



Автоматизированная беспроводная система мониторинга технического состояния дымовых труб

А.К. Комаров¹, В.В. Кажарский^{2✉}, А.М. Павлов³

^{1,2,3}Иркутский национальный исследовательский технический университет, г. Иркутск, Россия

Аннотация. В представленной статье изучена и описана технология мониторинга технического состояния дымовых труб для выявления участков повышенных тепловых потерь с применением автоматизированной беспроводной системы мониторинга, в состав которой входит беспилотный летательный аппарат, оснащенный дополнительным оборудованием. Целью данной работы является исследование вопроса, связанного с обеспечением безопасности эксплуатации железобетонных дымовых труб, используемых в составе опасных производственных объектов. Основной задачей представленной технологии мониторинга является оперативное выявление дефектов и повреждений для снижения рисков возникновения аварийно-опасных ситуаций. При разработке особое внимание уделено автономности и интеллектуальности предлагаемой технологии мониторинга технического состояния. На первом этапе производится монтаж датчиков, координаторов и система дистанционной термометрии с передачей данных о температуре тела ствола дымовой трубы в диспетчерский центр. На следующем этапе проводится обследование участков наружной поверхности дымовой трубы с применением беспилотного летательного аппарата, оснащенного тепловизионной камерой, для подтверждения информации о потерях тепла. На завершающем этапе составляется термограмма объекта, на основе которой создается схема вероятного расположения выявленных дефектов и план производства ремонтных работ. Также указаны основные преимущества предлагаемой технологии.

Ключевые слова: автоматизированная беспроводная система мониторинга, датчик, координатор, диспетчерский центр, беспилотный летательный аппарат, термограмма

Для цитирования: Комаров А.К., Кажарский В.В., Павлов А.М. Автоматизированная беспроводная система мониторинга технического состояния дымовых труб // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. 2024. Т. 14. № 3. С. 531–539. <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2024-3-531-539>. EDN: QCYHYK.

Original article

Automated wireless system for monitoring the technical condition of chimneys

Andrey K. Komarov¹, Vitaly V. Kazharsky^{2✉}, Andrey M. Pavlov³

^{1,2,3}Irkutsk National Research Technical University, Irkutsk, Russia

Abstract. The present paper considers the technology of monitoring the technical condition of chimneys in order to identify areas of increased heat losses. The technology involves an automated wireless monitoring system that includes an unmanned aircraft with additional equipment. Aim. To study the operation safety of reinforced concrete chimneys used in hazardous industrial facilities. The presented monitoring technology tackles the task of prompt identification of defects and damages to reduce the risks of potentially hazardous conditions. While developing technology for monitoring the technical condition, special attention is paid to its autonomy and intelligence. At the first stage, sensors, coordinators and remote thermometry system are installed with the transmission of data on the temperature of the chimney trunk to the control center. At the next stage, the outer surface of the chimney is examined using an unmanned aircraft equipped with a thermal imaging camera to verify information about heat losses. The final stage involves creating a thermogram of the object and a scheme of the possible locations of the identified

defects in order to plan repair works. In addition, the paper introduces main advantages of the suggested technology.

Keywords: automated wireless monitoring system, sensor, coordinator, dispatch center, unmanned aerial vehicle, thermogram

For citation: Komarov A.K., Kazharsky V.V., Pavlov A.M. Automated wireless system for monitoring the technical condition of chimneys. *Proceedings of Universities. Investment. Construction. Real estate*. 2024;14(3):531-539. (In Russ.). <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2024-3-531-539>. EDN: QCYHYK.

ВВЕДЕНИЕ

Важным элементом в поддержании безопасности таких сооружений, как дымовые трубы, является применение систематизированного подхода, основанного на теоретических принципах оценки рисков и их управления, способного решить проблемы, связанные с промышленной безопасностью [1, 2]. Это дает возможность усилить защиту опасных производственных объектов от аварийных разрушений, при этом оптимизируя финансовые затраты.

Данный метод предполагает, что будущее за инновационными подходами в оценке безопасности, живучести объектов и анализе рисков.

В связи с этим предложено использовать новую технологию мониторинга, позволяющую определить техническое состояние дымовых труб. Данная технология состоит из следующих этапов:

1. Применение автоматизированной беспроводной системы мониторинга (АБСМ) для сбора информации.

2. Применение беспилотного летательного аппарата (БПЛА), оснащенного дополнительным оборудованием с использованием специального программного обеспечения, для проведения обследования на основе информации, полученной на предыдущем этапе, а также сбора дополнительных данных.

3. Определение объемов ремонтных работ на основании данных, полученных по результатам обследования.

Подробное описание каждого из этапов представлено ниже.

