

Модель поведения агента микросети

И. В. Бычков, А. Г. Феокистов*, М. А. Чекан

Институт динамики систем и теории управления им. В.М. Матросова СО РАН, 664033,
Иркутск, Россия

*Контактный автор: Феокистов Александр Геннадьевич, e-mail: agf@icc.ru

Поступила 10 октября 2023 г., принята в печать 17 октября 2023 г.

Статья посвящена проблеме интеллектуализации обработки и анализа данных в исследовании процессов функционирования микросетей как экологически чистых и ресурсосберегающих систем энергетики. Процесс моделирования взаимодействия микросетей реализуется мультиагентной системой. Рассмотрены структура мультиагентной системы, средства ее построения, назначение и процессы функционирования агентов. Разработана модель поведения агента, базирующаяся на использовании конечного управляющего автомата. Мультиагентная система ориентирована на поддержку исследования живучести автономных энергетических систем инфраструктурных объектов Байкальской природной территории.

Ключевые слова: Байкальская природная территория, автономная энергетическая система, микросеть, мультиагентная система, модель поведения агента, конечный управляющий автомат.

Цитирование: Бычков И.В., Феокистов А.Г., Чекан М.А. Модель поведения агента микросети. Вычислительные технологии. 2023; 28(6):108–117. DOI:10.25743/ICT.2023.28.6.010.

Введение

Микросеть — это сеть, характеризующаяся наличием небольшого числа разнообразных генераторов и накопителей энергии, а также небольшими локальными нагрузками. Управление энергопотреблением в таких сетях имеет такие преимущества, как снижение потерь мощности и упрощение процесса управления. При этом возникает необходимость исследования различных аспектов организации и эксплуатации сети с точки зрения управления ее функционированием [1].

Рассматриваемая в рамках данного исследования микросеть представляет собой локальную сеть электроснабжения (СЭ) с собственной инфраструктурой генерации и потребления электроэнергии, способную автономно работать в течение определенного периода времени (рис. 1). В общем случае она может быть связана с глобальной СЭ. Предполагается, что под воздействием крупных внешних возмущений, например стихийных бедствий, эта связь может быть нарушена. Микросеть использует разнообразные источники распределенной генерации электроэнергии (дизельные генераторы, угольные котельные и др.), в том числе возобновляемые источники энергии (солнечные батареи и ветрогенераторы), а также различные аккумуляторные батареи. Диверсификация источников генерации и накопления электроэнергии способствует повышению энергоне-зависимости и живучести сети в условиях воздействия крупных внешних возмущений. Кроме того, исследования микросетей, расположенных в уникальных природных зонах,

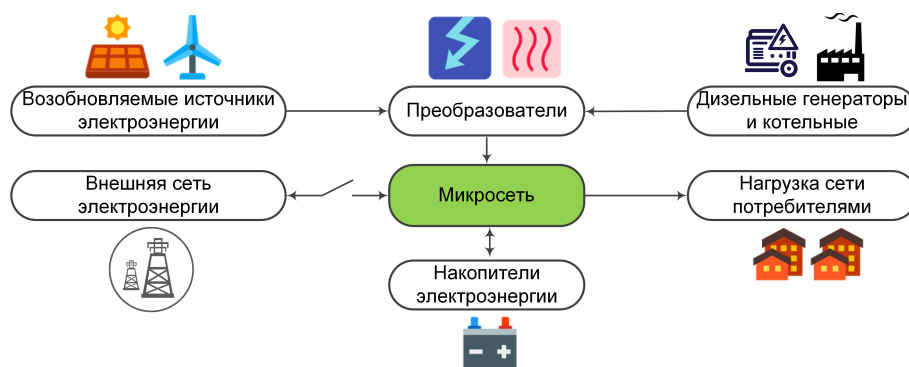


Рис. 1. Схема микросети

Fig. 1. Microgrid scheme

таких как Байкальская природная территория, ориентированы на улучшение экологичности и природосбережения [2].

Сложность математического моделирования микросети, возрастающая с учетом процессов взаимодействия с другими подобными системами, обоснованно требует привлечения развитых инструментальных средств автоматизации исследования такой сети с применением высокопроизводительных вычислений [3]. Проведенный сравнительный анализ [4] инструментальных средств автоматизации процесса изучения микросетей (см., например, [5–8]) показал, что актуальными направлениями развития подобных программных комплексов являются использование мультиагентных технологий, интеграция с внешним предметно-ориентированным программным обеспечением (ПО), а также выполнение крупномасштабных экспериментов на основе высокопроизводительных вычислений.

