

**О.В. Афанасьева, Т.Ф. Туляков**

### **АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ ТРАДИЦИОННЫХ И СОВРЕМЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ МОНИТОРИНГА ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧ**

*Проводится всесторонний анализ эффективности традиционных и современных технологий мониторинга линий электропередач (ЛЭП). Линии электропередач являются критически важным элементом энергетической инфраструктуры, и их надежная эксплуатация напрямую влияет на экономическую стабильность и безопасность. Традиционные методы мониторинга, такие как визуальные осмотры и механические устройства, долгое время оставались основными инструментами контроля, однако их ограниченная точность, высокая зависимость от человеческого фактора и невозможность оперативного выявления скрытых дефектов делают их менее эффективными в условиях возрастающих нагрузок на энергосистемы. Современные технологии, включая беспилотные летательные аппараты (БПЛА), интернет вещей (IoT), автоматизированные системы мониторинга и цифровые двойники, предлагают принципиально новые возможности для контроля состояния ЛЭП. Они обеспечивают высокую точность диагностики, непрерывный сбор данных в реальном времени, снижение эксплуатационных затрат и повышение безопасности персонала. В статье представлена классификация как традиционных, так и современных методов, а также проведен их сравнительный анализ по ключевым параметрам: точность, скорость реагирования, стоимость, безопасность и влияние на эксплуатацию. Результаты исследования демонстрируют, что современные технологии превосходят традиционные подходы по всем рассмотренным критериям. В частности, использование IoT и БПЛА позволяет минимизировать человеческий фактор, сократить время инспекций и повысить детализацию данных. Системы цифровых двойников дают возможность прогнозировать возможные аварии и оптимизировать плановое обслуживание. Однако успешное внедрение инновационных решений требует дополнительных инвестиций, обучения персонала и интеграции с существующими системами управления. В заключение делается вывод о стратегической важности перехода на современные технологии мониторинга ЛЭП для повышения надежности и устойчивости энергетической инфраструктуры. Несмотря на высокие первоначальные затраты, их долгосрочные преимущества, включая снижение аварийности, экономию ресурсов и повышение безопасности, полностью оправдывают инвестиции. Авторы подчеркивают необходимость дальнейшего развития цифровых технологий в энергетике для обеспечения стабильного и эффективного функционирования электросетей.*

*Линии электропередач; мониторинг; современные технологии; беспилотные летательные аппараты; анализ эффективности; безопасность; надежность.*

**O.V. Afanaseva, T.F. Tulyakov**

### **ANALYSIS OF THE EFFECTIVENESS OF TRADITIONAL AND MODERN TECHNOLOGIES FOR MONITORING POWER TRANSMISSION LINES**

*The article provides a comprehensive analysis of the effectiveness of traditional and modern technologies for monitoring power transmission lines (PTL). Power transmission lines are a critical element of the energy infrastructure, and their reliable operation directly affects economic stability and safety. Traditional monitoring methods, such as visual inspections and mechanical devices, have long remained the main control tools, but their limited accuracy, high dependence on the human factor and the inability to promptly detect hidden defects make them less effective in the face of increasing loads on power systems. Modern technologies, including unmanned aerial vehicles (UAVs), the Internet of Things (IoT), automated monitoring systems and digital twins, offer fundamentally new opportunities for monitoring the condition of PTLs. They provide high diagnostic accuracy, continuous data collection in real time, reduced operating costs and increased personnel safety. The article presents a classification of both traditional and modern methods, as well as a comparative analysis of their key parameters: accuracy, response speed, cost, safety and impact on operation. The results of the study demonstrate that modern technologies outperform traditional approaches in all the criteria considered. In particular, the use of IoT and UAVs allows minimizing the human factor, reducing inspection time and increasing data detail. Digital twin systems make it possible to predict possible accidents and optimize scheduled maintenance. However, successful implementation of innovative solutions requires additional investment, personnel training and integration with existing management systems. The conclusion is made about the strategic importance of switching to modern power transmission line monitoring technolo-*

gies to improve the reliability and sustainability of the energy infrastructure. Despite high initial costs, their long-term benefits, including reduced accidents, resource savings and increased safety, fully justify the investment. The authors emphasize the need for further development of digital technologies in the energy sector to ensure stable and efficient operation of power grids.

Power lines; monitoring; modern technologies; unmanned aerial vehicles; efficiency analysis; safety; reliability.