Описание этапов предлагаемой технологии. Автоматизированная беспроводная система мониторинга

Одним из перспективных направлений в сфере обследования дымовых труб является применение АБСМ. В состав такой системы мониторинга предложено включить малогабаритные беспроводные инфракрасные датчики температуры (с аккумуляторными батареями и

радиопередающими антеннами), несколько координаторов беспроводной сети (пунктов сбора данных) и персональный компьютер (диспетчерский центр) с установленным специальным программным обеспечением.

Малогабаритные беспроводные инфракрасные датчики температуры проводят измерения температуры наружной поверхности дымовой трубы и передают полученные показания координаторам беспроводной сети (пунктам сбора данных) посредством радиосвязи на расстояние до 1000 м, затем полученная информация с помощью интернет-соединения поступает на персональный компьютер (диспетчерский центр) с установленным специальным программным обеспечением для последующей обработки (рис. 1).

Технология монтажа оборудования, входящего в состав АБСМ для контроля температуры ствола дымовой трубы, включает следующие операции:

- осуществляется подъем монтажников системы с соответствующим оборудованием и инструментами на уровни световорных площадок дымовой трубы по ходовым лестницам;

- с помощью специального инструмента, производится монтаж кронштейнов, используемых для фиксации корпусов беспроводных инфракрасных датчиков температуры к конструкциям световорных площадок;

- производится монтаж датчиков температуры на ранее подготовленные кронштейны с надежной фиксацией;

- осуществляется монтаж и подключение координаторов беспроводной сети;

- производится подготовка диспетчерского центра (установка персонального компьютера и специального программного обеспечения);

- производится запуск, тест и отладка системы дистанционной термометрии с устранением всех неисправностей;

- система дистанционной термометрии с передачей данных о температуре тела ствола дымовой трубы в диспетчерский центр запускается в работу.

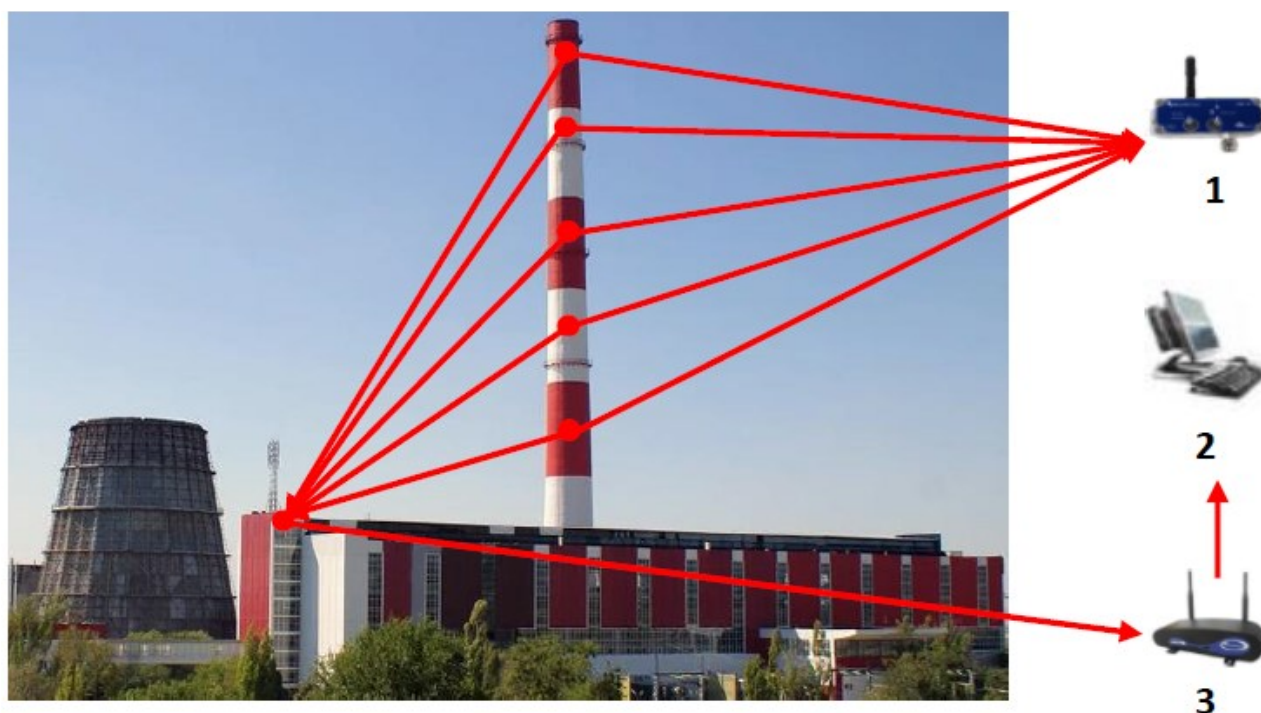


Рис. 1. Схема действия автоматизированной беспроводной системы мониторинга:
1 – беспроводной инфракрасный датчик температуры; 2 – диспетчерский центр;
3 – координатор беспроводной сети

Fig. 1. The scheme of operation of the automated wireless monitoring system: 1 – wireless infrared temperature sensor; 2 – dispatch center; 3 – wireless network coordinator

БПЛА, оснащенный дополнительным оборудованием с использованием специального программного обеспечения

На основе показаний беспроводных датчиков температуры, которые были получены на предыдущем этапе мониторинга, проводится обследование наружной поверхности ствола дымовой трубы.

