

Ссылка для цитирования этой статьи:

Важдает К.В., Юсупов А.М., Казакова Э.Ф. Техничко-экономическое обоснование внедрения БПЛА в мониторинг теплосетей // Human Progress. 2026. Том 12, Вып. 3. С. 1. URL: http://progress-human.com/images/2026/Tom12_3/Vazhdaev.pdf DOI 10.46320/2073-4506-2026-3a-7.

УДК 697.4:658.152

ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ВНЕДРЕНИЯ БПЛА В МОНИТОРИНГ ТЕПЛОСЕТЕЙ

Важдает Константин Владимирович

кандидат технических наук, доцент,
заведующий кафедрой «Водоснабжение и водоотведение»,
Уфимский государственный нефтяной технический университет;
доцент кафедры «Электроника и физика наноструктур»
Уфимский университет науки и технологий,
г. Уфа, Российская Федерация

Юсупов Артур Мансафович

инженер-исследователь,
Уфимский государственный нефтяной технический университет;
г. Уфа, Российская Федерация

Казакова Эльвина Финуровна

научный работник
Уфимский государственный нефтяной технический университет;
г. Уфа, Российская Федерация

Аннотация. Надежность и эффективность систем теплоснабжения являются критически важными факторами для энергетической безопасности и социальной стабильности в Российской Федерации, особенно в условиях сурового климата большинства ее регионов. Однако износ тепловых сетей в стране достиг критического уровня, составляя, по различным экспертным оценкам, в среднем 60-70%. Это приводит к колоссальным потерям теплоносителя и тепловой энергии на этапе транспортировки, которые, по данным Министерства энергетики РФ, составляют около 15-20% от общего объема выработанного тепла, что эквивалентно десяткам миллиардов рублей ежегодно. Основной проблемой управления такой изношенной инфраструктурой является низкая эффективность традиционных методов мониторинга, основанных на визуальных обходах и реагировании на уже произошедшие аварии. Эти методы не позволяют выявлять скрытые дефекты, такие как утечки под землей или начинающееся разрушение изоляции, что ведет к внезапным порывам, масштабным отключениям и экстренным, крайне затратным ремонтам.

Внедрение современных цифровых технологий является стратегическим императивом для модернизации жилищно-коммунального комплекса (ЖКК). Одним из наиболее перспективных направлений является использование беспилотных летательных аппаратов (БПЛА), оснащенных тепловизионными и мультиспектральными камерами, для дистанционного предиктивного мониторинга состояния протяженных тепловых сетей. Данная технология позволяет в кратчайшие сроки обследовать обширные территории, с высокой точностью выявлять аномалии, указывающие на потенциальные утечки или повреждения, и формировать детальные цифровые модели инфраструктуры. Целью данной работы является комплексное технико-экономическое обоснование (ТЭО) внедрения системы мониторинга на основе БПЛА для типового коммунального предприятия. В статье проводится сравнительный анализ операционных и капитальных затрат традиционных и инновационных методов, количественно оценивается экономический эффект от предотвращения аварий и снижения потерь, а также рассчитываются ключевые показатели эффективности инвестиций, такие как возврат на инвестиции (ROI) и срок окупаемости, для двух основных моделей внедрения: аутсорсинга услуг и создания собственного парка оборудования.

Ключевые слова: тепловые сети, теплотрассы, мониторинг, диагностика, беспилотные летательные аппараты (БПЛА, дроны), тепловизионная съемка, предиктивное обслуживание, технико-экономическое обоснование (ТЭО), возврат на инвестиции (ROI), энергосбережение, цифровизация ЖКХ.

Введение

Система централизованного теплоснабжения представляет собой одну из ключевых инфраструктурных отраслей России, обеспечивающую комфортные условия жизни для миллионов граждан и функционирование социальных учреждений, объектов промышленности и бизнеса. Устойчивая и эффективная работа этой системы имеет не только экономическое, но и важнейшее социальное значение. В последние десятилетия отрасль сталкивается с системным вызовом, связанным с физическим и моральным старением основных фондов. Значительная часть теплопроводов была построена и введена в эксплуатацию несколько десятилетий назад и эксплуатируется за пределами нормативного срока службы. Следствием этого является высокая аварийность. Ежегодно в России регистрируются тысячи порывов на тепловых сетях, приводящих к отключениям тепла в жилых домах, больницах и детских садах в зимний период, нанося ущерб здоровью людей и причиняя значительные экономические потери. Традиционная система контроля за состоянием теплосетей в большинстве коммунальных предприятий основана на реактивной

