780–787. DOI 10.4018/ijeoe.2014010105
4. **Мицель А. А., Черняева Н. В.** Динамическая модель управления индивидуальной траекторией обучения студента // Вестник ВГУИТ. 2015. № 2 (64). С. 77–81.
5. **Киселев А. А.** Принятие управленческих решений: учебник для магистратуры. Москва; Берлин: Директ-Медиа, 2019. 182 с.
6. **Тарасов В. Б.** Системно-организационный подход в искусственном интеллекте // Программные продукты и системы. 1999. № 3. С. 6–13.
7. Снижение рисков каскадных аварий в электроэнергетических системах / Отв. ред. Н. И. Воропай; Рос. акад. наук, Сиб. отд-ние, Ин-т систем энергетики им. Л. А. Мелентьева. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2013. 303 с.
8. **Массель А. Г.** Интеллектуальная поддержка принятия решений в исследованиях и обеспечении энергетической безопасности России и ее регионов: Автореф. дис. ... канд. техн. наук. Иркутск: ИрГУПС, 2010.

9. **Массель Л. В., Массель А. Г.** Семантические технологии на основе интеграции онтологического, когнитивного и событийного моделирования // Тр. III Междунар. науч.-техн. конф. OSTIS-2013. Минск: БГУИР, 2013. С. 247–250.
10. **Поспелов Д. А.** Ситуационное управление. Теория и практика. М.: Наука, 1986. 284 с.
11. **Массель Л. В., Гальперов В. И.** Разработка многоагентных систем распределенного решения энергетических задач с использованием агентных сценариев // Изв. Том. политехн. ун-та. 2015. Т. 326, № 5. С. 45–53.
12. **Массель Л. В., Массель А. Г.** Семиотический подход к созданию интеллектуальных систем ситуационного управления в энергетике // Тр. XLIII Междунар. конф. «Информационные технологии в науке, образовании и управлении» / Под ред. Е.Л. Глориозова. М., 2015. С. 182–193.
13. **Массель Л. В., Кузьмин В. Р.** Ситуационное исчисление как развитие семиотического подхода к построению интеллектуальной системы поддержки принятия решений // Вестник НГУ. Серия: Информационные технологии. 2017. Т. 15, № 4. С. 43–52.
14. **Liudmila V. Massel, Vladimir R. Kuzmin** “Situation polygon” as an intelligent environment for strategic decision-making support in development of Russian energy sector. *Procedia Computer Science*, 2019, vol. 156, p. 308–318. DOI 10.1016/j.procs.2019.08.207
15. **Massel L. V., Kuzmin V. R.** Web-based information system for the impact assessment of energy on the geoecology of the region. *Scientific-Technical Union of Mechanical Engineering “Industry 4.0”*, 2018, no. 213.
16. **Кузьмин В. Р.** Разработка информационной подсистемы для расчёта и визуализации вредных выбросов от объектов энергетики // Информационные и математические технологии в науке и управлении. 2020. № 1 (17). С. 142–154. DOI 10.38028/ESI.2020.17.1.011

References

1. **Momoh J.** Smart Grid: Fundamentals of design and analysis. New York, John Wiley and Sons, 2012. 216 p.
2. **Voropai N. I., Stennikov V. A.** Integrated smart energy systems. *Izvestia RAN. Energetika*, 2014, no. 1, p. 64–78. (in Russ.)
3. **Massel L. V., Arshinsky V. L., Massel A. G.** Intelligent computing on the basis of cognitive and event modeling and its application in energy security studies. *Renewable and Alternative Energy: Concept, Methodologies, Tools, and Applications*. 2016, vol. 3, no. 1, p. 780–787. DOI 10.4018/ijeoe.2014010105
4. **Mitsel A. A., Chernyaeva N. V.** The dynamic model for control of student’s learning individual trajectory. *Proceedings of the Voronezh State University of Engineering Technologies*, 2015, no. 2 (64), p. 77–81. (in Russ.)
5. **Kiselev A. A.** Prinyatie upravlencheskikh reshenii: uchebnik dlya magistratury [Management Decision Making: A Textbook for Master's Degree]. Moscow, Berlin, Direkt-Media, 2019, 182 p. (in Russ.)
6. **Tarasov V. B.** Sistemno-organizatsionnyj podhod v iskusstvennom intellekte [System-organizational approach in artificial intelligence]. *Software and systems*, 1999, vol. 3 p. 6–13. (in Russ.)
7. Snizheniye riskov kaskadnykh avariyy v elektroenergeticheskikh sistemakh [Reducing the risks of cascading accidents in power systems]. Ed. by N. I. Voropai. Novosibirsk, 2011, 303 p. (in Russ.)
8. **Massel A. G.** Intellektual'naya podderzhka prinyatiya reshenii v issledovaniyakh i obespechenii energeticheskoi bezopasnosti Rossii i ee regionov [Intellectual support for decision-making in research and ensuring energy security of Russia and its regions]. Abstract of the thesis for the degree of candidate of technical sciences. Irkutsk State Transport University, 2010.

