**RESEARCH OF A MULTIAGENT MODEL OF AN INTEGRATED ENERGY SYSTEM DEVELOPED IN THE ANYLOGIC SOFTWARE ENVIRONMENT**

***Valery* Stennikov*, Evgeny* Barakhtenko*,* and *Gleb* Mayorov**

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

**Abstract.** The main goal of this article is to develop and study an integrated energy system model in the AnyLogic software environment based on a multiagent approach. Creating an integrated energy system provides the following features: to implement new functional capabilities; increase reliability by improving redundancy and faster decision making in normal and emergency situations; determine the most profitable supply route for each consumer, based on cost and design features; participate consumers with their own energy sources in the process of energy supply of the system. The multiagent model of the integrated energy system was created in the AnyLogic software environment. The software environment uses advanced technologies for modeling complex systems that make it possible to clearly understand the mechanisms of interaction of objects in the system and analyze the results. This study describes in detail the developed multiagent model, its main agents, and their state diagrams. A description and analysis of an experiment conducted using this model is provided. The results show that the multiagent model of the integrated energy system works correctly and performs all the specified functions.

**References**

1. Voropai N.I., Stennikov V.A., Barakhtenko E.A. Methodological principles of constructing the integrated energy supply systems and their technological architecture. Journal of Physics: Conference Series. 2018; 1111(1). ID: 012001. https://doi: 10.1088/1742-6596/1111/1/012001.
2. Voropai N.I., Stennikov V.A., Senderov S.M, и др. Integrated infrastructural energy systems regional and interregional level. Energy Policy. 2015; 3:24-32.
3. Voropai N.I., Stennikov V.A. Integrated smart energy systems. Izvestiya Akademii nauk. Energetika. 2014; 1:64-73.
4. René Verhoeven, Eric Willems, Virginie Harcouët-Menou, et al. Minewater 2.0 Project in Heerlen the Netherlands: Transformation of a Geothermal Mine Water Pilot Project into a Full Scale Hybrid Sustainable Energy Infrastructure for Heating and Cooling. Energy Procedia. 2014; 46:58-67. https://doi: 10.1016/j.egypro.2014.01.158
5. Ran X., Zhou R., Yang Y., et al. The Multi-Objective Optimization Dispatch of Combined Cold Heat and Power Based on the Principle of Equal Emission. 2012 IEEE Power and Energy Society General Meeting. San Diego, United States. 22-26 July 2012. pp. 1-5. https://doi: 10.1109/PESGM.2012.6345053.
6. Amjad Anvari-Moghaddam, Ashkan Rahimi-Kian, Maryam S.Mirian, et al. A multi-agent based energy management solution for integrated buildings and microgrid system. Applied Energy. 2017; 203:41-56. https://doi: 10.1016/j.apenergy.2017.06.007
7. Felix Bünningab, Michael Wettera, Marcus Fuchsb, et al. Bidirectional low temperature district energy systems with agent-based control: Performance comparison and operation optimization. Applied Energy. 2018; 209:502-515. https://doi: 10.1016/j.apenergy.2017.10.072
8. Yi Ren, Dongming Fan, Qiang Feng, et al. Agent-based restoration approach for reliability with load balancing on smart grids. Applied Energy. 2019; 249:46-57. https://doi: 10.1016/j.apenergy.2019.04.119
9. Wooldridge M., Jennings N. Intelligent Agents: Theory and Practice. The Knowledge Engineering Review. 1995; 10(2):115-152.
10. Gleb Mayorov, Valery Stennikov, and Eugene Barakhtenko. Application of the multiagent approach to the research of integrated energy supply systems. E3S Web of Conferences: International Conference of Young Scientists “Energy Systems Research 2019”. 2019. Vol. 114. pages 01006. https://doi.org/10.1051/e3sconf/201911401006
11. Antonova V.M., Grechishkina N.A., Kuznetsov N.A. Analysis of the Modelling Results for Passenger Traffic at an Underground Station Using AnyLogic. Informatsionnye protsessy. 2018; 18(1): 35-39.
12. Yongan Zhang, Ying Wang, Long Wu a. Research on Demand-driven Leagile Supply Chain Operation Model: a Simulation Based on AnyLogic in System Engineering. Systems Engineering Procedia. 2012; 3:249-258. https://doi: 10.1016/j.sepro.2011.11.027
13. Mokshin V.V., Kirpichnikov A.P., Maryashina D.N., Stadnik N.A., Zolotukin A.V. Comparing structural and simulation modelling systems: Stratum 2000, Simulink, and AnyLogic. Vestnik tekhnologicheskogo universiteta. 2019;22(4):144-148.
14. Mezentsev K.N. Modelirovanie tsifrovykh skhem upravleniya v programme AnyLogic (Modeling digital control circuits in AnyLogic program). Nauka Rossii: Tseli i zadachi: Trudy IX mezhdunarodnoi nauchnoi konferentsii. 2018. 10 June 2018, Yekaterinburg. Yekaterinburg, 2018. pp. 15-19. https://doi: 10.18411/sr-10-06-2018-03
15. Lyubchenko A.A., Kopytov E.Y., Bogdanov A.A. Statistical modeling of quality measures of operation and preventive maintenance of railway telecommunication equipment in AnyLogic. Proceedings of TUSUR journal. 2018; 21(4):98-108. https://doi: 10.21293/1818-0442-2018-21-4-98-108
16. Elufereva Yu.S., Palmov S.V. Simulation of railway station operation using AnyLogic means. International research journal. 2018; 12-1(78):121-127. https://doi: 10.23670/irj.2018.78.12.021
17. Volodarets N.V., Belousova T.P. Simulation of working processes in a transport node under the operating conditions on the basis of AnyLogic. Contemporary Innovation Technique of the Engineering Personnel Training for the Mining and Transport Industry. 2018; 1(4):244-248.
18. Sharnin L. M., Kirpichnikov A. P., Zaliaev B. M., Vasiliev V. D., Shaikhutdinov Sh. A., Nitshaev R. A. Manufacturing simulation in AnyLogic. Vestnik tekhnologicheskogo universiteta. 2019; 22(4):153-157.
19. Abramov V.I., Kudinov A.N., Evdokimov D.S. Application of social modeling using agent based approach in scientific and technical development, implementation of R&D and maintenance of innovative potential. Vestnik VGUIT. 2019; 81(3):339–357. https://doi:10.20914/2310-1202-2019-3-339-357.
20. Makoveev V.N. Using agent-based models in the analysis and forecast of socio-economic development of territories. Economic and Social Changes: Facts, Trends, Forecast. 2016; 5:272-289. https://doi: 10.15838/esc/2016.5.47.15.