**Введение.** Мониторинг линий электропередач играет ключевую роль в обеспечении надежности и безопасности энергетической инфраструктуры страны. Линии электропередач являются основными элементами, по которым электрическая энергия передается от генераторов к потребителям. Их стабильная работа критически важна для функционирования экономики и повседневной жизни, так как любые сбои могут привести к серьезным последствиям, включая экономические потери и даже угрозу жизни людей [1].

Традиционные методы мониторинга (визуальные осмотры, использование механических устройств) долгое время служили основой для мониторинга состояния линий электропередач. Однако с увеличением нагрузки на сети электропередач и усложнением инфраструктуры возникла необходимость в более эффективных и надежных способах контроля [2, 3]. Современные технологии (дроны, использование интернет вещей и др.) предлагают новые возможности для мониторинга и управления состоянием линий электропередач.

Целью данной работы является проведение всестороннего анализа эффективности традиционных и современных технологий мониторинга линий электропередач. Данный анализ поможет энергетическим компаниям и специалистам в области электроэнергетики лучше понять текущие тренды и сделать обоснованный выбор технологий для повышения надежности систем электроэнергетики.

**Традиционные технологии мониторинга.** Традиционные технологии мониторинга линий электропередач (рис. 1) включают в себя методы и подходы, которые использовались на протяжении многих лет в процессе технического осмотра линий электропередач. Эти методы обеспечивают базовый уровень контроля и оценки состояния электрических линий [4, 5].



Рис. 1. Классификация традиционных технологий мониторинга линий электропередач

На данный момент выделяют два основных средства и метода, которые входят в традиционные технологии мониторинга линий: визуальные осмотры и механические устройства.

Визуальные осмотры – один из самых старых и простых методов мониторинга состояния линий электропередач [6]. Они проводятся квалифицированными специалистами, которые проверяют состояние проводов, опор, изоляторов и других компонентов

энергетической системы. В свою очередь к механическим устройствам относятся различные инструменты и аппараты, такие как динамометры и т.д., которые используются для проверки состояния проводов.

Хоть и традиционные методы обеспечивают базовые уровни контроля и диагностики, их недостаточная эффективность для обнаружения скрытых дефектов и необходимость регулярных проверок могут стать серьезными ограничениями [7, 8]. С учетом роста нагрузки на электрические сети и увеличения требований к надежности, возникает необходимость в более современных методах мониторинга, которые могут дополнить или заменить эти традиционные подходы.

**Современные технологии мониторинга линий электропередач.** Современные технологии для оценки технического состояния линий электропередач (рис. 2) значительно развились благодаря внедрению новых технологий, таких как применение интернет вещей, беспилотные летательные аппараты, системы автоматизации, а также разработка цифровых двойников. Эти методы обеспечивают более высокий уровень контроля, диагностики и предсказания состояния линий электропередач [9].

IoT включает в себя использование сенсоров и устройств, подключенных к интернету, для сбора и передачи данных о состоянии линий электропередач в реальном времени, что позволяет снизить влияние человека к нулю [10].

Беспилотные летательные аппараты оснащены камерами и сенсорами, которые позволяют проводить инспекции линий с воздуха, что значительно сокращает время и затраты на осмотр [11, 12].



Рис. 2. Классификация современных технологий мониторинга линий электропередач

Системы автоматизированного мониторинга используют комбинацию сенсоров, программного обеспечения и аналитических инструментов для автоматического сбора и анализа данных о техническом состоянии линий электропередач.

Цифровые двойники представляют собой виртуальные модели реальных линий электропередач, которые позволяют проводить симуляции и анализировать поведение линий в различных условиях, что может привести к уменьшению количества неисправностей, возникающих в ходе эксплуатации линий.

Современные технологии мониторинга линий электропередач предлагают более эффективные и надежные решения по сравнению с традиционными методами [13, 14]. Они обеспечивают возможность раннего выявления проблем, оптимизации процессов эксплуатации и снижения затрат на обслуживание.

**Сравнительный анализ.** Для анализа эффективности применения традиционных и современных средств мониторинга линий электропередач следует рассмотреть следующие параметры оценки: точность мониторинга, скорость, стоимость, безопасность и влияние на эксплуатацию [15].

С точки зрения точности мониторинга традиционные технологии сильно взаимосвязаны с человеческим фактором и не всегда позволяют выявить мелкие дефекты, в свою очередь современные технологии значительно могут повысить точность мониторинга, т.к. данные методы и устройства могут обнаружить возможные неисправности до их возникновения.

