

УДК 004.051

Многоагентная архитектура для интеллектуальной диагностики подвижного состава: концепция и прототипирование

Барановский Анатолий Михайлович — канд. техн. наук, доцент кафедры «Информационные и вычислительные системы». Научные интересы: информационно-управляющие системы, контроль, диагностирование и управление техническим состоянием, нейронные сети.
E-mail: bamvka@mail.ru

Бобриков Даниил Алексеевич — магистр, аспирант кафедры «Информационные и вычислительные системы». Научные интересы: информационные системы, обработка больших данных.
E-mail: daniil20001210@mail.ru

Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I, Россия, 190031, Санкт-Петербург, Московский пр., 9

Для цитирования: Барановский А. М., Бобриков Д. А. Многоагентная архитектура для интеллектуальной диагностики подвижного состава: концепция и прототипирование // Интеллектуальные технологии на транспорте. 2025. № 3 (43). С. 25–32. DOI: 10.20295/2413-2527-2025-343-25-32

Аннотация. Рассматривается подход к построению интеллектуальной системы диагностирования и восстановления работоспособности информационно-управляющих систем (ИУС) подвижного состава на основе многоагентной архитектуры. **Введение:** в связи с увеличением сложности ИУС подвижного состава возникает необходимость повышения надежности и возрастает потребность в интеллектуальных системах диагностики и восстановления. В настоящее время традиционные централизованные методы теряют свою эффективность в определенных условиях. **Цель:** разработка концепции интеллектуальной системы диагностирования и восстановления работоспособности ИУС подвижного состава, основанной на многоагентной архитектуре, с возможностью внедрения в существующую транспортную инфраструктуру. **Методы:** предложен подход, при котором каждый агент в системе выполняет специализированные задачи: сбор телеметрической информации, анализ и фильтрацию данных, формирование диагностических признаков и принятие решений о техническом состоянии системы. Архитектура системы предусматривает многоуровневую организацию и протоколы взаимодействия между агентами. **Результаты:** формирование архитектурной модели и концепции прототипа, демонстрирующего функционирование распределенной интеллектуальной системы. Представление ключевых компонентов, интерфейса взаимодействия, аппаратной и программной реализации. **Практическая значимость:** разработанный подход может служить для повышения устойчивости и автономности транспортных систем в реальных эксплуатационных условиях. **Обсуждение:** возможность масштабирования прототипа, его интеграция в существующие ИУС.

Ключевые слова: многоагентные системы, нейросетевые технологии, транспорт, информационно-управляющие системы, автоматизация

2.9.8 — интеллектуальные транспортные системы (технические науки)

Введение

Современные интеллектуальные транспортные системы предъявляют все более жесткие требования к надежности и автономности управления. Это особенно актуально для подвижного состава, когда в условиях интенсивной эксплуатации и большого объема данных необходимо быстрое выявление и устранение неисправностей. Автоматизация процессов технической диагностики становится ключевым направлением повышения безопасности и эффективности эксплуатации транспорта.

Традиционные централизованные системы диагностики часто не удовлетворяют требованиям масштабирования, оперативности обработки информации и собственной отказоустойчивости. Это делает необходимым внедрение новых архитектурных решений, способных обеспечить распределенное принятие решений, самодиагностику и адаптацию к изменяющимся условиям эксплуатации [1, 2].

Одним из перспективных подходов является использование многоагентных систем (МАС), каждая из которых может автономно обрабатывать поступающую информацию, взаимодействовать с другими агентами и совместно решать задачи диагностирования. Такое распределенное управление особенно эффективно в условиях транспортной инфраструктуры со множеством узлов и компонентов [3, 4].

Описание архитектуры прототипа системы

Разрабатываемый прототип интеллектуальной системы диагностики построен на основе многоуровневой многоагентной архитектуры. Основными уровнями являются (рис. 1):

- сбор и предварительная обработка данных;
- диагностика локальных агентов;
- координация и принятие решений.