**ИССЛЕДОВАНИЕ МУЛЬТИАГЕНТНОЙ МОДЕЛИ ИНТЕГРИРОВАННОЙ ЭНЕРГОСНАБЖАЮЩЕЙ СИСТЕМЫ, РАЗРАБОТАННОЙ В ПРОГРАММНОЙ СРЕДЕ ANYLOGIC**

**Стенников В.А., Барахтенко Е.А., Майоров Г.С.**

*ФГБУН Институт систем энергетики им. Мелентьева СО РАН, Иркутск, Россия.*

***Аннотация:*** Основной целью данной статьи является разработка и исследование модели интегрированной энергоснабжающей системы в программной среде AnyLogic с помощью мультиагентного подхода. Создание единой интегрированной системы позволит реализовать новые функциональные возможности, повысить надежность за счет улучшения резервирования и более быстрого принятия решений в нормальных и аварийных ситуациях, определять наиболее выгодный маршрут снабжения индивидуально для каждого потребителя, исходя из стоимости и конструктивных особенностей, и участвовать потребителям с собственными источниками энергии в процессе энергоснабжения системы. Мультиагентная модель интегрированной энергоснабжающей системы создана в программной среде AnyLogic, использующей передовые технологии для моделирования сложных систем и позволяющей наглядно и детально отображать механизмы взаимодействия объектов в системе и анализировать полученные результаты. В настоящем исследовании подробно описана полученная мультиагентная модель, ее основные агенты и их диаграммы состояний. Также приводится описание и анализ эксперимента, проведенного с помощью данной модели. Полученные результаты показывают, что мультиагентная модель интегрированной энергоснабжающей системы работает корректно и выполняет все заданные функции.

