

Перспективы мониторинга состояния тепловых сетей путем тепловизионного обследования*

DOI: <http://dx.doi.org/10.18796/0041-5790-2022-S12-149-154>

Существующие методы мониторинга трубопроводного хозяйства имеют значительные ограничения по сложности, стоимости, что затрудняет их использование для контроля состояния городских тепловых сетей. В работе рассматриваются аэрофотосъемки и тепловизионные съемки для мониторинга надземных тепловых сетей города Кемерово. В ходе исследования был получен цифровой двойник надземных тепловых сетей в видимом и инфракрасном спектрах. Данные тепловизионной съемки позволяют идентифицировать участки сетей с повышенной температурой, соответствующей разным степеням повреждений труб и их изоляции. В результате проведенных работ собственнику тепловых сетей была предоставлена полная информация по температурным аномалиям труб с указанием точных географических координат. Это позволило значительно быстрее и эффективнее планировать ремонты, поскольку отпадает необходимость в сплошном обследовании труб, можно анализировать только уже выявленные проблемные участки.

Ключевые слова: сканирование объекта, тепловые сети, утечки тепла, тепловизионная съемка, беспилотное воздушное судно, геоинформационные системы, цифровое управление, разработка программного обеспечения.

Для цитирования: Перспективы мониторинга состояния тепловых сетей путем тепловизионного обследования / А.О. Рада, А.Д. Кузнецов, Р.Е. Зверев и др. // Уголь. 2022. № 512. С. 149-154. DOI: <http://dx.doi.org/10.18796/0041-5790-2022-S12-149-154>.

ВВЕДЕНИЕ

Традиционной особенностью жилищно-коммунального хозяйства России является централизованное производство горячей воды и пара для бытовых, производственных нужд на крупных тепловых электростанциях или в котельных. Такой подход к теплофикации городов позволяет снизить себестоимость тепловой энергии для потребителей, утилизировать отводимое от электростанций тепло, обеспечить надежное, сравнительно дешевое теплоснабжение. Одновременно с этим возникает необходимость мониторинга состояния тепловых сетей большой протяжен-

РАДА А.О.

Канд. экон. наук,
директор Института цифры
ФГБОУ ВО «Кемеровский
государственный университет»,
650000, г. Кемерово, Россия,
e-mail: rada.ao@kemsu.ru

КУЗНЕЦОВ А.Д.

Директор Центра компьютерного инжиниринга
Института цифры ФГБОУ ВО «Кемеровский
государственный университет»,
650000, г. Кемерово, Россия,
e-mail: adkuz@inbox.ru

ЗВЕРЕВ Р.Е.

Аспирант, специалист по управлению БПЛА
Центра компьютерного инжиниринга
Института цифры ФГБОУ ВО «Кемеровский
государственный университет»,
650000, г. Кемерово, Россия,
e-mail: r.zverev@i-digit.ru

АКУЛОВ А.О.

Канд. экон. наук, доцент кафедры «Менеджмент»
Института экономики и управления им. И.П. Поварича,
ФГБОУ ВО «Кемеровский государственный университет»,
650056, г. Кемерово, Россия,
e-mail: akuanatolij@yandex.ru

* Работа выполнена в рамках Соглашения № 075-15-2022-1195 от 30.09.2022, заключенного между Министерством науки и высшего образования Российской Федерации и федеральным государственным бюджетным образовательным учреждением высшего образования «Кемеровский государственный университет».

ности, расположенных на значительных площадях. Например, в таком областном центре, как Кемерово, протяженность тепловых сетей составляет около 1 тыс. км (в одно-трубном исчислении).

Учитывая существенную изношенность сетей, часть которых построена еще в советское время, велика вероятность возникновения аварий и повреждений, возникает научно-техническая задача мониторинга данных объектов. При этом крайне желательно не просто своевременно реагировать на нарушения в работе тепловых сетей и утечки тепла, но и превентивно выявлять возможные проблемы. Опережающий подход дает возможность снизить размеры ущерба, не допускать перебоев в теплоснабжении, предотвращать утечки тепловой энергии и финансовые потери. Для реализации такого подхода нужны адекватные технологические решения, отвечающие критериям скорости, надежности, а также экономичности с точки зрения финансовых и трудовых затрат.