Каждый уровень представляет собой совокупность специализированных агентов, выполняющих ограниченный круг задач и взаимодействующих между собой через интерфейсы.



Рис. 1. Графическое представление архитектуры прототипа

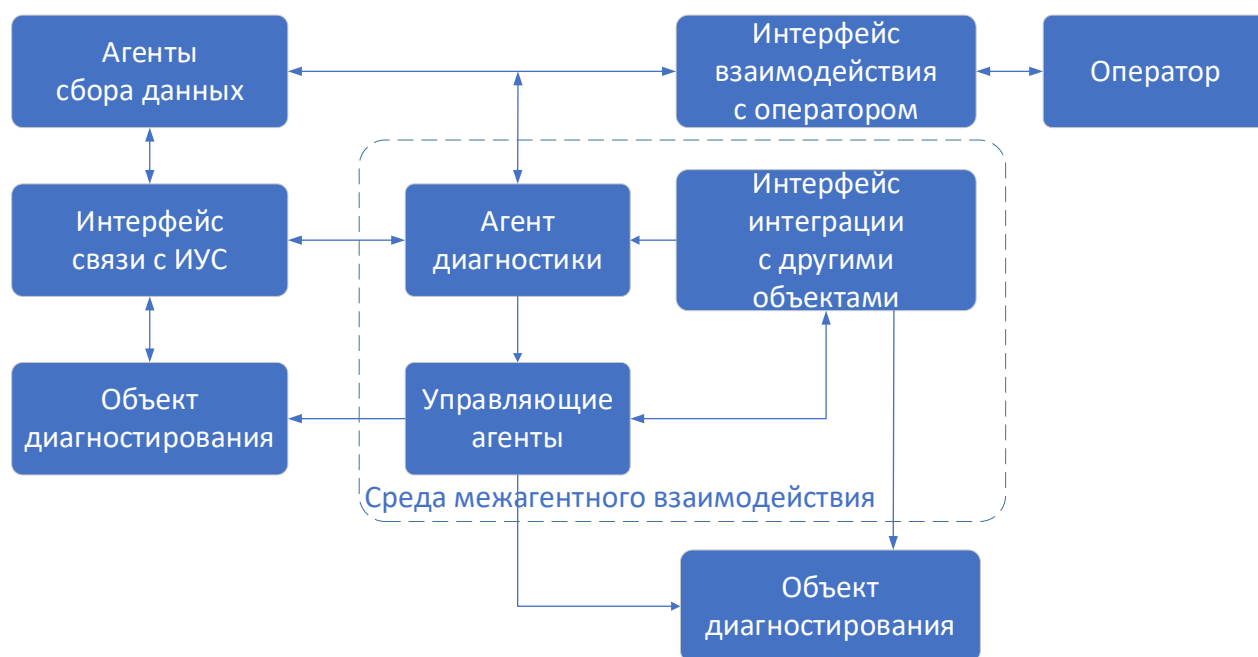


Рис. 2. Компоненты системы и их взаимодействие

Агенты нижнего уровня осуществляют мониторинг состояния оборудования, сбор телеметрической информации и первичную фильтрацию данных. Далее информация передается агентам диагностики, которые анализируют полученные данные, сравнивают их с эталонными параметрами и выявляют потенциальные неисправности.

На уровне координации происходит агрегирование диагностических заключений и синтез комплексных выводов о техническом состоянии систем. Итоговые решения принимаются на верхнем уровне, где также возможна интеграция с внешними системами управления, технического обслуживания и логистики [5–7].

Компоненты и интерфейсы прототипа системы диагностирования

Ключевыми компонентами прототипа являются агенты сбора данных, агенты диагностики, управляющие агенты, интерфейсы взаимодействия с оператором, а также интерфейс интеграции с другими элементами информационно-управляющих систем (ИУС) (рис. 2). Все агенты функционируют в условиях распределительной среды и взаимодействуют по принципам стандартизированных протоколов обмена сообщениями.