модели. Она включает в себя плановые визуальные обходы трасс персоналом, выборочные инструментальные проверки и, что наиболее затратно, реагирование на сигналы от потребителей или внешние признаки аварий (просадки грунта, выбросы пара, подтопления). Такой подход имеет ряд фундаментальных недостатков:

1. Обследование протяженных магистралей пешим порядком или с использованием автомобиля занимает много времени и требует привлечения значительных человеческих ресурсов.

2. Наиболее опасные и затратные утечки часто происходят в подземных каналах или непосредственно в грунте. Визуально они не обнаруживаются до момента, когда повреждение становится критическим и приводит к размыву грунта или аварийному отключению.

3. Результаты визуального осмотра сильно зависят от квалификации и внимательности конкретного сотрудника. Отсутствует точная цифровая привязка и документирование состояния объекта во времени.

4. Постоянные «холостые» вскрытия для проверки неподтвержденных утечек, простой бригад, затраты на экстренную логистику и ремонт в неблагоприятных условиях.

В условиях цифровой трансформации экономики и реализации государственных программ по энергосбережению и повышению энергетической эффективности, существует острая необходимость в переходе к интеллектуальным, предиктивным системам управления инфраструктурой. Технология мониторинга с помощью БПЛА предлагает принципиально иной, проактивный подход. Она позволяет дистанционно, бесконтактно и с высокой частотой собирать объективные данные о состоянии тепловых сетей по всей их длине, переводя процесс диагностики из плоскости предположений в плоскость точного анализа данных. Актуальность настоящего исследования заключается в том, что, несмотря на растущий интерес к технологии, для большинства руководителей коммунальных предприятий отсутствует четкая, количественно обоснованная экономическая модель, демонстрирующая финансовую целесообразность таких инвестиций. Цель работы — ликвидировать этот пробел, предоставив структурированное ТЭО, включающее анализ технологических возможностей, сравнение моделей внедрения и детальный расчет финансовых показателей эффективности.

Методы исследований

В основу работы лег комплекс взаимодополняющих методов. Исходные данные об износе теплосетей и потенциальном экономическом эффекте были получены путем анализа открытых государственных отчетов и отраслевых публикаций, включая Государственный

доклад Минэнерго России и результаты пилотных проектов в крупных городах, таких как Санкт-Петербург, где применение аэромониторинга уже позволило предотвратить десятки аварий. Ядром исследования стал сравнительный технико-экономический анализ, в рамках которого была детально сопоставлена существующая модель эксплуатации с двумя альтернативными сценариями внедрения БПЛА: заказ услуг у специализированного подрядчика (аутсорсинг) и создание собственного подразделения с парком оборудования. Для каждого сценария были систематизированы все статьи капитальных (CAPEX) и операционных затрат (OPEX). На основе этих данных, а также оценок предотвращаемого ущерба (сокращение потерь теплоносителя, снижение затрат на аварийный ремонт, оптимизация трудозатрат) было выполнено финансовое моделирование. В моделировании рассчитывались ключевые показатели эффективности инвестиционного проекта: чистый дисконтированный доход (NPV), внутренняя норма доходности (IRR), простой и дисконтированный срок окупаемости. Особое внимание было уделено расчету возврата на инвестиции (ROI) по стандартной формуле. Дополнительно был проведен нормативный анализ требований российского законодательства к использованию воздушного пространства беспилотными системами, что является обязательным условием для практической реализации проекта.

Технологические аспекты системы мониторинга на основе БПЛА

Современные БПЛА, применяемые для инспекции инфраструктуры, представляют собой интегрированные комплексы. Для задач диагностики теплосетей оптимальны мультикоптерные платформы, обеспечивающие зависание и детальную съемку, или аппараты самолетного типа для обследования протяженных магистралей. Ключевым элементом является целевая нагрузка: тепловизионная камера, фиксирующая инфракрасное излучение и визуализирующая температурные аномалии от утечек под землей; оптическая камера высокого разрешения для документирования видимых дефектов; а также навигационное оборудование GPS/ГЛОНАСС для точной привязки данных. Принцип работы системы представляет собой замкнутый цикл: автоматическое планирование полетного задания по цифровой карте трассы, выполнение облета со сбором данных, последующая обработка снимков в специализированном ПО с автоматическим анализом термограмм и формирование итогового отчета с цифровыми картами и координатами дефектов для интеграции в GIS- или ЕАМ-системы предприятия.