Мировой опыт свидетельствует, что задачи мониторинга состояния различных объектов инфраструктуры с высокой точностью информации при приемлемом уровне затрат успешно решаются на основе цифровых технологий, создания цифровых двойников. Базовым приемом создания цифрового двойника реального объекта часто выступает съемка с беспилотного воздушного судна (БВС), которая может быть традиционной визуальной и (или) тепловизионной в инфракрасном спектре. Результаты съемки используются для оценки состояния объекта и принятия соответствующих решений с высоким качеством и скоростью.

В литературе описаны технологии цифрового мониторинга на основе съемки с БВС для решения самого широкого круга задач. Например, определение состояния сельскохозяйственных культур [1], уточнение кадастровых данных, идентификация объектов недвижимости [2], наблюдение за горными работами [3], поиск мест аварий на высоковольтных линиях электропередачи в труднодоступных районах [4], планирование рекультивации земель на нарушенных горными работами территориях [5], прогнозирование и контроль самовозгораний отвалов отработанной породы [6] и др. Представляется, что технология съемки с БВС для контроля состояния таких линейных объектов, как тепловые трассы, также имеет определенные перспективы в силу скорости, полноты получения информации, приемлемой стоимости.

ОБЗОР МЕТОДОВ ОБСЛЕДОВАНИЯ И МОНИТОРИНГА СЕТЕВОГО ХОЗЯЙСТВА

Наиболее распространенными методами диагностики трубопроводов и тепловых сетей в настоящее время являются акустическая эмиссия, ультразвуковое сканирование, магнитная томография, внутритрубная диагностика [7, 8, 9, 10]. Акустическая эмиссия используется для поиска поврежденных и разрушенных участков труб (по преимуществу по причине коррозии). Вследствие наличия изоляции на трубах тепловых сетей, а также в случае их подземного размещения непосредственное визуальное наблюдение очагов коррозии затруднено или невозможно. Поэтому участок трубы может постепенно разрушаться, а собственник сетей узнает об этом лишь после аварии. Метод

же акустической эмиссии разработан для оценки состояния трубы без снятия изоляции и прекращения перекачки по ней полезного продукта.

Данный метод основан на принципе изменения акустических волн при их прохождении через участки металла, имеющие трещины и другие нарушения целостности. Аппаратный комплекс включает датчики, регистрирующие акустические волны, усилители сигнала, кабели, устройства сбора данных. Пьезоэлектрические датчики преобразуют локальное динамическое смещение материала, вызванное волной напряжения, в электрический сигнал. Далее устройство сбора данных выполняет аналогово-цифровое преобразование сигналов, фильтрацию, идентификацию полезных сигналов (т.е. искажений прохождения волн, вызванных нарушениями целостности материала труб), расшифровку данных и их выдачу пользователю.

Данный метод позволяет вести неразрушающий контроль труб без их вскрытия и снятия изоляции на участках до сотен метров за один сеанс обследования, поскольку доступ к трубе нужен только для установки датчиков [11]. Соответственно, на всем исследуемом участке могут быть обнаружены трещины, очаги коррозии, утечки, пока они еще не повлекли серьезной аварии. Техническим ограничением использования метода является в ряде случаев трудность выделения, идентификации полезных сигналов в условиях помех. Иными словами, результаты акустической эмиссии не всегда безошибочны, возможны как пропуск поврежденных участков, так и ложное обнаружение неисправностей.

Также для неразрушающего контроля труб применяется ультразвуковое сканирование. Принцип действия основан на направлении высокочастотных ультразвуковых направленных волн к объекту диагностики и последующем анализе изменения их колебаний. Пересекая границу металла, например с воздухом, волна отразится от этой границы и вернется к источнику. На основании этого судят о нарушении целостности объекта. Аппаратный комплекс для ультразвукового сканирования включает сканер, устройство сбора данных и визуализации, источник питания, датчики, ультразвуковые преобразователи [12].

Возможны два варианта сканирования – отражение и затухание. При использовании режима отражения преобразователь отправляет и принимает импульсные волны таким образом, что отраженная волна достигает стенки трубы либо повреждения в ней и возвращается обратно к источнику. Устройство сбора данных выводит результат сканирования в виде сигнала с амплитудой, отражающей интенсивность и время прибытия отраженной волны. В режиме затухания передатчик отправляет волну через поверхность, а приемник фиксирует ее на другой поверхности после прохождения через металл трубы. Если он имеет повреждения, то количество переданного звука будет меньше.

Ультразвуковое сканирование обладает такими преимуществами, как высокая проникающая способность и чувствительность, значительная точность, возможность определения конкретных характеристик дефекта. В то же время метод весьма требователен к квалификации исполнителей, требует специальной подготовки поверхности (очистки, удаления краски). Ультразвуковое сканирование тем сложнее, чем меньше размер дефектов. Кроме того, оба рассмо-

тренных метода построены на аналоговых технологиях, а также связаны с большими трудозатратами.