Особое внимание уделяется взаимодействию с реальным подвижным составом. Интерфейс связи с ИУС обеспечивает безопасный и защищенный доступ к телеметрической информации, а также возможность передачи управляющих воздействий в режиме реального времени. Архитектура прототипа предусматривает возможность функционирования как в онлайн-, так и в офлайн-режиме [8, 9].

Межагентное взаимодействие реализуется посредством среды, обеспечивающей маршрутизацию сообщений, синхронизацию состояний и устойчивость к сбоям. Протоколы взаимодействия основаны на стандартах FIPA и JADE, что обеспечивает совместимость и гибкость при развитии системы [10].

Масштабирование системы и интеграция с ИУС

Одним из важнейших аспектов практической реализации разработанного прототипа является обеспечение возможности масштабирования. Архитектура предусматривает легкое добавление новых агентов, адаптацию под различные подвижной состав и расширение функций без необходимости кардинальной перестройки системы.

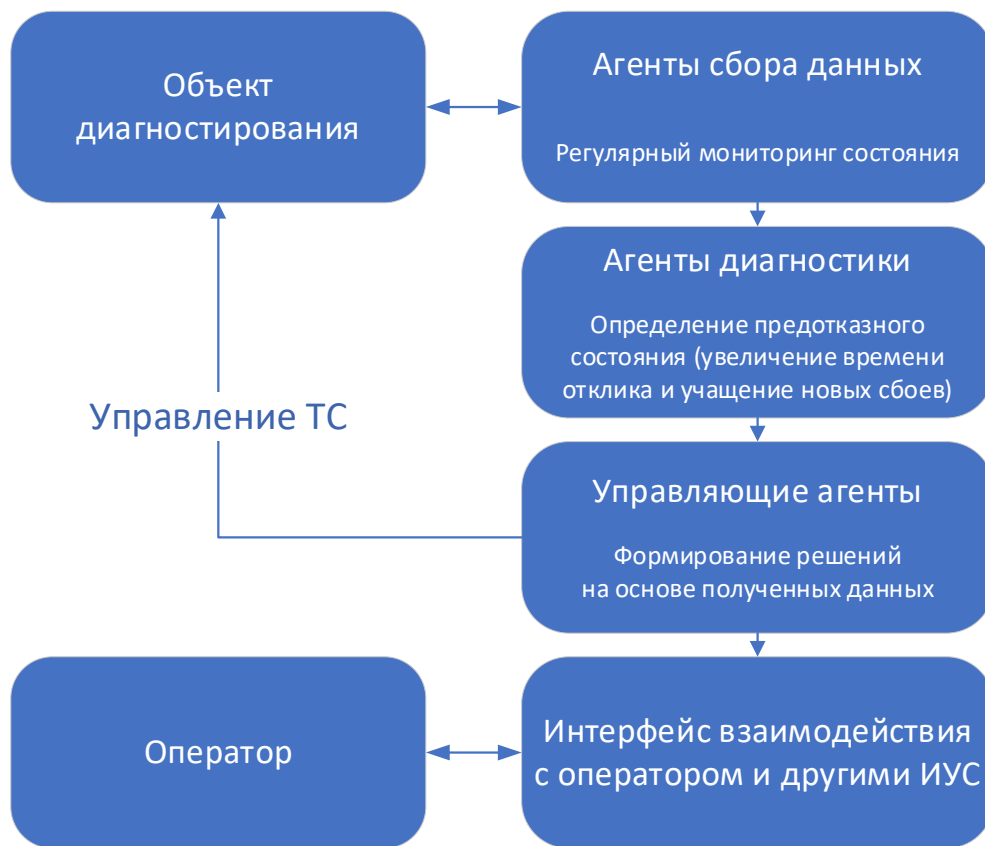


Рис. 3. Схематичный пример реализации архитектуры

Интеграция с реальными ИУС осуществляется через адаптеры данных и интерфейсы, согласованные с существующими прототипами транспортной отрасли. Это позволяет внедрять систему поэтапно, начиная с отдельных компонентов и постепенно охватывая все большее число узлов и агрегатов подвижного состава.