В статье представлен подход к поддержке исследования взаимодействия микросетей с помощью мультиагентной системы (МАС). Особое внимание уделено модели поведения агентов.

1. Моделирование взаимодействия микросетей

Структура МАС представлена на рис. 2. Система включает агентов пяти видов: агентов, представляющих разные микросети; агентов источников генерации электроэнергии; агентов потребителей электроэнергии; агентов мониторинга окружающей среды и агентов ресурсов информационно-вычислительной среды (ИВС) — используемых для получения и обработки данных, а также высокопроизводительных расчетов.

Каждый агент микросети представляет одну сеть. Он получает информацию о требуемой локальной нагрузке от агентов потребителей сети и сопоставляет их с возможностями, определяемыми агентами имеющихся источников генерации электроэнергии. В случае возможного дефицита электроэнергии в ближайший период времени из-за ухудшения метеорологической обстановки агент микросети запускает механизм обмена электроэнергией с другими микросетями. В настоящее время МАС реализует экономический механизм балансировки нагрузки, предложенный в [9], с учетом формализации конфигурации энергетического комплекса в виде совокупности взаимодействующих микросетей и библиотек предметно-ориентированных модулей распределенного пакета прикладных программ, представленных в [10]. Пакет разработан для математического и информационного моделирования инфраструктурных объектов Байкальской природной территории, включая их автономные СЭ.

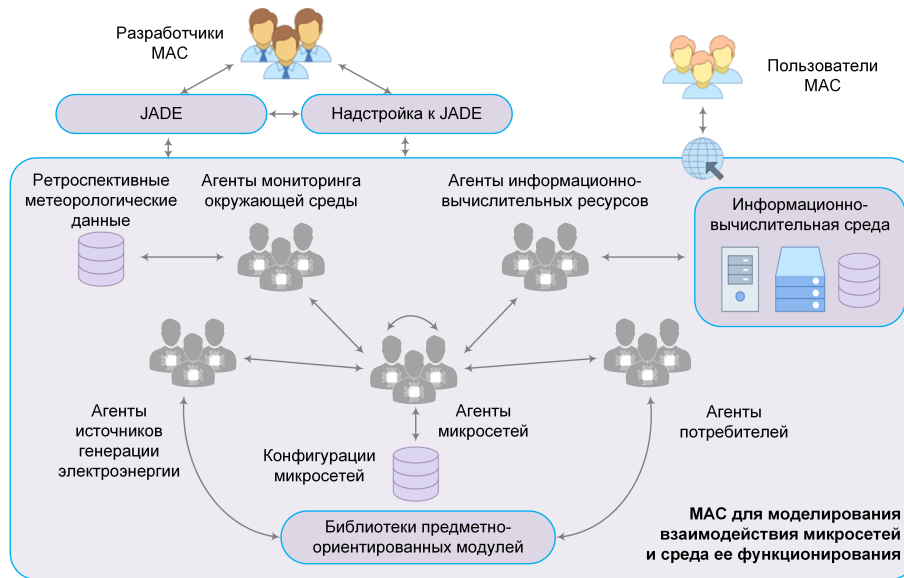


Рис. 2. Структура MAS

Fig. 2. MAS structure

Агенты мониторинга окружающей среды осуществляют операции по получению и обработке метеорологических данных относительно места расположения микросети, а также прогнозирование погодных условий на определенный период времени. Обработываемые сведения извлекаются из открытого источника [11]. Прогноз осуществляется на основе корреляции между фрагментами многомерных рядов метеорологических данных [12].

Агенты информационно-вычислительных ресурсов предоставляют сервисные функции по получению и обработке данных, выполнению высокопроизводительных вычислений и передаче результатов расчетов.

Для построения MAS, описанной в статье, на основе сравнительного анализа известных инструментариев подобного назначения [13] выбран фреймворк Java Agent DEvelopment Framework (JADE) [14] с открытой лицензией, предоставляющий как среду развертывания мультиагентной платформы в целом, так и дополнительный инструментарий для реализации агентов в виде программных модулей. Наличие в JADE интерпретируемого языка программирования облегчает подключение надстроек к данной платформе и интеграцию с внешним предметно-ориентированным программным обеспечением.