Данное обследование необходимо для подтверждения наличия возможных участков тепловых потерь, а также фиксации мест расположения и размеров возможных дефектов ствола дымовой трубы.

Предложено проводить обследование с применением БПЛА, оснащенного датчиком дистанции, фото-, видео- и тепловизионной камерами (рис. 2).

Контроль состояния наружной теплоизоляции дымовых труб с применением тепловизионного оборудования подтвердил свою эффективность как ключевой метод контроля эксплуатируемых дымовых труб благодаря скорости, наглядности и точности результатов [1, 2, 3, 12].

По результатам проведенного тепловизионного обследования выявляется расположение и размер участков, требующих оперативного проведения ремонтных работ для восста-

новления соответствующих теплоизоляционных свойств внешних конструкций дымовых труб, что способствует уменьшению потерь тепла и сбережению ресурсов.

Для определения параметров и автоматизации полета БПЛА предлагается использовать специальное программное обеспечение Ground Station Pro (GS Pro), которое помогает в составлении маршрутов и определении границ полетной зоны [5, 8, 15].

В состав данного программного обеспечения входят следующие алгоритмы полета БПЛА:

1. Точечный полет – пользователь задает полет по точкам на карте (до 99 точек маршрута), в которых БПЛА может выполнять до 15 действий, например, зависание в воздухе, фотографирование или начало/окончание видеозаписи. Также можно задать действие, которое БПЛА выполнит после того как пройдет все точки на маршруте, например, вернуться в точку вылета или приземлиться сразу.

2. Виртуальное ограждение – определяет границы, за которые БПЛА не сможет вылететь, даже если оператор его туда направит (точность позиционирования). Размер и форма виртуального ограждения определяются пользователем.