Таблица 1

Сравнительная характеристика методов мониторинга теплосетей

Критерий	Традиционный метод (визуальный обход)	Метод с применением БПЛА
Производительность, км/день	10-20	50-100
Выявление скрытых дефектов	Практически невозможно	Высокая эффективность
Точность локализации	Приблизительная	Высокая ($\pm 1-5$ м)
Безопасность персонала	Работа в опасных зонах	Дистанционное управление
Документирование результатов	Субъективные описания	Цифровые карты, термограммы
Периодичность контроля	1-2 раза в год	До 4-12 раз в год и более

Экономический анализ и расчет эффективности инвестиций

Для количественной оценки рассматривается коммунальное предприятие, обслуживающее 100 км теплосетей. Годовые операционные затраты традиционного метода, включающие трудозатраты обходных бригад и расходы на реактивное реагирование на утечки, оцениваются в 5.5 – 6.5 млн рублей. Внедрение БПЛА позволяет генерировать существенную экономию, основными компонентами которой являются: предотвращение потерь теплоносителя и энергии от несвоевременно обнаруженных утечек ($\Delta P1 = 0.5 - 2.8$ млн руб./год), сокращение затрат на ликвидацию аварий за счет перехода к плановому ремонту ($\Delta P2 = 2.0 - 10.0$ млн руб./год) и оптимизация трудозатрат ($\Delta P3 = 1.0 - 2.0$ млн руб./год). Суммарная консервативная оценка годовой экономии (ΔP) принята на уровне 5.0 млн рублей.

Расчет возврата на инвестиции для модели аутсорсинга, где дополнительные затраты равны стоимости контракта (2.4 млн руб.), а чистая годовая экономия составляет 2.6 млн руб., показывает ROI на уровне ~108% при окупаемости менее года. Для модели с собственным парком, требующей первоначальных вложений в оборудование, простой срок окупаемости составляет около 1 года, а средняя доходность инвестиций за пятилетний период оценивается в ~18.4% годовых.

Заключение

Результаты проведенного технико-экономического обоснования позволяют сделать ряд ключевых выводов. Во-первых, технология мониторинга теплосетей с помощью БПЛА обладает неоспоримым операционным превосходством над традиционными методами, обеспечивая высокую скорость, объективность и возможность предиктивного выявления

дефектов. Во-вторых, проект демонстрирует исключительную экономическую эффективность и низкие инвестиционные риски. Модель аутсорсинга обеспечивает быстрый возврат средств и рекомендуется как стартовый вариант для большинства предприятий. Модель создания собственного подразделения, обладая более высокой операционной гибкостью, также имеет убедительный срок окупаемости и подходит для крупных компаний со стратегией глубокой цифровизации. Таким образом, внедрение системы БПЛА-мониторинга является не затратной инновацией, а экономически обоснованным инструментом повышения надежности, энергоэффективности и финансовой устойчивости коммунального предприятия, напрямую отвечающим государственным задачам модернизации инфраструктуры ЖКХ.