Обмен сообщениями между агентами на различных этапах их функционирования осуществляется по протоколу Agent Communication Language [15], предложенному сообществом Foundation for Intelligent Physical Agents (FIPA-ACL) и являющемуся стандартом для платформы JADE. Протокол включает набор коммуникативных актов (inform, request, agree, deny и др.), снабженных соответствующими атрибутами. Каждое сообщение содержит следующую информацию: указание отправителя и адресата сообщения (идентификаторы агента и контейнера JADE, в котором он работает); метки языка и понятия, определяющие формат содержимого; метку протокола и идентификатор процесса последовательной коммуникации. Протокол FIPA-ACL позволяет максимально гибко организовать коммуникацию, обеспечивая при этом полную совместимость со всеми агентами, реализуемыми посредством JADE.



Рис. 3. Структура надстройки к JADE
 Fig. 3. JADE add-on structure

Сообщение протокола FIPA-ACL может включать специальный раздел для передачи данных произвольной структуры. Мультиагентная система использует JavaScript Object Notation (JSON) [16] для представления такого вида сведений. JSON обеспечивает передачу скалярных данных, а также векторов и массивов в текстовом формате в виде пар {ключ: значение}. Эта гибкая структура применяется для формирования и передачи ставок агентов, списков параметров и модулей. Каждый агент имеет средства интерпретации сообщений.

Поведение агентов задается с помощью специальной надстройки к JADE. Общая структура надстройки приведена на рис. 3. Надстройка включает следующие основные компоненты:

- редактор системных параметров и модулей, реализующих соответственно характеристики среды функционирования агентов и их действия;
- конструктор модели поведения агентов, определяющей условия и последовательность выполнения их действий;
- конструктор агентов на базе стандартных классов JADE с использованием системных параметров и модулей;
- конструктор экономических механизмов балансировки нагрузки в процессе обмена электроэнергией между микросетями;
- менеджер прикладных модулей, обеспечивающий подключение внешних библиотек программ и их выполнение в ИВС в рамках математического и информационного моделирования инфраструктурных объектов Байкальской природной территории;
- менеджер управления системой хранения данных.

2. Модель поведения агента

Процесс функционирования агента реализуется с помощью конечного автомата — частного случая конечного управляющего автомата (КУА), представленного в [17]. В качестве объекта управления выступает $M_{СЭ}$ — модель СЭ, состоящей из совокупности взаимодействующих микросетей. Модель КУА представлена следующей структурой:

$$M_{\text{КУА}} = \langle S, s_0, s_k, Z^{\text{in}}, Z^{\text{out}}, f, g, A, Y \rangle,$$

где S — конечное множество управляющих состояний КУА; $s_0 \in S$ — начальное состояние; $s_k \in S$ — состояние, в котором агент завершает свою работу; Z^{in} — конечное множество входных воздействий, порождаемых СЭ; Z^{out} — конечное множество выходных управляющих воздействий; $f : S \times Z^{\text{in}} \times A \rightarrow Z^{\text{out}}$ — функция формирования выходных управляющих воздействий; $g : S \times Z^{\text{in}} \times Y \rightarrow S$ — функция переходов; A — конечное множество действий агента; Y — функции, определяющие условия переходов между состояниями. Схема формирования Z^{in} и Z^{out} представлена на рис. 4.

Переходы между состояниями описываются ориентированным графом $G = \langle V, E \rangle$, где V — множество вершин графа (состояний), E — множество ребер графа (переходов между состояниями). Ограничения корректности функций из Y , устанавливающих условия переходов между состояниями в графе G , приведены в таблице. Здесь функция y_{ij} определяет переход между состояниями в графе G , $i = \overline{1, n_v}$; $j = \overline{1, n_i}$, n_v — число вершин графа G , n_i — число функций переходов из вершины v_i графа G . При добавлении новой функции переходов из i -й вершины в $M_{\text{КУА}}$ автоматически проверяются соответствующие ограничения, представленные в таблице. Отличительной особенностью разработанной модели поведения агента является использование состояний-действий в качестве состояний КУА. В рамках каждого состояния агент может задействовать один или несколько системных и прикладных модулей с управляющими конструкциями цикла и ветвления.