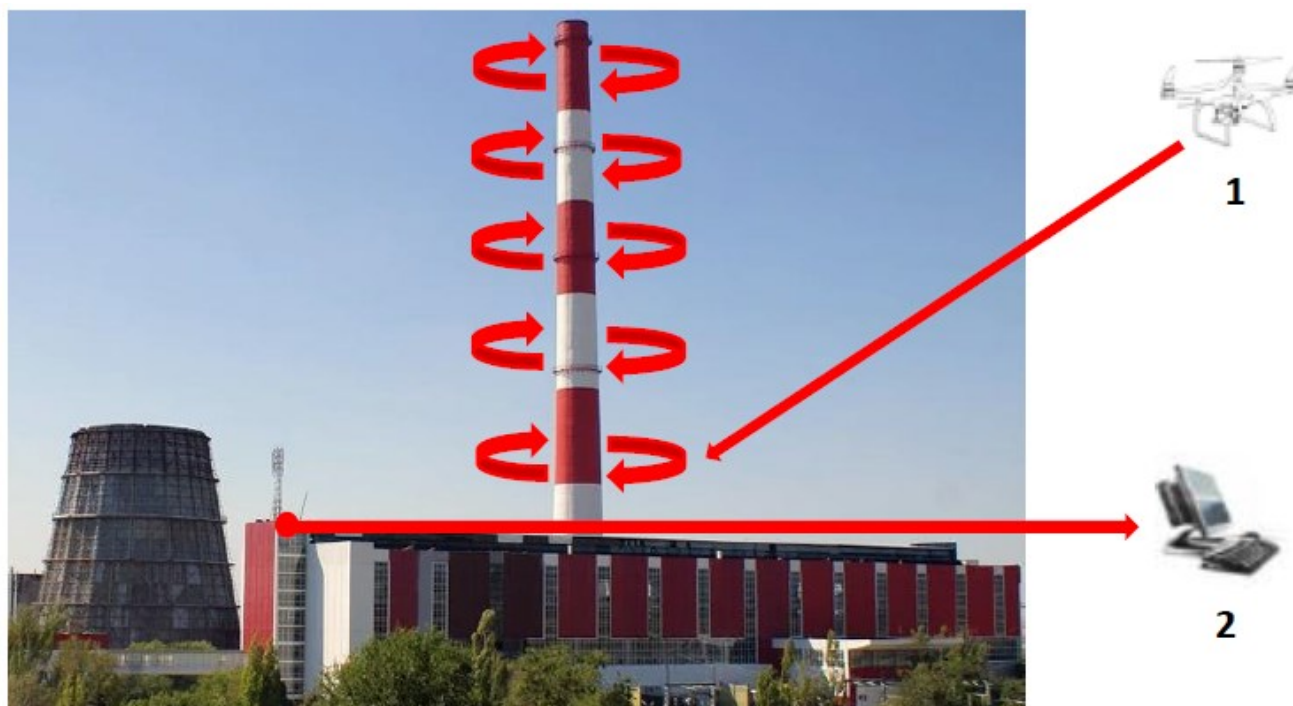


Рис. 2. Схема обследования ствола дымовой трубы: 1 – беспилотный летательный аппарат, оснащенный дополнительным оборудованием; 2 – диспетчерский центр
Fig. 2. The scheme of the inspection of the chimney trunk: 1 – unmanned aerial vehicle equipped with additional equipment; 2 – dispatch center

В дополнение к обследованию наружной поверхности дымовых труб целесообразно провести обследование внутренней поверхности с помощью противоударного инспекционного БПЛА, оснащенного 360-градусным защитным каркасом из углеродного волокна с гибким покрытием [4, 13].

Прочная конструкция БПЛА не боится пыли и влаги, а профессиональная камера, оснащенная дальномером и яркими светодиодами с различными углами наклона для оптимизации освещения в суровых условиях, позволит сделать качественные снимки внутренней поверхности дымовых труб.

Определение объемов ремонтных работ на основании данных, полученных по результатам обследования

Создание термограммы обследуемого объекта происходит на основании анализа данных, собранных в ходе тепловизионного обследования с использованием БПЛА.

В этом документе отображается температура наружной поверхности дымовой трубы с обязательным указанием мест привязки (отметок высоты) [1, 12, 16]. Исходя из анализа тер-

мограммы можно установить участки повышенных тепловых потерь по наличию мест с температурными аномалиями.

Для того, чтобы значительно упростить интерпретацию данных тепловизионной съемки, создают панорамную термограмму, полученную в результате сшивки видимого и инфракрасного изображения поверхности дымовой трубы (рис. 3).

Следующим этапом обработки информации, полученной в ходе обследования поверхности дымовой трубы с применением БПЛА, является составление схемы расположения дефектов и повреждений.

На данной схеме указываются вид и геометрические размеры дефектов с указанием мест привязки (отметок высоты) в соответствии с принятой формой обозначения, указанной в нормативно-технической документации (рис. 4) [7, 9, 12].

В завершении процесса обследования дымовой трубы составляется план производства ремонтных работ с указанием объемов работ и применяемых строительных материалов [10, 11, 14].