Разработка ведется с учетом совместимости с существующей ИТ-инфраструктурой транспортных предприятий. Использование контейнеризации и микросервисной архитектуры упрощает развертывание и сопровождение системы в продуктивной среде [11, 12].

Пример реализации архитектуры для диагностики вычислительных средств ИУС

В качестве примера реализации предлагаемой архитектуры рассмотрим реализацию многоагентной архитектуры для задач диагностики вычислительных средств ИУС подвижного состава (рис. 3). Эта система предназначена для постоянного мониторинга технического состояния, обнаружения от-

казов, а также оперативного реагирования на возникающие дефекты ИУС [13].

На первом уровне функционируют агенты сбора данных, которые осуществляют регулярный мониторинг ключевых аппаратных компонентов: температуры центрального процессора, графического ускорителя, состояния накопителей (SSD/HDD), системы охлаждения (включая состояние и обороты вентиляторов), аккумуляторных батарей (ИБП), а также устройств ввода-вывода. Кроме того, они фиксируют параметры загрузки CPU, использование оперативной памяти и обращение к системному диску. Эти агенты используют стандартные программные интерфейсы операционной системы и специализированные библиотеки аппаратного мониторинга.

Следующий уровень архитектуры представлен агентами диагностики. Они анализируют собранные данные, используя как пороговые значения, так и модели, обученные на исторических данных, включая контрольные отклонения и критические тренды. Например, агент может выявить призна-

ки перегрева видеокарты, учащение сбоев в логах работы жесткого диска, нестабильную работу вентиляторов или повышение температуры при обычной нагрузке программного характера: контроль за вредоносным ПО, сканирование на вирусы, анализ системных журналов (логов Windows/Linux) на наличие критических и повторяющихся ошибок.

На уровне координации управляющие агенты агрегируют диагностические заключения, формируют прогноз отказов (например, на основе увеличенного времени отклика системы или частых зависаний) и передают информацию на уровень принятия решений. Здесь осуществляется оценка критичности текущего состояния, возможное автоматическое отключение оборудования или формирование уведомления для оператора о необходимости технического вмешательства. Через интерфейс взаимодействия с оператором пользователю выводятся рекомендации: очистка системы охлаждения, замена термопасты, дефрагментация диска или удаление подозрительных процессов.

Интерфейс интеграции с другими ИУС обеспечивает передачу диагностических данных в централизованную систему управления, где они могут использоваться для аналитики, формирования отчетов и планирования профилактических работ. Благодаря стандартизированным протоколам система легко масштабируется и интегрируется в существующую цифровую инфраструктуру подвижного состава.

Таким образом, предлагаемый прототип демонстрирует гибкость и адаптивность многоагентной

архитектуры при решении прикладной задачи диагностики вычислительных средств, повышая надежность ИУС и снижая риск отказов в критических ситуациях [14–16].

Заключение

Разработка и внедрение многоагентных систем в процессы интеллектуальной диагностики подвижного состава представляет собой перспективное направление, способное кардинально повысить эффективность эксплуатации и обслуживания транспортных средств. Благодаря распределенной природе таких систем обеспечивается высокая степень адаптивности, устойчивости к сбоям и отказам оборудования, возможность локального принятия решения, что особенно актуально в условиях постоянно изменяющихся внешних факторов и требований к безопасности.