Пример КУА для агента микросети представлен на рис. 5. Работа агента микросети задается следующими состояниями:

- s_0 — начальное состояние, в котором агент периодически по таймеру проверяет изменение параметров среды;
- s_1 — проверка и интерпретация сообщений других агентов при изменении параметров активности коммуникационной среды;
- s_2 — подготовка и отправка сообщений другим агентам в соответствии с полученными сообщениями и действиями;
- s_3 — выполнение управляющих воздействий в соответствии с полученными сообщениями или измененными параметрами среды;
- s_4 — проведение расчетов в ИВС;
- s_k — завершение работы.

Множество функций, определяющих выполнение условий перехода между состояниями, формируется следующим образом:

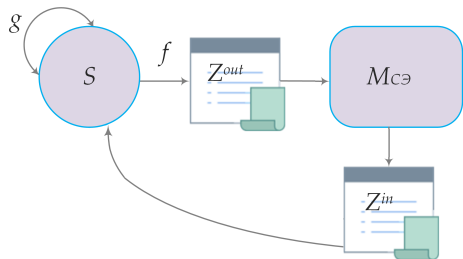


Рис. 4. Формирование входных и выходных воздействий
Fig. 4. Forming inputs and outputs

Ограничения корректности функций, определяющих условия переходов
Constraints on the correctness of functions that determine transition conditions

Число переходов из i -й вершины	Ограничение
$n_i = 1$	$y_{i1} \equiv 1$
$n_i = 2$	$y_{i1}y_{i2} \vee \bar{y}_{i1}\bar{y}_{i2} = 0$
$n_i \geq 3$	$h \vee q = 0,$ $h = \bigvee_{k=3}^{n_i-1} \bigvee_{l=k+1}^{n_i} y_{ik}y_{il},$ $q = \bigwedge_{k=3}^{n_i} y_{ik}.$

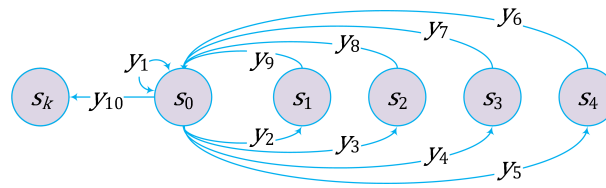


Рис. 5. Граф переходов между состояниями
 Fig. 5. Graph of transitions between states

$$y_1 = x_1, \quad y_2 = \bar{x}_1 x_2, \quad y_3 = \bar{x}_1 \bar{x}_2 x_3, \quad y_4 = \bar{x}_1 \bar{x}_2 \bar{x}_3 x_4, \quad y_5 = \bar{x}_1 \bar{x}_2 \bar{x}_3 \bar{x}_4 x_5, \\ y_6 \equiv 1, \quad y_7 \equiv 1, \quad y_8 \equiv 1, \quad y_9 \equiv 1, \quad y_{10} = \bar{x}_1 \bar{x}_2 \bar{x}_3 \bar{x}_4 \bar{x}_5 x_6.$$

Множество логических параметров из Z^{in} включает следующие параметры:

- x_1 — проверить изменения параметров среды,
- x_2 — проверить и интерпретировать сообщения,
- x_3 — подготовить и отправить сообщения,
- x_4 — произвести управляющие воздействия,
- x_5 — осуществить расчеты в ИВС,
- x_6 — завершить работу.

3. Экспериментальный анализ

В рамках экспериментального анализа проведена оценка времени реализации одиннадцати агентов (трех агентов, представляющих разные микросети, трех агентов источников генерации электроэнергии, трех агентов потребителей электроэнергии, агента мониторинга окружающей среды и агента ресурсов информационно-вычислительной среды). На рис. 6 приведены средние оценки трудозатрат в процессе создания одного агента. Оценки учитывают затраты на построение каркаса автомата, задание действий агента в составе MAC, его подключение к платформе JADE и размещение в экспериментальной ИВС.

Применение разработанных инструментальных средств позволяет сократить трудозатраты на самых сложных этапах создания агента. Небольшие затраты на подключение агента к JADE и его размещение на платформе MAC примерно одинаковы в обоих случаях. Это объясняется необходимостью выполнения типовых операций с JADE. Представленные показатели трудоемкости разработки агента в целом согласуются с оценками, приведенными в [18, 19].