Магнитная томография основана на взаимосвязи параметров магнитного поля трубопровода с уровнем механических напряжений в металле трубы. На трубопроводы устанавливаются специальные бесконтактные датчики, которые отслеживают механические напряжения в режиме реального времени. Данный метод имеет ряд преимуществ – высокая точность и производительность, полнота диагностики, возможность держать состояние труб под полным контролем, возможность автоматизации, работа в зонах любой длины сколь угодно долгий промежуток времени. Однако этот метод связан с очень высокими затратами и фактически используется только для важнейших объектов, таких как магистральные нефтепроводы и газопроводы [13].

Также возможно использование внутритрубных дефектоскопов – роботов с комплексом модулей неразрушающего контроля (ультразвуковых, лазерных, акустических). Это значительно повышает качество обследования за счет одновременного использования ряда методов, построенных на разных физико-технических принципах, но, как и в предыдущем случае, требует значительных затрат. Дефектоскопы также применяются по преимуществу на магистральных трубопроводах.

Значительную перспективу, на взгляд авторов, имеет использование тепловизионной съемки с БВС для выявления участков теплотрасс с аномальными потерями. Такая съемка дает возможность преобразовать тепловое излучение от наблюдаемых объектов в визуальное изображение и выявить участки с повышенной температурой. Соответственно, при тепловизионном обследовании труб могут быть обнаружены участки с большой интенсивностью теплового излучения, то есть места разрушений, утечек, коррозии. Тепловизионная съемка различных объектов для поиска и устранения утечек тепловой энергии сейчас достаточно широко распространена на практике, но проводится вручную, что требует больших затрат труда. Для мониторинга таких протяженных объектов, как тепловые сети крупного города, необходимо использовать БВС для быстрой и дешевой съемки, а также соответствующее программное обеспечение для интерпретации результатов.

ТЕПЛОВИЗИОННОЕ ОБСЛЕДОВАНИЕ НАДЗЕМНЫХ ТЕПЛОТРАСС В ГОРОДЕ КЕМЕРОВО

Тепловизионное обследование надземных теплотрасс города Кемерово проводилось нами в следующей последовательности. Первоначально был составлен ортофотоплан с векторным слоем, отражающим расположение надземных тепловых сетей посредством съемки с БВС «DJI Mavic Pro 2». Были уточнены расположение, конфигурация около 130 км надземных тепловых сетей. Пример соответствующего ортофотоплана представлен на рис. 1.

Векторный слой надземных тепловых сетей далее был наложен на топографическую карту города Кемерово. Этот этап работы был необходим потому, что имеющиеся сведения о расположении сетей содержали определенные ошибки, неточности вследствие несвоевременного обновления данных, «человеческого фактора» и других причин. Составление ортофотоплана дало возможность точного планирования тепловизионной съемки для выявления утечек, нарушений изоляции, проблемных участков сетей. Целью проводимой работы было создание тепловой карты надземных сетей в картографической проекции, позволяющей выявить утечки тепла и разрушения труб.

Тепловизионная съемка проводилась на высоте 100–150 м (в зависимости от конкретных условий) поздней осенью, в такой период, когда тепловые сети уже находятся в рабочем режиме (отопление запущено), но снежный покров еще отсутствует. Для исключения искажающего эффекта солнечной инсоляции полеты проводились либо в ночное время, либо в дни, когда наблюдалась высокая облачность.

Для съемки в исследовании использовались БВС типа «квадрокоптер» «DJI Matrice 210 RTK» и тепловизионная камера «Zemuse XT ZXTA13SP», основным элементом которой является микроболометр на основе ванадия без охлаждения. Данная камера позволяет получить снимки для определения температуры на каждом участке трубы. В ходе исследования был запланирован маршрут БВС, управление на маршруте проводилось по координатам GPS с обменом информацией в режиме реального времени. При заходе на каждый новый маршрут начиналась тепловизионная съемка, ее результаты записывались и