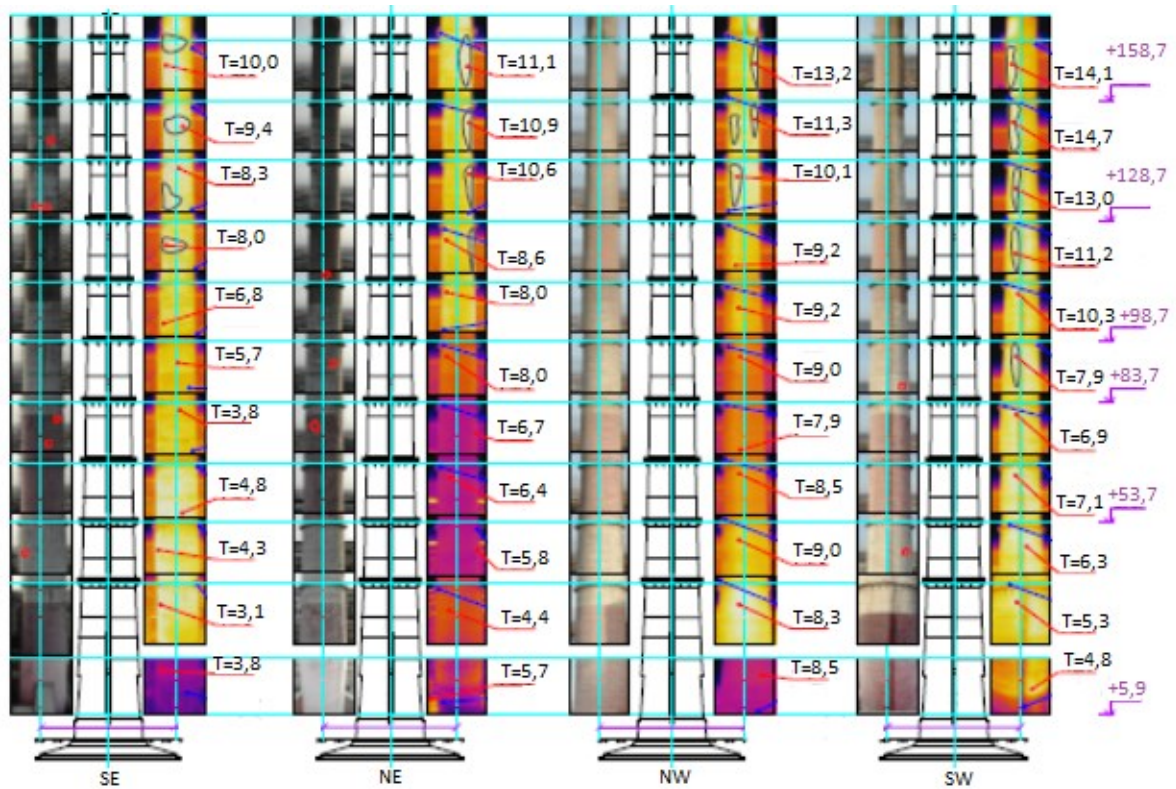


Рис. 3. Панорамная термограмма
Fig. 3. Panoramic thermogram

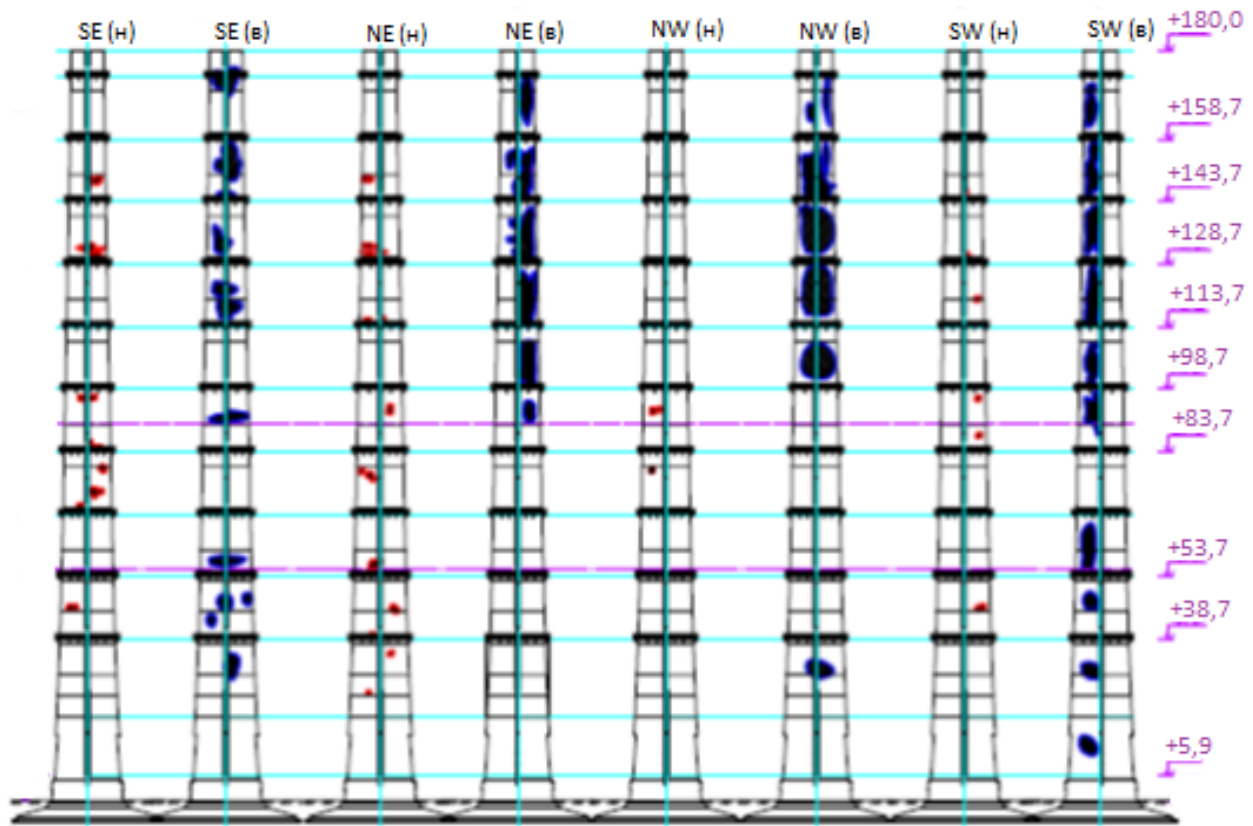


Рис. 4. Схема расположения выявленных дефектов и повреждений
Fig. 4. The layout of the identified defects and damages

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Предлагаемая технология обладает следующими преимуществами:

- значительное снижение рисков – исключается возможность возникновения потенциально опасных ситуаций с участием персонала, таких как работы на высоте, работы в условиях загрязненного воздуха и т. д.;
- минимальное простое оборудование – монтаж элементов системы и проведение осмотров наружной поверхности дымовых труб с помощью БПЛА не требует вывода оборудования из эксплуатации, что приводит к существенной экономии материальных средств;
- автоматизация процесса – исключение человеческого фактора благодаря автоматизации измерений и траектории полета БПЛА;
- сокращение материальных затрат – отсутствуют расходы, связанные с укладкой кабелей для монтажа датчиков системы, а также нет необходимости в устройстве подвесных люлек для проведения осмотров, а, следовательно, в работе монтажников;
- повышение качества мониторинга – возможность проводить большое количество проверок благодаря системе термометрии дымовых труб с помощью датчиков и полетов БПЛА, что позволяет вывести процесс мониторинга на более качественный уровень;

– эффективность использования персонала – контроль системы и проведение полетов БПЛА может осуществлять один специалист (оператор диспетчерского центра);

– устойчивость к помехам – высокая степень защиты от промышленных и бытовых радиопомех системы термометрии и БПЛА благодаря отдельному защищенному радиоканалу;

– интеллектуальность – система оповещает оператора при достижении критических показателей при измерениях и полетах БПЛА, оснащенного дополнительным оборудованием;

– масштабируемость – легкость в добавлении новых модулей для расширения функционала и получения дополнительных данных.

ВЫВОДЫ

Использование предлагаемой технологии применения АБСМ технического состояния дымовых труб с использованием БПЛА позволит значительно сократить издержки времени и материальных ресурсов, а самое главное – вывести процесс мониторинга на более качественный уровень, что позволит обеспечить промышленную безопасность критически важных опасных производственных объектов.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Кавелин А.С., Тютина А.Д., Нуриев В.Э., Колотиенко М.А. Использование тепловизионного метода для обследования зданий и сооружений: обзор // Инженерный вестник Дона. 2019. № 6 (57). С. 11–13. EDN: WGEKMW.
2. Гладких Т.Я., Мигачев А.Н. Использование БПЛА для тепловизионного мониторинга объектов инфраструктуры с целью повышения энергетической эффективности // XIII Всеросс. совещание по проблемам управления, ВСПУ–2019. Сб. трудов XIII Всеросс. совещания по проблемам управления ВСПУ–2019 (г. Москва, 17–20 июня 2019 г.). М., 2019. С. 433–437. <https://doi.org/10.25728/vspu.2019.0433>. EDN: RXUXDN.
3. Halder S., Afsari K. Robots in Inspection and Monitoring of Buildings and Infrastructure: A Systematic Review // Applied Sciences. 2023. Vol. 13. Iss. 4. P. 1–37. <https://doi.org/10.3390/app13042304>.
4. Yi Tan, Silin Li, Hailong Liu, Penglu Chen, Zhixiang Zhou Automatic Inspection Data Collection of Building Surface Based on BIM and UAV // Automation in Construction. 2021. Vol. 131. P. 1–16. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2021.103881>.
5. Ruiz R.D.B., Lordsleem Jr.A.C., Rocha J.H.A., Irizarry J. Unmanned Aerial Vehicles (UAV) as a Tool for Visual Inspection of Building Facades in AEC+FM Industry // Construction Innovation. 2021. Vol. 22. Iss. 4. P. 1155–1170. <https://doi.org/10.1108/CI-07-2021-0129>.
6. Daeho Kim, Meiyin Liu, SangHyun Lee, Vineet R. Kamat Remote Proximity Monitoring between Mobile Construction Resources Using Camera-Mounted UAVs // Automation in Construction. 2019. Vol. 99. P. 168–182. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2018.12.014>.
7. Patel T., Suthar V., Bhatt N. Application of Remotely Piloted Unmanned Aerial Vehicle in Construction Management // Recent Trends in Civil Engineering. 2021. Vol. 77. P. 319–329. https://doi.org/10.1007/978-981-15-5195-6_25.
8. Taj, G.; Anand, S.; Haneefi, A.; Kanishka, R.P.; Mythra, D.H.A. Monitoring of Historical Structures Using Drones // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2020. Vol. 955. P. 1–7. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/955/1/012008>.