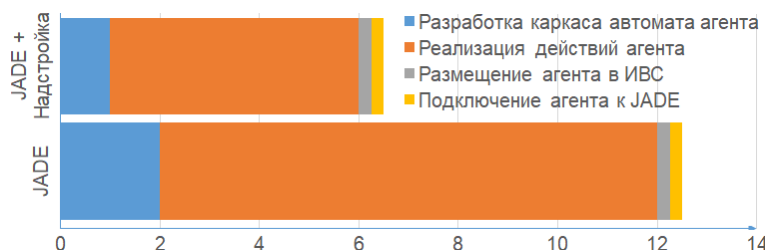


Рис. 6. Трудозатраты на создание агента
 Fig. 6. Labor costs for creating an agent

Заключение

В статье представлен подход к поддержке моделирования взаимодействия микросетей с использованием мультиагентной технологии. Для реализации МАС выбран фреймворк JADE. С целью снижения трудозатрат на создание агентов предложена программная надстройка к JADE, специализированная на построение модели их поведения, описываемой КУА.

Представленная мультиагентная система ориентирована на исследование живучести автономных СЭ инфраструктурных объектов Байкальской природной территории. Кроме того, модель поведения агента может быть без особых изменений применена при разработке МАС другого назначения, например системы мониторинга информационно-вычислительной инфраструктуры центра коллективного пользования.

Направление дальнейших исследований связано с развитием механизмов обмена электроэнергией между микросетями. Пристальное внимание будет уделено социальному фактору в процессе принятия решений.

Благодарности. Исследование проведено при поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации, грант № 075-15-2020-787 на выполнение проекта “Фундаментальные основы, методы и технологии цифрового мониторинга и прогнозирования экологической обстановки Байкальской природной территории”.

Список литературы

- [1] **Jirdehi M.A., Tabar V.S., Ghassemzadeh S., Tohidi S.** Different aspects of microgrid management: a comprehensive review. *Journal of Energy Storage*. 2020; (30):101457. DOI:10.1016/j.est.2020.101457.
- [2] **Бычков И.В., Феоктистов А.Г., Костромин Р.О., Башарина О.Ю., Сидоров И.А.** Моделирование работы природосберегающего оборудования инфраструктурных объектов в микросервисной среде. *Вычислительные технологии*. 2022; 27(5):30–42. DOI:10.25743/ICT.2022.27.5.004.
- [3] **Kuruvila A.P., Zografopoulos I., Basu K., Konstantinou C.** Hardware-assisted detection of firmware attacks in inverter-based cyberphysical microgrids. *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*. 2021; (132):107150. DOI:10.1016/j.ijepes.2021.107150.
- [4] **Чекан М.А.** Сравнительный анализ программного обеспечения для автоматизации процесса моделирования микросетей. *Современные наукоемкие технологии*. 2022; (9):33–38. DOI:10.17513/snt.39305.
- [5] **Роженцова Н.В., Регир О.С., Коцюбинский А.В.** Многоагентный подход к моделированию активных потребителей. *Вестник Казанского государственного энергетического университета*. 2019; 2(42):47–55. Адрес доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/mnogoagentnyy-podhod-k-modelirovaniyu-aktivnyh-potrebiteley> (дата обращения 18.08.2023).
- [6] **Fontenot H., Dong B.** Modeling and control of building-integrated microgrids for optimal energy management — a review. *Applied Energy*. 2019; (254):113689. DOI:10.1016/j.apenergy.2019.113689.
- [7] **Shahgholian G.** A brief review on microgrids: operation, applications, modeling, and control. *International Transactions on Electrical Energy Systems*. 2021; 31(6):e12885. DOI:10.1002/2050-7038.12885.
- [8] HOMER Pro. Available at: <https://www.homerenergy.com/products/pro/index.html> (accessed 18.08.2023).