Граничные значения тепловых потерь для оценки состояния тепловых сетей

Boundary values of heat losses to assess the condition of heat supply networks

Тип потерь	Потери тепла, процентов	Интерпретация
Нормальные тепловые потери	5–10	Сухая и цельная изоляция трубопроводов, минимальный тепловой поток от теплоносителя к поверхности земли. Нормальная ситуация, не требующая от эксплуатанта дальнейших действий
Увеличенные тепловые потери	10–15	Мокрая или поврежденная изоляция трубопроводов, которая способствует зарождению коррозионных повреждений; в тепловом поле могут отображаться четкая аномалия среднего уровня яркости и увеличенная ширина теплового следа. Необходимо запланировать ремонтные работы
Высокие тепловые потери	15–20	Поврежденная и влажная изоляция трубопроводов, канал часто заполняется водой из соседних водопроводов с грунтовыми или тальными водами; в тепловом поле отображается высококонтрастная аномалия с шириной, в несколько раз превышающей норму. Необходимы ремонтные работы
Аварийное состояние	более 20	Аномалии теплового поля имеют очень высокую контрастность и широкую нечеткую форму из-за особенностей микрорельефа. Требуется незамедлительный ремонт

передавались в центр управления. Там они обрабатывались с применением специального программного обеспечения. Далее материалы съемки дешифровались (интерпретировались) для выделения тепловых аномалий, их привязки к географическим координатам. Все аномалии были нанесены на картографическую основу. Для интерпретации тепловых аномалий использован подход, изложенный в [14] (см. таблицу).

В результате съемок были получены снимки, четко иллюстрирующие температуру надземных труб теплоснабжения, окружающей обстановки, показывающие наличие или отсутствие тепловых аномалий. На рис. 2 приведен пример первичного снимка (в инфракрасном спектре) в левой части рисунка и визуальная интерпретация с окраской, соответствующей тепловым потерям. Видно, что трубопровод «светится», т.е. имеет недостаточную теплоизоляцию в ряде мест, а один из его участков имеет серьезные коррозионные повреждения.

На рис. 3, 4 можно видеть примеры исходных тепловизионных снимков (левая часть рисунков) и их интерпретации в видимом спектре (правая часть рисунков), что позволяет выявить тепловые аномалии. На рис. 3 при этом представлен пример нормального состояния участка надземной тепловой сети, на рис. 4 – пример обнаружения опасной ситуации с существенными дефектами изоляции, что влечет необходимость проведения ремонтных работ.

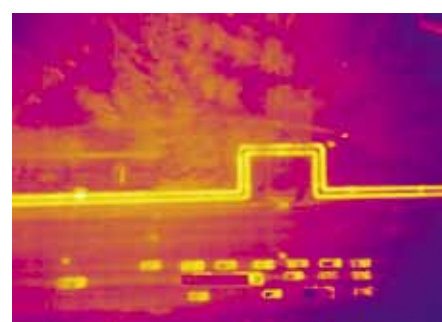
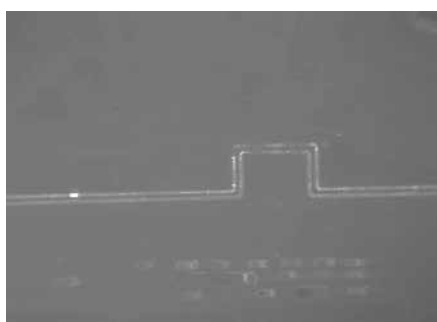


Рис. 2. Пример тепловизионного снимка трубопровода

Fig. 2. An example of a thermal image of a pipeline

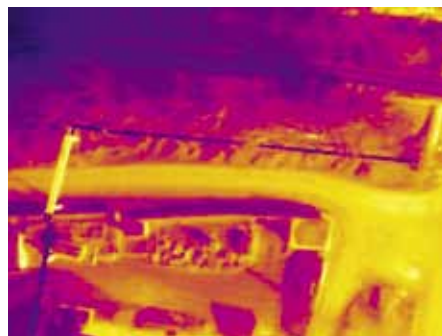


Рис. 3. Пример тепловизионного снимка трубопровода

в нормальном техническом состоянии

Fig. 3. An example of a thermal image of a pipeline in normal technical condition

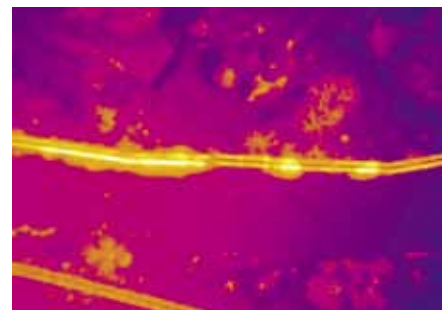


Рис. 4. Пример тепловизионного снимка трубопровода с дефектами изоляции, требующими ремонта