Если рассматривать процесс технического осмотра линий электропередач по параметры скорость реагирования, то получаем, что использование традиционных методов может быть малоэффективным, т.к. не всегда есть возможность физического доступа для решения проблемы, а современные технологии обеспечивают оперативны и быстрый доступ к данным в реальном времени, что позволяет значительно увеличить производительность в процессе технического осмотра линий [16].

Стоимость, как параметр для сравнения традиционных и современных методов технологий линий электропередач, позволяет сделать вывод, что хоть и традиционные методы на первоначальном этапе являются менее затратными, но они могут привести к более высоким затратам в будущем из-за запоздалого выявления проблем [17, 18].

Безопасность является одним из ключевых факторов при сравнении методов и средств для технического осмотра, т. к. использование традиционных технологий может представлять опасность для специалистов, особенно при осмотре высоковольтных линий электропередач, в свою очередь новые технологии позволяют проводить осмотр линий без непосредственного контакта специалиста с линиями электропередач [19, 20].

Для долгосрочной перспективы можно выделить параметр – влияние на эксплуатацию, он показывает, что традиционные методы технического осмотра могут приводить к непредсказуемым поломкам и авариям из-за недостатка информации или из-за некорректно интерпретированной информации ответственным специалистом, в свою очередь современные технологии и методы позволяют более точно планировать техническое обслуживание линий [21, 22].

**Обсуждение.** Анализ технологий показывает, что современные методы мониторинга линий электропередач значительно превосходят традиционные методы по всем ключевым параметрам [23, 24]. Однако для успешного внедрения новых технологий необходимо учитывать несколько факторов: необходимость подготовки и обучения специалистов работы с современными системами мониторинга линий электропередач, а также корректное внедрение уже в существующие процессы и системы.

Таким образом, переход к современным технологиям мониторинга линий электропередач является стратегически важным шагом для повышения надежности и безопасности энергетической инфраструктуры страны. Инвестиции в новые технологии не только оправдают себя в долгосрочной перспективе, но и помогут обеспечить устойчивое развитие [25].

**Выводы.** В целом, переход к современным технологиям мониторинга линий электропередач является необходимым шагом для повышения эффективности, безопасности и надежности энергетических систем. Проведя анализ можно сделать следующие выводы:

1. Современные технологии мониторинга обеспечивают более высокую точность и детализацию данных по сравнению с традиционными методами, что позволяет своевременно выявлять потенциальные проблемы;
2. Использование современных систем мониторинга позволяет получать и обрабатывать данные в реальном времени, что значительно сокращает время реагирования на неисправности;
3. Начальные инвестиции в современные технологии могут быть высокими, их долгосрочные выгоды делают их более экономически эффективными;
4. Современные технологии снижают риски для специалистов, т.к. позволяют проводить инспекции без непосредственного доступа к опасным объектам, что повышает общую безопасность эксплуатации;
5. Интеграция современных технологий в процессы мониторинга и обслуживания линий электропередач способствует более эффективному планированию и управлению ресурсами, что улучшает надежность и устойчивость энергетической инфраструктуры.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Alhassan A.B., Zhang X., Shen H. [et al.]*. Precise Motion Control of a Power Line Inspection Robot Using Hybrid Time Delay and State Feedback Control // *Frontiers in Robotics and AI*. – 2022. – Vol. 9. – DOI: 10.3389/frobt.2022.746991. – EDN BCROIB.
2. *Fan W., Zhang S., Zhu W., Zhu H.* An efficient dynamic formulation for the vibration analysis of a multi-span power transmission line excited by a moving deicing robot // *Applied Mathematical Modelling*. – 2022. – Vol. 103. – P. 619-635. – DOI: 10.1016/j.apm.2021.10.040. – EDN ZPBNPT.
3. *Li X.P., Shang D.Y., Li F.J., Cao W.L.* Dynamic Modeling and DME Evaluation of Power Transmission Line Inspection Robots // *Dongbei Daxue Xuebao/Journal of Northeastern University*. – 2020. – Vol. 41, No. 9. – P. 1280-1284. – <https://doi.org/10.12068/j.issn.1005-3026.2020.09.011>.
4. *Chen M., Tian Yu., Xing Sh. [et al.]*. Environment Perception Technologies for Power Transmission Line Inspection Robots // *Journal of Sensors*. – 2021. – Vol. 2021, No. 1. – P. 10.1155/2021/5559231. – DOI: 10.1155/2021/5559231. – EDN XLWPAO.
5. *Rigatos G., Zervos N., Siano P. [et al.]*. A nonlinear optimal control approach for underactuated power-line inspection robots // *Robotica*. – 2022. – Vol. 40, No. 6. – P. 1979-2009. – DOI: 10.1017/s026357472100148x. – EDN HKYIBX.
6. *Afanaseva Olga, Tulyakov Timur, Romashin Daniil and Panova Anastasia*. Development of a Robotic Complex for the Manufacture of Parts Used in Civil Engineering // *Engineering Research Transcripts*. – 2023. – 3. – P. 51-58. – DOI: [https://doi.org/10.55084/grinrey/ERT/978-81-964105-0-6\\_6](https://doi.org/10.55084/grinrey/ERT/978-81-964105-0-6_6).
7. *Disyadej T., Kwanmuang S., Muneesawang P. [et al.]*. Smart Transmission Line Maintenance and Inspection using Mobile Robots // *Advances in Science, Technology and Engineering Systems*. – 2020. – Vol. 5, No. 3. – P. 493-500. – DOI: 10.25046/aj050361. – EDN FXDUVY.
8. *Wang, Y., Yuan Ch., Zhai Y.* Mechanism Design and Analysis of a New Overhead Transmission Line Inspection Robot // *Xibei Gongye Daxue Xuebao*. – 2020. – Vol. 38, No. 5. – P. 1105-1111. – DOI: 10.1051/jnwpu/20203851105. – EDN UZPTNH.
9. *Великанов В.С.* Прогнозирование нагруженности рабочего оборудования карьерного экскаватора по нечетко-логистической модели // *Записки Горного института*. – 2020. – Т. 241. – С. 29-36. – DOI: 10.31897/PMI.2020.1.29.
10. *Крестовников К.Д., Черских Е.О., Савельев А.И.* Исследование влияния длины промежуточного магнитопровода на характеристики магнитного захвата для робототехнических комплексов горнодобывающей промышленности // *Записки Горного института*. – 2020. – Т. 241. – С. 46-52. – DOI: 10.31897/PMI.2020.1.46.
11. *Yuan L.* Fabrication of metallic parts with overhanging structures using the robotic wire arc additive manufacturing // *Journal of Manufacturing Processes*. – 2021. – Vol. 63. – P. 24-34. – <https://doi.org/10.1016/j.jmapro.2020.03.018>.
12. *Blatnický M., Dižo J., Gerlici J. [et al.]*. Design of a robotic manipulator for handling products of automotive industry // *International Journal of Advanced Robotic Systems*. – 2020. – Vol. 17, No. 1. – DOI: 10.1177/1729881420906290. – EDN NKYYJJ.
13. *Ja.F.O. Mammadov, Valiyeva B.A.K., Huseynova A.S.G., Hasanova Ye.M.G.* Development of diagnostic subsystem for manufacturing active elements in instrument-making industry // *Vestnik of Astrakhan State Technical University. Series: Management, Computer Science and Informatics*. – 2022. – No. 1. – P. 16-21. – DOI: 10.24143/2073-5529-2022-1-16-21. – EDN JPEWZU.
14. *Kakou P., Bukhari M., Wang J., Barry O.* On the vibration suppression of power lines using mobile damping robots // *Engineering Structures*. – 2021. – Vol. 239. – P. 112312. – DOI: 10.1016/j.engstruct.2021.112312. – EDN CHTAXH.
15. *Qin X., Jia Bo., Lei J. [et al.]*. A novel flying-walking power line inspection robot and stability analysis hanging on the line under wind loads // *Mechanical Sciences*. – 2022. – Vol. 13, No. 1. – P. 257-273. – DOI: 10.5194/ms-13-257-2022. – EDN SJCYNJ.
16. *Mal'Tsev P.A., Shatilova N.A., Abramkin S.E. and Podkina M.E.* Designing a Digital Twin in Oil and Gas Technologies: Technology Integration // *2024 XXVII International Conference on Soft Computing and Measurements (SCM)*, Saint Petersburg, Russian Federation, 2024. – P. 352-355. – DOI: 10.1109/SCM62608.2024.10554148.
17. *Boronko E.A. and Novozhilov I.M.* Designing an Information System for Monitoring the Electromagnetic Field of a Power Plant // *2024 Conference of Young Researchers in Electrical and Electronic Engineering (EICon)*, Saint Petersburg, Russian Federation, 2024. – P. 331-334. – DOI: 10.1109/EICon61730.2024.10468204.
18. *Blaga F.S., Pop A., Hule V., and Indre C.I.* The efficiency of modeling and simulation of manufacturing systems using Petri nets // *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. – 2021. – Vol. 1169: 012005. – <https://doi.org/10.1088/1757-899x/1169/1/012005>.
19. *Pershin I.M., Kukharova T.V., Tsapleva V.V.* Designing of distributed systems of hydrolithosphere processes parameters control for the efficient extraction of hydromineral raw materials // *Journal of Physics: Conference Series*, Saint Petersburg, Virtual, 14–17 апреля 2020 года. – Saint Petersburg, Virtual, 2021. – P. 012017. – DOI: 10.1088/1742-6596/1728/1/012017. – EDN SLJOFN.