9. Keyvanfar A., Shafaghat A., Awanghamat A.M. Optimization and Trajectory Analysis of Drone's Flying and Environmental Variables for 3D Modelling the Construction Progress Monitoring // *International Journal of Civil Engineering*. 2022. Vol. 20. P. 363–388. <https://doi.org/10.1007/s40999-021-00665-1>.
10. Kayhani N., McCabe B., Abdelaal A., Heins A., Schoellig A.P. Tag-Based Indoor Localization of UAVs in Construction Environments: Opportunities and Challenges in Practice // *Proceedings of the Construction Research Congress 2020 (USA, 8–10 March 2020)*. USA, 2020. p. 226–235. <http://doi.org/10.1061/9780784482865.025>.
11. Junda Lyu, Tianyue Zhao, Gang Xu Research on UAV's Fixed-Point Cruise Method Aiming at the Appearance Defects of Buildings // *AIAM2021: 2021 3rd International Conference on Artificial Intelligence and Advanced Manufacture*. 2022. P. 783–787. <https://doi.org/10.1145/3495018.3495157>.
12. Massaro A., Savino N., Selicato S., Panarese A., Galiano A., Dipierro G. Thermal IR and GPR UAV and Vehicle Embedded Sensor Non-Invasive Systems for Road and Bridge Inspections // *Proceedings of the 2021 IEEE International Workshop on Metrology for Industry 4.0 & IoT (MetroInd4.0&IoT) (Rome, 7–9 June 2021)*. Rome, 2021. p. 248–253. <http://doi.org/10.1109/MetroInd4.0IoT51437.2021.9488483>.
13. Yusof H., Ahmad M.A., Abdullah A.M.T. Historical Building Inspection Using the Unmanned Aerial Vehicle (Uav) // *Journal of Sustainable Construction Engineering and Technology*. 2020. Vol. 11. Iss. 3. P. 12–20. <https://doi.org/10.30880/ijscet.2020.11.03.002>.
14. Mirzabeigi S., Razkenari M. Automated Vision-Based Building Inspection Using Drone Thermography // *Proceedings of the Construction Research Congress 2022 (Arlington, 9–12 March 2022)*. Arlington, 2022. p. 737–746. <http://doi.org/10.1061/9780784483961.077>.
15. Xiong Peng, Xingu Zhong, Anhua Chen, Chao Zhao, Canlong Liu Y., Frank Chen Debonding Defect Quantification Method of Building Decoration Layers via UAV-Thermography and Deep Learning // *Smart Structures and Systems*. 2021. Vol. 28. Iss. 1. P. 55–67. <https://doi.org/10.12989/sss.2021.28.1.055>.
16. Rakha T., El Masri Y., Chen K., Panagoulia E., De Wilde P. Building Envelope Anomaly Characterization and Simulation Using Drone Time-Lapse Thermography // *Energy and Buildings*. 2022. Vol. 259. P. 1–14. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2021.111754>.

REFERENCES

1. Kavelin A.S., Tyutina A.D., Nuriev V.E., Kolotienko M.A. Using The Thermal Imaging Method to Examine Buildings and Structures: Review. *Engineering journal of Don*. 2019;6(57):11-13. (In Russ.). EDN: WGEKMOV.
2. Gladkikh T.Ya., Migachev A.N. Using UAVs for Thermal Imaging Monitoring of Infrastructure to Improve Energy Efficiency. In: *XIII Vserossiiskoe soveshchaniye po problemam upravleniya, VSPU–2019. Sbornik trudov XIII Vserossiiskogo soveshchaniya po problemam upravleniya VSPU–2019 = XIII All-Russian Conference On Management Problems, VSPU–2019. Collection of Proceedings of The XIII All-Russian Conference On Management Problems VSPU–2019*. 17–20 June 2019, Moscow. Moscow; 2019. p. 433–437. (In Russ.). <https://doi.org/10.25728/vspu.2019.0433>. EDN: RXUXDN.
3. Halder S., Afsari K. Robots in Inspection and Monitoring of Buildings and Infrastructure: A Systematic Review. *Applied Sciences*. 2023;13(4):1-37. <https://doi.org/10.3390/app13042304>.
4. Yi Tan, Silin Li, Hailong Liu, Penglu Chen, Zhixiang Zhou Automatic Inspection Data Collection of Building Surface Based on BIM and UAV. *Automation in Construction*. 2021;131:1-16. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2021.103881>.
5. Ruiz R.D.B., Lordsleem Jr.A.C., Rocha J.H.A., Irizarry J. Unmanned Aerial Vehicles (UAV) as a Tool for Visual Inspection of Building Facades in AEC+FM Industry. *Construction Innovation*. 2021;22(4):1155-1170. <https://doi.org/10.1108/CI-07-2021-0129>.
6. Daeho Kim, Meiyin Liu, SangHyun Lee, Vineet R. Kamat Remote Proximity Monitoring between Mobile Construction Resources Using Camera-Mounted UAVs. *Automation in Construction*. 2019;99:168-182. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2018.12.014>.
7. Patel T., Suthar V., Bhatt N. Application of Remotely Piloted Unmanned Aerial Vehicle in Construction Management. *Recent Trends in Civil Engineering*. 2021;77:319-329. https://doi.org/10.1007/978-981-15-5195-6_25.
8. Taj G., Anand S., Haneefi A., Kanishka R.P., Mythra D.H.A. Monitoring of Historical Structures Using Drones. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2020;955:1-7. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/955/1/012008>.
9. Keyvanfar A., Shafaghat A., Awanghamat A.M. Optimization and Trajectory Analysis of Drone's Flying and Environmental Variables for 3D Modelling the Construction Progress Monitoring. *International Journal of Civil Engineering*. 2022;20:363-388. <https://doi.org/10.1007/s40999-021-00665-1>.
10. Kayhani N., McCabe B., Abdelaal A., Heins A., Schoellig A.P. Tag-Based Indoor Localization of UAVs in Construction Environments: Opportunities and Challenges in Practice. In: *Proceedings of the Construction Research Congress 2020*. 8–10 March 2020, USA. USA; 2020. p. 226-235. <http://doi.org/10.1061/9780784482865.025>.