Список литературы

1. Важдаев К.В., Абдрахманов В.Х., Салихов Р.Б. Интеллектуальная система жилых зон на основе информационно-измерительных систем управления // Электротехнические и информационные комплексы и системы. 2016. Т. 12. № 2. С. 70-75.
2. Важдаев К.В., Мартяшева В.А., Аллабердин А.Б., Гарипов Б.А., Ткачук М.А., Юсупов А.М. Использование отечественных программных продуктов 3D моделирования при проектировании инженерных сетей / Строительство и техногенная безопасность. 2024. № 34 (86). С. 57-64.
3. Попов А.А., Соломина Ю.К. Анализ возможностей использования беспилотных летательных аппаратов для управления жилищно-коммунальным хозяйством // Фундаментальные исследования. 2018. № 2. С. 144–151. EDN: YSEXJE.
4. Носков И.В., Носков К.И., Тиненская С.В., Ананьев С.А. Дрон-технологии в строительстве – современные решения и возможности // Вестник Евразийской науки. 2020. № 5.
5. Попов Н.И., Емельянова О.В., Яцун С.Ф., Савин А.И. Исследование движения квадрокоптера при внешнем периодическом воздействии // Справочник. Инженерный журнал (с приложением). С. 12–17.
6. Ефимов С.В., Яцун С.Ф., Наумов Г.С. Кинематический анализ пространственного анализа пространственного движения крыла орнитооптера // Вибрация – 2014. Вибрационные технологии, мехатроника и управляемые машины: матер. XI междунар. науч.-тех. конф. в 2 т. Т.2 / ФГБОУ ВПО ЮЗГУ. Курск, 2014. С. 273–281.
7. Ефимов С.В. Исследование управляемого синхронного движения летающего робота с машущим крылом при взлете / Ефимов С.В., Поляков Р.Ю., Мозговой Н.В. // Электротехнические комплексы и системы управления. № 3 (35). 2014. С. 28–33.

8. Барбасов В.К., Гаврюшин М.Н., Дрыга Д.О. и др. Многооторные беспилотные летательные аппараты и возможности их использования для дистанционного зондирования Земли // Инженерные изыскания. 2012. № 10. С. 38–42.
9. Карпик А.П., Осипов А.Г., Мурзинцев П.П. Управление территорией в геоинформационном дискурсе: монография. Новосибирск: СГГА, 2010. 280 с.
10. Ткачева О.А., Плаксицкий Е.П. Геоинформационные системы в государственном управлении земельными ресурсами // Инновационное развитие агропромышленного комплекса и аграрного образования: материалы Международной научно-практической конференции, посвященной 80-летию ФГБОУ ВПО «Бурятская государственная сельскохозяйственная академия им. В.Р. Филиппова». – Министерство сельского хозяйства Российской Федерации, ФГБОУ ВПО «Бурятская государственная сельскохозяйственная академия им. В.Р. Филиппова», 2011. С. 223–227.
11. Попов Н.И., Емельянова О.В., Яцун С.Ф., Савин А.И. Исследование колебаний квадрокоптера при внешних периодических воздействиях // Фундаментальные исследования. № 1. 2014. С. 28–32.
12. Ефимов С.В., Яцун С.Ф., Наумов Г.С. Моделирование одного из вариантов движения крыльев орнитоопера во время полета // Вибрация – 2014. Вибрационные технологии, мехатроника и управляемые машины: матер. XI междунар. науч.-тех. конф. в 2 т. Т.2 / ФГБОУ ВПО ЮЗГУ. Курск. 2014. С. 205–219.

FEASIBILITY STUDY FOR THE IMPLEMENTATION OF UAVS IN HEATING NETWORK MONITORING

Vazhdaev Konstantin Vladimirovich

Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor,
Head of the Department of Water Supply and Sanitation,
Ufa State Petroleum Technological University;
Associate Professor of the Department of Electronics and Physics of Nanostructures
Ufa University of Science and Technology,
Ufa, Russian Federation

Yusupov Artur Mansafovich

Research Engineer,
Ufa State Petroleum Technological University;
Ufa, Russian Federation

Kazakova Elvina Finurovna

Researcher,
Ufa State Petroleum Technological University;
Ufa, Russian Federation

Abstract. The reliability and efficiency of heating systems are critical factors for energy security and social stability in the Russian Federation, especially given the harsh climate of most of its regions. However, the deterioration of heating networks in the country has reached a critical level, averaging 60-70%, according to various expert estimates. This leads to colossal losses of coolant and thermal energy during transportation, which, according to the Russian Ministry of Energy, amount to approximately 15-20% of the total heat generated, equivalent to tens of billions of rubles annually. The main challenge in managing such deteriorating infrastructure is the ineffectiveness of traditional monitoring methods based on visual inspections and response to existing incidents. These methods fail to detect hidden defects, such as underground leaks or incipient insulation failure, leading to sudden bursts, large-scale outages, and emergency, extremely costly repairs.