**Литература**

1. Voropai N.I., Stennikov V.A., Barakhtenko E.A. Methodological principles of constructing the integrated energy supply systems and their technological architecture // Journal of Physics: Conference Series. 2018. Vol.1111. No.1. ID: 012001. https://doi: 10.1088/1742-6596/1111/1/012001
2. Воропай Н.И., Стенников В.А., Сендеров С.М., Барахтенко Е.А., Коверникова Л.И., Войтов О.Н., и др. Интегрированные инфраструктурные энергетические системы регионального и межрегионального уровня // Энергетическая политика. 2015. № 3. С. 24-32.
3. Воропай Н.И., Стенников В.А. Интегрированные интеллектуальные энергетические системы // Известия Академии наук. Энергетика. 2014. № 1. С. 64-73.
4. René Verhoeven, Eric Willems, Virginie Harcouët-Menou, et al. Minewater 2.0 Project in Heerlen the Netherlands: Transformation of a Geothermal Mine Water Pilot Project into a Full Scale Hybrid Sustainable Energy Infrastructure for Heating and Cooling // Energy Procedia. 2014. 46. pp. 58-67. https://doi: 10.1016/j.egypro.2014.01.158
5. Ran X., Zhou R., Yang Y., et al. The Multi-Objective Optimization Dispatch of Combined Cold Heat and Power Based on the Principle of Equal Emission // 2012 IEEE Power and Energy Society General Meeting. San Diego, United States. 22-26 July 2012. pp. 1-5. https://doi: 10.1109/PESGM.2012.6345053
6. Amjad Anvari-Moghaddam, Ashkan Rahimi-Kian, Maryam S.Mirian, Josep M. Guerrero. A multi-agent based energy management solution for integrated buildings and microgrid system // Applied Energy. 2017. Vol. 203. pp. 41-56. https://doi: 10.1016/j.apenergy.2017.06.007
7. Felix Bünningab, Michael Wettera, Marcus Fuchsb, Dirk Müller. Bidirectional low temperature district energy systems with agent-based control: Performance comparison and operation optimization // Applied Energy. 2018. Vol. 209. pp. 502-515. https://doi: 10.1016/j.apenergy.2017.10.072
8. Yi Ren, Dongming Fan, Qiang Feng, Zili Wang, Bo Sun, Dezhen Yang. Agent-based restoration approach for reliability with load balancing on smart grids // Applied Energy. 2019. Vol. 249. pp. 46-57. https://doi: 10.1016/j.apenergy.2019.04.119
9. Wooldridge M., Jennings N. Intelligent Agents: Theory and Practice // The Knowledge Engineering Review. 1995. Vol.10. N2. pp.115-152.
10. Gleb Mayorov, Valery Stennikov, and Eugene Barakhtenko. Application of the multiagent approach to the research of integrated energy supply systems // E3S Web of Conferences: International Conference of Young Scientists “Energy Systems Research 2019”. 2019. Vol. 114. pages 01006. https://doi.org/10.1051/e3sconf/201911401006
11. Антонова В.М., Гречишкина Н.А., Кузнецов Н.А. Анализ результатов моделирования пассажиропотока станции метро в программе AnyLogic // Информационные процессы. 2018. Т.18. №1. С 35-39.
12. Yongan Zhang, Ying Wang, Long Wu a. Research on Demand-driven Leagile Supply Chain Operation Model: a Simulation Based on AnyLogic in System Engineering // Systems Engineering Procedia. 2012. №3. C. 249-258. https://doi: 10.1016/j.sepro.2011.11.027
13. Мокшин В.В., Кирпичников А. П., Маряшина Д.Н., Стадник Н.А., Золотухин А.В. Сравнение систем структурного и имитационного моделирования Stratum 2000, Actor Pilgrim, AnyLogic, // Вестник технологического университета. 2019. Т.22. №4. С. 144-148.
14. Мезенцев К.Н. Моделирование цифровых схем управления в программе AnyLogic // Наука России: Цели и задачи: сб. научн. тр. IX Междунар. науч. конф. 2018 (г. Екатеринбург, 10 июня 2018 г.) Екатеринбург, 2018. С. 15-19. https://doi: 10.18411/sr-10-06-2018-03
15. Любченко А.А., Копытов Е.Ю., Богданов А.А. Статистическое моделирование качественных показателей эксплуатации и технического обслуживания средств железнодорожной электросвязи в среде AnyLogic // Доклады ТУСУР. 2018. Т.21. №4. С. 98-108. https://doi: 10.21293/1818-0442-2018-21-4-98-108
16. Елуферьева Ю.С., Пальмов С.В. Моделирование работы железнодорожного вокзала средствами AnyLogic // Международный научно-исследовательский журнал. 2018. №12-1(78). С. 121-127. https://doi: 10.23670/irj.2018.78.12.021
17. Володарец Н.В., Белоусова Т.П. Имитационное моделирование рабочих процессов в транспортном узле в условиях эксплуатации на основе AnyLogic // Современные инновационные технологии подготовки инженерных кадров для горной промышленности и транспорта. 2018. Т.1. №4. С. 244-248.
18. Шарнин Л. М., Кирпичников А. П., Заляев Б. М., Васильев В. Д., Шайхутдинов Ш. А., Нитшаев Р. А. Моделирование задачи производства изделий с помощью AnyLogic // Вестник технологического университета. 2019. Т.22. №4. С. 153-157.
19. Абрамов В.И., Кудинов А.Н., Евдокимов Д.С. Применение социального моделирования с использованием агент-ориентированного подхода в приложении к научно-техническому развитию, реализации НИОКР и поддержанию инновационного потенциала // Вестник ВГУИТ. 2019. Т.81. №3. С.339–357. https://doi: 10.20914/2310-1202-2019-3-339-357
20. Маковеев, В.Н. Применение агент-ориентированных моделей в анализе и прогнозировании социально-экономического развития территорий // Экономические и социальные перемены: факты, тенденции, прогноз. 2016. № 5. С. 272-289. https://doi: 10.15838/esc/2016.5.47.1