11. Junda Lyu, Tianyue Zhao, Gang Xu Research on UAV's Fixed-Point Cruise Method Aiming at the Appearance Defects of Buildings. In: *AIAM2021: 2021 3rd International Conference on Artificial Intelligence and Advanced Manufacture*. 2022. p. 783-787. <https://doi.org/10.1145/3495018.3495157>.
12. Massaro A., Savino N., Selicato S., Panarese A., Galiano A., Dipierro G. Thermal IR and GPR UAV and Vehicle Embedded Sensor Non-Invasive Systems for Road and Bridge Inspections. In: *Proceedings of the 2021 IEEE International Workshop on Metrology for Industry 4.0 & IoT (MetroInd4.0&IoT)*. 7–9 June 2021, Rome. Rome; 2021. p. 248-253. <http://doi.org/10.1109/MetroInd4.0IoT51437.2021.9488483>.
13. Yusof H., Ahmad M.A., Abdullah A.M.T. Historical Building Inspection Using the Unmanned Aerial Vehicle (Uav). *Journal of Sustainable Construction Engineering and Technology*. 2020;11(3):12-20. <https://doi.org/10.30880/ijscet.2020.11.03.002>.
14. Mirzabeigi S., Razkenari M. Automated Vision-Based Building Inspection Using Drone Thermography. In: *Proceedings of the Construction Research Congress 2022*. 9–12 March 2022, Arlington. Arlington, 2022. p. 737–746. <http://doi.org/10.1061/9780784483961.077>.
15. Xiong Peng, Xingu Zhong, Anhua Chen, Chao Zhao, Canlong Liu Y., Frank Chen Debonding Defect Quantification Method of Building Decoration Layers via UAV-Thermography and Deep Learning. *Smart Structures and Systems*. 2021;28(1):55-67. <https://doi.org/10.12989/sss.2021.28.1.055>.
16. Rakha T., El Masri Y., Chen K., Panagoulia E., De Wilde P. Building Envelope Anomaly Characterization and Simulation Using Drone Time-Lapse Thermography. *Energy and Buildings*. 2022;259:1-14. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2021.111754>.

Информация об авторах

Комаров Андрей Константинович,
к.т.н., профессор,
заведующий кафедры строительного
производства,
Иркутский национальный исследовательский
технический университет,
664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83, Россия,
e-mail: komarov@istu.edu
<https://orcid.org/0000-0002-4514-9939>
Author ID: 980919

Кажарский Виталий Владимирович,
к.т.н., доцент кафедры
строительного производства,
Иркутский национальный исследовательский
технический университет,
664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83, Россия,
✉e-mail: Kazharskyw@ex.istu.edu
<https://orcid.org/0009-0008-9164-4843>
Author ID: 334244

Павлов Андрей Михайлович,
магистрант,
Иркутский национальный исследовательский
технический университет
664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83, Россия,
e-mail: Pavloff007@mail.ru

Вклад авторов

Все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Information about the authors

Andrey K. Komarov,
Cand. Sci. (Eng.), Professor,
Head of the Department of Construction
Production,
Irkutsk National Research
Technical University,
83 Lermontov St., Irkutsk 664074, Russia,
e-mail: komarov@istu.edu
<https://orcid.org/0000-0002-4514-9939>
Author ID: 980919

Vitaly V. Kazharsky,
Cand. Sci. (Eng.),
Associate Professor of the Department
of Construction Production,
Irkutsk National Research Technical University,
83 Lermontov St., Irkutsk 664074, Russia,
✉e-mail: Kazharskyw@ex.istu.edu
<https://orcid.org/0009-0008-9164-4843>
Author ID: 334244

Andrey M. Pavlov,
Master's Student,
Irkutsk National Research
Technical University
83 Lermontov St., Irkutsk 664074, Russia,
e-mail: Pavloff007@mail.ru

Contribution of the authors

The authors contributed equally to this article.

Conflict of interests

The authors declare no conflict of interests regarding the publication of this article.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

The final manuscript has been read and approved by all the co-authors.

Информация о статье

Статья поступила в редакцию 26.07.2024.
Одобрена после рецензирования 09.08.2024.
Принята к публикации 12.08.2024.

Information about the article

The article was submitted 26.07.2024.
Approved after reviewing 09.08.2024.
Accepted for publication 12.08.2024.