- [9] **López M.A., Martín S., Aguado J.A., de la Torre S.** Market-oriented operation in microgrids using multi-agent systems. Proceedings of the International Conference on Power Engineering, Energy and Electrical Drives. Malaga; 2011: 1–6. DOI:10.1109/PowerEng.2011.6036418.
- [10] **Еделев А.В., Береснева Н.М.** Подход к моделированию функционирования взаимосвязанных систем энергетики в условиях возмущений и его программная поддержка. Программные продукты и системы. 2021; 34(3):409–419. DOI:10.15827/0236-235X.135.409-419.
- [11] Расписание погоды: погода в 243 странах мира. Санкт-Петербург; 2022. Адрес доступа: <https://rp5.ru> (дата обращения 18.08.2023).
- [12] **Feoktistov A., Gorsky S., Kostromin R., Fedorov R., Bychkov I.** Integration of Web Processing Services with workflow-based scientific applications for solving environmental monitoring problems. ISPRS International Journal of Geo-Information. 2022; 11(1):8. DOI:10.3390/ijgi11010008.
- [13] **Чекан М.А.** Анализ применения средств создания мультиагентных систем в задаче моделирования взаимодействия микросетей. Материалы международной конференции Ляпуновские чтения (Иркутск, 5–7 декабря 2022 г.). Иркутск: Издательство ИДСТУ СО РАН; 2022: 153–154.
- [14] **Bellifemine F., Poggi A., Rimassa G.** JADE: a FIPA2000 compliant agent development environment. Proceedings of the 5th International Conference on Autonomous Agents (AGENTS'01). N.Y.; 2001: (153):216–217. DOI:10.1145/375735.376120.
- [15] **Bagherzadeh J., Arun-Kumar S.** Flexible communication of agents based on FIPA-ACL. Electronic Notes in Theoretical Computer Science. 2006; (159):23–39. DOI:10.1016/j.entcs.2005.12.060.
- [16] Introducing JSON. Available at: <https://www.json.org/json-en.html> (accessed 18.08.2023).
- [17] **Поликарпова Н.И., Шалыто А.А.** Автоматное программирование. СПб.: Питер; 2008: 168.
- [18] **Su C.J., Wu C.Y.** JADE implemented mobile multi-agent based, distributed information platform for pervasive health care monitoring. Applied Soft Computing. 2011; 11(1):315–325. DOI:10.1016/j.asoc.2009.11.022.
- [19] **Kruger K., Basson A.H.** Evaluation of JADE multi-agent system and Erlang holonic control implementations for a manufacturing cell. International Journal of Computer Integrated Manufacturing. 2019; 32(3):225–240. DOI:10.1080/0951192X.2019.1571231.

Abstract

A microgrid is a network having a diverse spectrum of energy generators and storage devices. Generally, it has a relatively small local loads. Energy management in such networks has a number

of advantages, such as reducing power losses and simplifying the management process. To this end, the need to study various aspects of organizing and operating microgrids from the point of view for managing their functioning is significantly increases. In this regards, the paper addresses an intellectualization of data processing and analyzing within the study of micro-grids as environmentally friendly and resource-saving energy systems. We consider microgrid interactions under external disturbances. The process of modelling the interaction of microgrids is realized by a multi-agent system. The multi-agent system structure, tools of its construction, and purpose and functioning of agents are considered. Moreover, we developed and presented a model of agent behavior that is based on the use of a finite control machine. The multi-agent system is implemented using the JADE framework. To reduce labor costs for creating agents, we have developed a special add-on to JADE for determining the agent behavior. The considered multi-agent system is focused on supporting the study of the resilience of autonomous energy systems for infrastructure objects located on the Baikal natural territory.

Keywords: Baikal natural territory, autonomous energy system, microgrid, multi-agent system, agent behavior model, finite state control machine.

Citation: Bychkov I.A, Feoktistov A.G., Chekan M.A. Model of microgrid agent behavior. Computational Technologies. 2023; 28(6):108–117. DOI:10.25743/ICT.2023.28.6.010. (In Russ.)

Acknowledgements. The study was supported by the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation, grant No. 075-15-2020-787 for implementation of the project “Fundamentals, methods and technologies for digital monitoring and forecasting of the environmental situation on the Baikal natural territory”.