Использование агентов различной специализации позволяет реализовать как локальную, так и глобальную диагностику, оперативно выявлять неисправности, прогнозировать отказы и инициировать процессы восстановления работоспособности. При этом интеграция методов машинного обучения и экспертных подходов в рамках многоагентной архитектуры позволяет существенно расширить функциональность и интеллектуальные возможности системы, эффективно использовать большие потоки данных о функционировании ИУС, оперативно пополнять новыми данными и дообучать интеллектуальное ядро системы.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Барановский А. М., Бобриков Д. А. Современные подходы к диагностике и восстановлению работоспособности информационно-управляющих систем подвижного состава с применением многоагентных и нейросетевых технологий // Интеллектуальные технологии на транспорте. 2025. № 1 (41). С. 5–13. DOI: 10.20295/2413-2527-2025-141-5-13.
2. Wooldridge M. J. An Introduction to MultiAgent Systems. Second Edition. Chichester: Wiley, 2009. 488 p.
3. Jennings N. R., Wooldridge M. J. Applications of Intelligent Agents // Agent Technology: Foundations, Applications, and Markets / N. R. Jennings, M. J. Wooldridge (eds.). Heidelberg: Springer Berlin, 1998. Pp. 3-28. DOI: 10.1007/978-3-662-03678-5_1.
4. Бочков А. П., Хомоненко А. Д., Барановский А. М. Модель формирования кластеров информативных узлов интегрированной и распределенной обработки данных в вычислительной сети // Научные технологии в космических исследованиях Земли. 2021. Т. 13, № 1. С. 44–57. DOI: 10.36724/2409-5419-2021-13-1-44-57.

5. Bellifemine F. L., Caire G., Greenwood D. Developing Multi-Agent Systems with JADE. Chichester: Wiley, 2007. 300 p.
6. Russell S. J., Norvig P. Artificial Intelligence: A Modern Approach. Fourth Edition. Hoboken (NJ): Pearson, 2020. 1136 p.
7. Станкевич Л. А. Интеллектуальные системы и технологии: учебник и практикум для вузов. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Юрайт, 2025. 478 с.
8. Андронов С. А., Фетисов В. А. Интеллектуальные транспортные системы: учебное пособие. 2-е изд. М.: IPR Media, 2024. 266 с.
9. Евстафьев В. А., Тюков М. А. Искусственный интеллект и нейросети: практика применения в рекламе: учебное пособие. М.: Дашков и К, 2023. 426 с.
10. Rockwell Automation's Holonic and Multiagent Control Systems Compendium / P. Vrba, P. Tichý, V. Mařík [et al.] // IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Part C (Applications and Reviews). 2011. Vol. 41, Iss. 1. Pp. 14–30. DOI: 10.1109/TSMCC.2010.2055852.
11. Werneck V. M. B., Moreira Costa R. M. E., Cysneiros L. M. Modelling Multi-Agent System Using Different Methodologies // Multi-Agent Systems — Modeling, Interactions, Simulations and Case Studies / F. Alkhateeb [et al.] (eds.). InTechOpen, 2011. Pp. 77–96. DOI: 10.5772/14792.
12. Luck M., McBurney P., Preist C. Agent Technology: Enabling Next Generation Computing (A Roadmap for Agent-Based Computing). Southampton, 2003. 100 p.
13. Pudovikov O. E., Tarasova V. N., Degtyareva V. V. Predictive Diagnostics of Rolling Stock and the Industrial Internet of Things // Russian Engineering Research. 2023. Vol. 43, Iss. 8. Pp. 987–990. DOI: 10.3103/S1068798X23080282.
14. Shoham Y., Leyton-Brown K. Multiagent Systems: Algorithmic, Game-Theoretic, and Logical Foundations. New York (NY): Cambridge University Press, 2009. 504 p.
15. Киселев Г. Г. Искусственный интеллект в системе мониторинга, диагностики и прогнозирования технического состояния подвижного состава // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. 2024. Вып. 3. С. 621–626. DOI: 10.24412/2071-6168-2024-3-621-622.
16. Использование искусственных нейронных сетей на Российских железных дорогах для контроля токоприемников поездов / В. С. Язынин, А. М. Барановский, А. А. Воробьев, И. Ю. Романова // International Journal of Advanced Studies. 2023. Т. 13. № 1. С. 267–287. DOI: 10.12731/2227-930X-2023-13-1-267-287.