20. Kukharova T.V., Pershin I.M., Utkin V.A. Modeling of a Decision Support System for a Psychiatrist Based on the Dynamics of Electrical Conductivity Parameters // Proceedings of the 2021 IEEE Conference of Russian Young Researchers in Electrical and Electronic Engineering, ElConRus 2021, Moscow, 26–28 января 2021 года. – Moscow, 2021. – P. 975-978. – DOI 10.1109/ElConRus51938.2021.9396273. – EDN JYZAHJ.
21. Ilyushin Y., Mokeev A. The control system of the thermal field in tunnel furnace of a Conveyor type // ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences. – 2017. – Vol. 12, No. 22. – P. 6595-6605. – EDN XNXPUK.
22. Сырков А.Г., Маховиков А.Б., Томаев В.В., Тарабан В.В. Приоритет в области нанотехнологий Горного университета в Санкт-Петербурге - современного центра разработки новых наноструктурированных металлических материалов // Цветные металлы. – 2023. – № 8. – С. 5-13. – DOI: 10.17580/tsm.2023.08.01. – EDN NQMQQJ.
23. Waleed D., Tariq U., Mukhopadhyay S., El-Hag A.H. Drone-Based Ceramic Insulators Condition Monitoring // IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement. – 2021. – Vol. 70. – P. 9427080. – DOI: 10.1109/TIM.2021.3078538. – EDN QPWOJO.
24. Huang Zh., Zhai X., Wang H. [et al.]. On the 3D Track Planning for Electric Power Inspection Based on the Improved Ant Colony Optimization and A\* Algorithm // Mathematical Problems in Engineering. – 2020. – Vol. 2020. – P. 8295362. – DOI: 10.1155/2020/8295362. – EDN DIXFUV.
25. Suarez A., Salmoral R., Zarco-Perinan P.J., Ollero A. Experimental Evaluation of Aerial Manipulation Robot in Contact With 15 kV Power Line: Shielded and Long Reach Configurations // IEEE Access. – 2021. – Vol. 9. – P. 94573-94585. – DOI: 10.1109/access.2021.3093856. – EDN YIFYQO.