9. **Massel L. V., Massel A. G.** Semanticheskie tekhnologii na osnove integratsii ontologicheskogo, kognitivnogo i sobytiinogo modelirovaniya [Semantic technologies based on the integration of ontological, cognitive and event modeling]. In: Proceedings of the 3rd International Scientific and Technical Conference. Minsk, 2013, p. 247–250. (in Russ.)
10. **Pospelov D. A.** Situatsionnoe upravlenie. Teoriya i praktika [Situational management. Theory and practice]. Moscow, Nauka, 1986, 284 p. (in Russ.)
11. **Liudmila V. Massel, Vasilii I. Galperov.** Development of multi-agent systems for distributed solutions of energy problems using agent-based scenarios. *Izvestiya Tomskogo politekhnicheskogo universiteta*, 2015, vol. 326, no. 5, p. 45–53. (in Russ.)
12. **Massel L. V., Massel A. G.** Semiotic approach to development of intelligent systems of contingency management in energy sector. Proceedings of the 43th International conference «IT + S&E'15». 2015. Moscow. p. 182–193.
13. **Massel L. V., Kuzmin V. R.** Situation Calculus as Development of Semiotic Approach to Constructing Intelligent Decision-Making Support System. *Vestnik NSU. Series: Information Technologies*, 2017, vol. 15, no. 4, p. 43–52. (in Russ.)
14. **Liudmila V. Massel, Vladimir R. Kuzmin** “Situation polygon” as an intelligent environment for strategic decision-making support in development of Russian energy sector. *Procedia Computer Science*, 2019, vol. 156, p. 308–318. DOI 10.1016/j.procs.2019.08.207
15. **Massel L. V., Kuzmin V. R.** Web-based information system for the impact assessment of energy on the geoecology of the region. In: Scientific-Technical Union of Mechanical Engineering “Industry 4.0”, 2018, no. 213.
16. **Kuzmin V. R.** Development of information subsystem for calculation and visualization of harmful emissions from energy objects. *Informatsionnyye i matematicheskiye tekhnologii v nauke i upravlenii [Information and mathematical technologies in science and management]*, 2019, no. 3 (15), p. 31–41. DOI 10.25729/2413-0133-2019-3-03

Материал поступил в редколлегию
Received
04.08.2020

Сведения об авторах

Кузьмин Владимир Русланович, аспирант, инженер, Институт систем энергетики им. Л. А. Мелентьева СО РАН (Иркутск, Россия)

rulisp@vigo.su

ORCID 0000-0001-5749-4441

Загорюлько Юрий Алексеевич, кандидат технических наук, зав. лабораторией, Институт систем информатики им. А. П. Ершова СО РАН (Новосибирск, Россия); доцент, Новосибирский государственный университет (Новосибирск, Россия)

zagor@iis.nsk.su

ORCID 0000-0002-7111-6524

Information about the Authors

Vladimir R. Kuzmin, postgraduate student, engineer, Melentiev Energy Systems Institute SB RAS (Irkutsk, Russian Federation)

rulisp@vigo.su

ORCID 0000-0001-5749-4441

Yury A. Zagorulko, Cand. Tech. Sciences, Head of Laboratory, A. P. Ershov Institute of Informatics Systems SB RAS (Novosibirsk, Russian Federation); Associate Professor, Novosibirsk State University (Novosibirsk, Russian Federation)

zagor@iis.nsk.su

ORCID 0000-0002-7111-6524