Дата поступления: 09.06.2025

Решение о публикации: 09.08.2025

Multi-Agent Architecture for Intelligent Rolling Stock Diagnostics: Concept and Prototyping

Anatoly M. Baranovsky — PhD in Engineering, Associate Professor of the Information and Computing Systems Department. Research interests: information and control systems, monitoring, diagnostics and management of technical condition, neural networks. E-mail: bamvka@mail.ru

Daniil A. Bobrikov — Master's Degree, postgraduate student of the Information and Computing Systems Department. Research interests: information systems, processing of large data. E-mail: daniil20001210@mail.ru

Emperor Alexander I St. Petersburg State Transport University, 9, Moskovsky ave., Saint Petersburg, 190031, Russia

For citation: Baranovsky A. M., Bobrikov D. A. Multi-Agent Architecture for Intelligent Rolling Stock Diagnostics: Concept and Prototyping. *Intellectual Technologies on Transport*, 2025, No. 3 (43), Pp. 25–32. DOI: 10.20295/2413-2527-2025-343-25-32. (In Russian)

Abstract. *The paper considers the development of an intelligent diagnostics and recovery system for rolling stock information management system operability, based on a multi-agent architecture. **Introduction:** the growing complexity of rolling stock information management systems (IMS) demands for greater reliability and more advanced intelligent diagnostic and recovery systems. Traditional centralized methods can become inefficient under certain conditions. **Purpose:** to develop the concept of an intelligent system for diagnosing and restoring the operability of rolling stock IMS. This system is based on a multi-agent architecture that can be implemented in existing transport infrastructure. **Methods:** the proposed approach involves the implementation of a specialized task allocation system, wherein each agent within the system is assigned a specific task. These tasks encompass the collection of telemetric information, the analysis and filtration of data, the formation of diagnostic indicators, and the undertaking of decisions concerning the technical condition of the system. The system's architecture facilitates multi-level organization and interaction protocols between the agents. **Results:** the development of an architectural model and a prototype concept has been undertaken for the purpose of demonstrating the functionality of a distributed intelligent system. The presentation has focused on the key components, interaction interface, and hardware and software implementations. **Practical significance:** the developed approach has the potential to enhance the stability and autonomy of transport systems in real operating conditions. **Discussion:** the potential for scaling the prototype and integrating it into existing IMS is a subject of discussion.*

Keywords: *multi-agent systems, neural network technologies, transport, information management systems, automation*

REFERENCES

1. Baranovsky A. M., Bobrikov D. A. Sovremennye podkhody k diagnostike i vosstanovleniyu rabotosposobnosti informatsionno-upravlyayushchikh sistem podvizhnogo sostava s primeneniem mnogoagentnykh i neyrosetevykh tekhnologiy [Modern Approaches to Diagnostics and Recovery of Rolling Stock Information Management Systems Using Multi-Agent and Neural Network Technologies], *Intellectualnye tekhnologii na transporte [Intellectual Technologies on Transport]*, 2025, No. 1 (41), Pp. 5–13. DOI: 10.20295/2413-2527-2025-141-5-13. (In Russian)
2. Wooldridge M. J. An Introduction to MultiAgent Systems. Second Edition. Chichester, Wiley, 2009, 488 p.
3. Jennings N. R., Wooldridge M. J. Applications of Intelligent Agents. In: *Jennings N. R., Wooldridge M. J. (eds.) Agent Technology: Foundations, Applications, and Markets*. Heidelberg, Springer Berlin, 1998, Pp. 3-28. DOI: 10.1007/978-3-662-03678-5_1.
4. Bochkov A. P., Khomonenko A. D., Baranovsky A. M. Model formirovaniya klasterov informativnykh uzlov integrirovannoy i raspredelennoy obrabotki dannykh v vychislitelnoy seti [Model of Formation of Clusters of Informative Nodes of Integrated and Distributed Data Processing in a Computer Network], *Naukoemkie tekhnologii v kosmicheskikh issledovaniyakh Zemli [High Technologies in Earth Space Research]*, 2021, Vol. 13, No. 1, Pp. 44–57. DOI: 10.36724/2409-5419-2021-13-1-44-57. (In Russian)
5. Bellifemine F. L., Caire G., Greenwood D. Developing Multi-Agent Systems with JADE. Chichester, Wiley, 2007, 300 p.
6. Russell S. J., Norvig P. Artificial Intelligence: A Modern Approach. Fourth Edition. Hoboken (NJ), Pearson, 2020, 1136 p.
7. Stankevich L. A. Intellectualnye sistemy i tekhnologii: uchebnik i praktikum dlya vuzov [Intelligent systems and technologies: textbook and practical training for universities]. Moscow: Urait Publishing House, 2025, 478 p. (In Russian)
8. Andronov S. A., Fetisov V. A. Intellectualnye transportnye sistemy: uchebnoe posobie [Intelligent transport systems: a tutorial]. Moscow, IPR Media, 2024, 266 p. (In Russian)