#### REFERENCES

1. Alhassan A.B., Zhang X., Shen H. [et al.]. Precise Motion Control of a Power Line Inspection Robot Using Hybrid Time Delay and State Feedback Control, *Frontiers in Robotics and AI*, 2022, Vol. 9. DOI: 10.3389/frobt.2022.746991. – EDN BCROIB.
2. Fan W., Zhang S., Zhu W., Zhu H. An efficient dynamic formulation for the vibration analysis of a multi-span power transmission line excited by a moving deicing robot, *Applied Mathematical Modelling*, 2022, Vol. 103, pp. 619-635. DOI: 10.1016/j.apm.2021.10.040. – EDN ZPBNPT.
3. Li X.P., Shang D.Y., Li F.J., Cao W.L. Dynamic Modeling and DME Evaluation of Power Transmission Line Inspection Robots, *Dongbei Daxue Xuebao/Journal of Northeastern University*, 2020, Vol. 41, No. 9, pp. 1280-1284. Available at: <https://doi.org/10.12068/j.issn.1005-3026.2020.09.011>.
4. Chen M., Tian Yu., Xing Sh. [et al.]. Environment Perception Technologies for Power Transmission Line Inspection Robots, *Journal of Sensors*, 2021, Vol. 2021, No. 1, pp. 10.1155/2021/5559231. DOI: 10.1155/2021/5559231. EDN XLWPAO.
5. Rigatos G., Zervos N., Siano P. [et al.]. A nonlinear optimal control approach for underactuated power-line inspection robots, *Robotica*, 2022, Vol. 40, No. 6, pp. 1979-2009. DOI: 10.1017/s026357472100148x. EDN HKYIBX.
6. Afanaseva Olga, Tulyakov Timur, Romashin Daniil and Panova Anastasia. Development of a Robotic Complex for the Manufacture of Parts Used in Civil Engineering, *Engineering Research Transcripts*, 2023, 3, pp. 51-58. DOI: [https://doi.org/10.55084/grinrey/ERT/978-81-964105-0-6\\_6](https://doi.org/10.55084/grinrey/ERT/978-81-964105-0-6_6).
7. Disyadej T., Kwanmuang S., Muneesawang P. [et al.]. Smart Transmission Line Maintenance and Inspection using Mobile Robots, *Advances in Science, Technology and Engineering Systems*, 2020, Vol. 5, No. 3, pp. 493-500. DOI: 10.25046/aj050361. EDN FXDUVY.
8. Wang, Y., Yuan Ch., Zhai Y. Mechanism Design and Analysis of a New Overhead Transmission Line Inspection Robot, *Xibei Gongye Daxue Xuebao*, 2020, Vol. 38, No. 5, pp. 1105-1111. DOI: 10.1051/jnwpu/20203851105. EDN UZPTHH.
9. Velikanov V.S. Prognozirovanie nagruzhennosti rabocheho oborudovaniya kar'ernogo ekskavatora po nechetko-logisticheskoy modeli [Mining excavator working equipment load forecasting according to a fuzzy-logistic model], *Zapiski Gornogo institute [Journal of Mining Institute]*, 2020, Vol. 241, pp. 29-36. DOI: 10.31897/PMI.2020.1.29.
10. Krestovnikov K.D., Cherskikh E.O., Savel'ev A.I. Issledovanie vliyaniya dliny promezhutochnogo magnitoprovoda na kharakteristiki magnitnogo zakhvata dlya robototekhnicheskikh kompleksov gornodobyvayushchey promyshlennosti [Investigation of the influence of the length of the intermediate magnetic circuit on the characteristics of magnetic gripper for robotic complexes of the mining industry], *Zapiski Gornogo institute [Journal of Mining Institute]*, 2020, Vol. 241, pp. 46-52. DOI: 10.31897/PMI.2020.1.46.
11. Yuan L. Fabrication of metallic parts with overhanging structures using the robotic wire arc additive manufacturing, *Journal of Manufacturing Processes*, 2021, Vol. 63, pp. 24-34. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.jmapro.2020.03.018>.