References

1. **Jirdehi M.A., Tabar V.S., Ghassemzadeh S., Tohidi S.** Different aspects of microgrid management: a comprehensive review. *Journal of Energy Storage*. 2020; (30):101457. DOI:10.1016/j.est.2020.101457.
2. **Bychkov I.V., Feoktistov A.G., Kostromin R.O., Basharina O.Yu., Sidorov I.A.** Simulation of operating environmentally friendly equipment of infrastructure objects in microservice environment. *Computational Technologies*. 2022; 27(5):30–42. DOI:10.25743/ICT.2022.27.5.004. (In Russ.)
3. **Kuruvila A.P., Zografopoulos I., Basu K., Konstantinou C.** Hardware-assisted detection of firmware attacks in inverter-based cyberphysical microgrids. *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*. 2021; (132):107150. DOI:10.1016/j.ijepes.2021.107150.
4. **Chekan M.A.** Comparative analysis of software for automating the process of microgrid modeling. *Modern High Technologies*. 2022; (9):33–38. DOI:10.17513/snt.39305. (In Russ.)
5. **Rozhentsova N.V., Regir O.S., Kotsubinski A.V.** Multi-agent approach to modeling active consumers. *Vestnik Kazanskogo Gosudarstvennogo Energeticheskogo Universiteta [Bulletin of Kazan State Power Engineering University]*. 2019; 2(42):47–55. Available at: <https://cyberleninka.ru/article/n/mnogoagentnyy-podhod-k-modelirovaniyu-aktivnyh-potrebiteley> (accessed 18.08.2023). (In Russ.)
6. **Fontenot H., Dong B.** Modeling and control of building-integrated microgrids for optimal energy management — a review. *Applied Energy*. 2019; (254):113689. DOI:10.1016/j.apenergy.2019.113689.
7. **Shahgholian G.** A brief review on microgrids: operation, applications, modeling, and control. *International Transactions on Electrical Energy Systems*. 2021; 31(6):e12885. DOI:10.1002/2050-7038.12885.
8. HOMER Pro. Available at: <https://www.homerenergy.com/products/pro/index.html> (accessed 18.08.2023).
9. **López M.A., Martín S., Aguado J.A., de la Torre S.** Market-oriented operation in microgrids using multi-agent systems. *Proceedings of the International Conference on Power Engineering, Energy and Electrical Drives*. Malaga; 2011: 1–6. DOI:10.1109/PowerEng.2011.6036418.
10. **Edelev A.V., Beresneva N.M.** An approach to modeling the functioning of interdependent energy systems under disturbances and its software support. *Software & Systems*. 2021; 34(3):409–419. DOI:10.15827/0236-235X.135.409-419. (In Russ.)
11. Weather forecast: weather in 243 countries of the world. St. Petersburg. Available at: <https://rp5.ru> (accessed at 18.08.2023). (In Russ.)

12. **Feoktistov A., Gorsky S., Kostromin R., Fedorov R., Bychkov I.** Integration of Web Processing Services with workflow-based scientific applications for solving environmental monitoring problems. *ISPRS International Journal of Geo-Information*. 2022; 11(1):8. DOI:10.3390/ijgi11010008.
13. **Chekan M.A.** Analiz primeneniya sredstv sozdaniya multiagentnykh system v zadache modelirovaniya vzaimodeystviya mikrosetey [Analysis of applying tools for creating multiagent systems in the problem of modelling the interaction of micronetworks]. *Materialy Meszdunarodnoy Konferentsii Lyapunovskie Chteniya* [Proceedings of the International Conference Lyapunov Readings]. Irkutsk, December 5–7, 2022. Irkutsk: Izdatel'stvo IDSTU SO RAN [ISDCT SB RAS Publisher]; 2022: 153–154. (In Russ.)
14. **Bellifemine F., Poggi A., Rimassa G.** JADE: a FIPA2000 compliant agent development environment. *Proceedings of the 5th International Conference on Autonomous Agents (AGENTS'01)*. N.Y.; 2001: (153):216–217. DOI:10.1145/375735.376120.
15. **Bagherzadeh J., Arun-Kumar S.** Flexible communication of agents based on FIPA-ACL. *Electronic Notes in Theoretical Computer Science*. 2006; (159):23–39. DOI:10.1016/j.entcs.2005.12.060.
16. Introducing JSON. Available at: <https://www.json.org/json-en.html> (accessed at 18.08.2023).
17. **Polikarpova N.I., Shalyto A.A.** Avtomatnoe programmirovaniye [Automatic programming]. Saint Petersburg: Piter; 2008: 168. (In Russ.)
18. **Su C.J., Wu C.Y.** JADE implemented mobile multi-agent based, distributed information platform for pervasive health care monitoring. *Applied Soft Computing*. 2011; 11(1):315–325. DOI:10.1016/j.asoc.2009.11.022.
19. **Kruger K., Basson A.H.** Evaluation of JADE multi-agent system and Erlang holonic control implementations for a manufacturing cell. *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*. 2019; 32(3):225–240. DOI:10.1080/0951192X.2019.1571231.