9. Evstafyev V. A., Tyukov M. A. *Iskusstvennyy intellekt i neyroseti: praktika primeneniya v reklame: uchebnoe posobie* [Artificial intelligence and neural networks: practical application in advertising: a tutorial]. Moscow, Dashkov and Co., 2023, 426 p. (In Russian)
10. Vrba P., Tichý P. Mařík V., et al. Rockwell Automation's Holonic and Multiagent Control Systems Compendium, *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Part C (Applications and Reviews)*, 2011, Vol. 41, Iss. 1, Pp. 14–30. DOI: 10.1109/TSMCC.2010.2055852.
11. Werneck V. M. B., Moreira Costa R. M. E., Cysneiros L. M. Modelling Multi-Agent System Using Different Methodologies. In: *Alkhateeb F., et al. (eds.) Multi-Agent Systems — Modeling, Interactions, Simulations and Case Studies*. InTechOpen, 2011, Pp. 77–96. DOI: 10.5772/14792.
12. Luck M., McBurney P., Preist C. *Agent Technology: Enabling Next Generation Computing (A Roadmap for Agent-Based Computing)*. Southampton, 2003, 100 p.
13. Pudovikov O. E., Tarasova V. N., Degtyareva V. V. Predictive Diagnostics of Rolling Stock and the Industrial Internet of Things, *Russian Engineering Research*, 2023, Vol. 43, Iss. 8. Pp. 987–990. DOI: 10.3103/S1068798X23080282.
14. Shoham Y., Leyton-Brown K. *Multiagent Systems: Algorithmic, Game-Theoretic, and Logical Foundations*. New York (NY), Cambridge University Press, 2009, 504 p.
15. Kiselev G. G. *Iskusstvennyy intellekt v sisteme monitoringa, diagnostiki i prognozirovaniya tekhnicheskogo sostoyaniya podvizhnogo sostava* [Artificial Intelligence in the System of Monitoring, Diagnostics and Forecasting of the Technical Condition of Rolling Stock], *Izvestiya Tulskogo gosudarstvennogo universiteta. Tekhnicheskie nauki* [News of the Tula State University. Technical Sciences], 2024, Iss. 3, Pp. 621–626. DOI: 10.24412/2071-6168-2024-3-621-622. (In Russian)
16. Yazin V. S., Baranovskiy A. M., Vorobyev A. A., Romanova I. Yu. Ispolzovanie iskusstvennykh neyronnykh setey na Rossiyskikh zheleznikh dorogakh dlya kontrolya tokopriemnikov poezdov [The Use of Artificial Neural Networks on Russian Railways to Control Current Collectors of Trains], *International Journal of Advanced Studies*, 2023, Vol. 13, No. 1, Pp. 267–287. DOI: 10.12731/2227-930X-2023-13-1-267-287. (In Russian)

Received: 09.06.2025

Accepted: 09.08.2025