12. Blatnický M., Dižo J., Gerlici J. [et al.]. Design of a robotic manipulator for handling products of automotive industry, *International Journal of Advanced Robotic Systems*, 2020, Vol. 17, No. 1. DOI: 10.1177/1729881420906290. EDN NKYYJJ.
13. Ja.F.O. Mammadov, Valiyeva B.A.K., Huseynova A.S.G., Hasanova Ye.M.G. Development of diagnostic subsystem for manufacturing active elements in instrument-making industry, *Vestnik of Astrakhan State Technical University. Series: Management, Computer Science and Informatics*, 2022, No. 1, pp. 16-21. DOI: 10.24143/2073-5529-2022-1-16-21. EDN JPEWZU.
14. Kakou P., Bukhari M., Wang J., Barry O. On the vibration suppression of power lines using mobile damping robots, *Engineering Structures*, 2021, Vol. 239, pp. 112312. DOI: 10.1016/j.engstruct.2021.112312. EDN CHTAXH.
15. Qin X., Jia Bo., Lei J. [et al.]. A novel flying–walking power line inspection robot and stability analysis hanging on the line under wind loads, *Mechanical Sciences*, 2022, Vol. 13, No. 1, pp. 257-273. DOI: 10.5194/ms-13-257-2022. EDN SJCYNJ.
16. Mal’Tsev P.A., Shatilova N.A., Abramkin S.E. and Podkina M.E. Designing a Digital Twin in Oil and Gas Technologies: Technology Integration, *2024 XXVII International Conference on Soft Computing and Measurements (SCM)*, Saint Petersburg, Russian Federation, 2024, pp. 352-355. DOI: 10.1109/SCM62608.2024.10554148.
17. Boronko E.A. and Novozhilov I.M. Designing an Information System for Monitoring the Electromagnetic Field of a Power Plant, *2024 Conference of Young Researchers in Electrical and Electronic Engineering (ElCon)*, Saint Petersburg, Russian Federation, 2024, pp. 331-334. DOI: 10.1109/ElCon61730.2024.10468204.
18. Blaga F.S., Pop A., Hule V., and Indre C.I. The efficiency of modeling and simulation of manufacturing systems using Petri nets, *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 2021, Vol. 1169: 012005. Available at: <https://doi.org/10.1088/1757-899x/1169/1/012005>.
19. Pershin I.M., Kukharova T.V., Tsapleva V.V. Designing of distributed systems of hydrolithosphere processes parameters control for the efficient extraction of hydromineral raw materials, *Journal of Physics: Conference Series, Saint Petersburg, Virtual, 14–17 апреля 2020 года*. Saint Petersburg, Virtual, 2021, pp. 012017. DOI: 10.1088/1742-6596/1728/1/012017. EDN SLJOFN.
20. Kukharova T.V., Pershin I.M., Utkin V.A. Modeling of a Decision Support System for a Psychiatrist Based on the Dynamics of Electrical Conductivity Parameters, *Proceedings of the 2021 IEEE Conference of Russian Young Researchers in Electrical and Electronic Engineering, ElConRus 2021, Moscow, 26–28 January 2021*. Moscow, 2021, pp. 975-978. DOI 10.1109/ElConRus51938.2021.9396273. EDN JYZAHJ.
21. Ilyushin Y., Mokeev A. The control system of the thermal field in tunnel furnace of a Conveyor type, *ARN Journal of Engineering and Applied Sciences*, 2017, Vol. 12, No. 22, pp. 6595-6605. EDN XNXPUK.
22. Syrkov A.G., Makhovikov A.B., Tomaev V.V., Taraban V.V. Prioritet v oblasti nanotekhnologii Gornogo universiteta v Sankt-Peterburge - sovremennogo tsentra razrabotki novykh nanostrukturirovannykh metallicheskih materialov [Priority in the field nanotechnologies of the mining university in saint petersburg — a modern centre for the development of new nanostructured metallic materials], *Tsvetnye metally* [Tsvetnye Metally], 2023, No. 8, pp. 5-13. DOI: 10.17580/tsm.2023.08.01. EDN NQMQQJ.
23. Waleed D., Tariq U., Mukhopadhyay S., El-Hag A.H. Drone-Based Ceramic Insulators Condition Monitoring, *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, 2021, Vol. 70, pp. 9427080. DOI: 10.1109/TIM.2021.3078538. EDN QPWOJO.
24. Huang Zh., Zhai X., Wang H. [et al.]. On the 3D Track Planning for Electric Power Inspection Based on the Improved Ant Colony Optimization and A\* Algorithm, *Mathematical Problems in Engineering*, 2020, Vol. 2020, pp. 8295362. DOI: 10.1155/2020/8295362. EDN DIXFUV.
25. Suarez A., Salmoral R., Zarco-Perinan P.J., Ollero A. Experimental Evaluation of Aerial Manipulation Robot in Contact With 15 kV Power Line: Shielded and Long Reach Configurations, *IEEE Access*, 2021, Vol. 9, pp. 94573-94585. DOI: 10.1109/access.2021.3093856. EDN YIFYQO.

**Афанасьева Ольга Владимировна** – Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II; e-mail: Afanaseva\_OV@pers.spmi.ru; г. Санкт-Петербург, Россия; к.т.н.; доцент.

**Туляков Тимур Фаритович** – Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II; e-mail: timur210600@icloud.com; г. Санкт-Петербург, Россия; аспирант.

**Afanaseva Olga Vladimirovna** – Empress Catherine II Saint Petersburg Mining University; e-mail: Afanaseva\_OV@pers.spmi.ru; Saint Petersburg, Russia; cand. of eng. sc; associate professor.

**Tulyakov Timur Faritovich** – Empress Catherine II Saint Petersburg Mining University; e-mail: timur210600@icloud.com; Saint Petersburg, Russia; postgraduate student.