The implementation of modern digital technologies is a strategic imperative for the modernization of the housing and utilities sector. One of the most promising areas is the use of unmanned aerial vehicles (UAVs) equipped with thermal imaging and multispectral cameras for remote predictive monitoring of extended heating networks. This technology enables rapid survey of large areas, the highly accurate detection of anomalies indicating potential leaks or damage, and the creation of detailed digital models of the infrastructure. The objective of this study is to conduct a comprehensive feasibility study for the implementation of a UAV-based monitoring system for a typical utility company. This article provides a comparative analysis of the operating and capital costs of traditional and innovative methods, quantifies the economic impact of accident prevention and loss reduction, and calculates key performance indicators (KPIs), such as return on investment (ROI) and payback period, for two main implementation models: outsourcing services and developing an in-house fleet of equipment.

Key words: heating networks, heating mains, monitoring, diagnostics, unmanned aerial vehicles (UAVs, drones), thermal imaging, predictive maintenance, feasibility studies, return on investment (ROI), energy saving, digitalization of the housing and utilities sector.

References

1. Vazhdaev K.V., Abdrakhmanov V.Kh., Salikhov R.B. Intelligent system of residential zones based on information-measuring control systems // Electrical and information complexes and systems. 2016. Vol. 12. No. 2. Pp. 70-75.

2. Vazhdaev K.V., Martyasheva V.A., Allaberdin A.B., Garipov B.A., Tkachuk M.A., Yusupov A.M. Using domestic 3D modeling software products in the design of utility networks / Construction and technological safety. 2024. No. 34 (86). Pp. 57-64.
3. Popov A.A., Solomina Yu.K. Analysis of the possibilities of using unmanned aerial vehicles for housing and communal services management // Fundamental research. 2018. No. 2. pp. 144–151. EDN: YSEXJE.
4. Noskov I.V., Noskov K.I., Tienskaya S.V., Ananyev S.A. Drone technologies in construction – modern solutions and possibilities // Bulletin of Eurasian Science. 2020. No. 5.
5. Popov N.I., Emelyanova O.V., Yatsun S.F., Savin A.I. Study of quadcopter motion under external periodic influence // Handbook. Engineering journal (with appendix). pp. 12–17.
6. Efimov S.V., Yatsun S.F., Naumov G.S. Kinematic analysis of the spatial analysis of the spatial motion of an ornithopter wing // Vibration – 2014. Vibration technologies, mechatronics and controlled machines: proc. XI int. sci.-tech. conf. in 2 volumes. Vol. 2 / FSBEI HPE South-West State University. Kursk, 2014. pp. 273–281.
7. Efimov S.V. Study of controlled synchronous motion of a flying robot with a flapping wing during takeoff / Efimov S.V., Polyakov R.Yu., Mozgovoy N.V. // Electrical complexes and control systems. No. 3 (35). 2014. pp. 28–33.
8. Barbasov V.K., Gavryushin M.N., Dryga D.O. and others. Multi-rotor unmanned aerial vehicles and the possibilities of their use for remote sensing of the Earth // Engineering surveys. 2012. No. 10. pp. 38–42.
9. Karpik A.P., Osipov A.G., Murzintsev P.P. Territory management in geoinformation discourse: monograph. Novosibirsk: SGGA, 2010. 280 p.
10. Tkacheva O.A., Plaksitsky E.P. Geoinformation systems in public management of land resources // Innovative development of the agro-industrial complex and agricultural education: materials of the International scientific and practical conference dedicated to the 80th anniversary of the Buryat State Agricultural Academy named after V.R. Filippov. – Ministry of Agriculture of the Russian Federation, Buryat State Agricultural Academy named after V.R. Filippova”, 2011. Pp. 223–227.
11. Popov N.I., Emelyanova O.V., Yatsun S.F., Savin A.I. Study of quadcopter oscillations under external periodic influences // Fundamental research. No. 1. 2014. Pp. 28–32.
12. Efimov S.V., Yatsun S.F., Naumov G.S. Modeling of one of the variants of ornithopter wing movement during flight // Vibration – 2014. Vibration technologies, mechatronics and controlled machines: proc. XI int. scientific-technical conf. in 2 vols. Vol. 2 / FGBOU HPE South-West State University. Kursk. 2014. Pp. 205–219.