Fig. 4. An example of a thermal image of a pipeline with insulation defects that need to be fixed

Как видно из приведенных данных, тепловизионная съемка позволяет выявить участки надземных тепловых сетей с тепловым излучением интенсивнее нормального уровня и тем самым определить, где требуются ремонтные работы (сварочные, замена фрагментов труб, восстановление изоляции и т.п.). Кроме того, по результатам исследования на ортофотоплане создан векторный слой с маркерами, отражающими интенсивность теплового излучения на каждом пикселе участка тепловых трасс (см. рис. 1). Разные цвета маркеров соответствуют разным уровням утечки тепла (например, красный – максимальные потери, требующие быстрого реагирования). Наряду с этим каждый маркер содержит данные о времени и дате съемки, температуре окружающей среды.

Все эти данные были загружены в веб-приложение в форме геоинформационной системы, содержащей снимок и другие сведения по каждому участку надземной тепловой трассы. Приложение использовано предприятием теплосетевого хозяйства для планирования профилактических осмотров и ремонтов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Большие масштабы городского теплового хозяйства требуют мониторинга и контроля сетей, но существующие методы имеют значительные ограничения по стоимости работы, сложности и доступности оборудования, предполагают большие затраты труда либо запретительно дороги для коммунальных предприятий. Проведенное исследование показало, что достаточно быстрое, точное, приемлемое по стоимости обследование надземных тепловых трасс может быть проведено с использованием классической технологии создания цифрового двойника – съемки с БВС, причем целесообразно комбинировать съемку в видимом спектре и ИК-спектре.

В ходе исследования было проведено обследование тепловых сетей г. Кемерово. Работы включали составление ортофотоплана путем традиционной фотосъемки с БВС для уточнения координат и конфигурации тепловых сетей, непосредственное тепловизионное обследование для выявления аномалий теплового излучения на протяженности около 130 км, создание тепловых карт по каждому пикселю изображения, привязку тепловизионных снимков и тепловых карт к конкретным маркерам в рамках геоинформационной системы. На снимках и тепловых картах идентифицированы все значимые тепловые аномалии, которые требуют немедленных или плановых ремонтов. Это позволило получить достоверную картину состояния тепловых сетей города при приемлемых затратах. Другие методы при сплошном обследовании надземных трубопроводов обошлись бы значительно дороже, а также потребовали бы намного больше времени.

Таким образом, тепловизионная съемка с БВС позволяет быстро выполнить бесконтактное обследование тепловых сетей большой протяженности в достаточно короткие сроки, на этой основе определить участки с повышенными тепловыми потерями, обследовать именно их (а не всю протяженность коммуникаций), запланировать ремонты. Однако следует отметить, что тепловизионная съемка по

физико-техническому принципу, лежащему в ее основе, не может оценить непосредственно состояние металла трубопроводов, поскольку фиксирует именно потери тепла (они могут быть вызваны, например, разрушением изоляции). Тем не менее быстрое сканирование всех надземных сетей позволяет существенно сократить затраты, поскольку последующее обследование другими методами охватывает только проблемные участки, а не всю протяженность надземных трубопроводов. Кроме того, тепловизионная съемка с БВС впервые в практике эксплуатации тепловых сетей г. Кемерово дала возможность полного обследования всех надземных теплопроводов.

Список литературы

1. Measures of canopy structure from low-cost UAS for monitoring crop nutrient status / K. Montgomery, J.B. Henry, M.C. Vann et al. // Drones. 2020. Vol. 4. No. 3. Article no. 36. DOI: 10.3390/drones4030036.
2. Rada A.O., Kuznetsov A.D. Digital inventory of agricultural land plots in the Kemerovo Region // Foods and Raw Materials. 2022. Vol. 10. No. 2. P. 206-215. DOI: 10.21603/2308-4057-2022-2-529.
3. Advantages of unmanned aerial vehicle (UAV) photogrammetry for landscape analysis compared with satellite data: A case study of post mining sites in Indonesia / K. Iizuka, M. Itoh, S. Shiodera et al. // Cogent Geoscience. 2018. Vol. 4. No. 1. Article no. 1498180. DOI: 10.1080/23312041.2018.1498180.
4. Li J., Zhou L., Ying B. A study on intelligent recognition method of high-voltage line faults in mountainous areas based on UAV aerial photography // Journal of Physics: Conference Series. 2020. Vol. 2037. No. 1. Article no. 012100. DOI:10.1088/1742-6596/2037/1/012100.
5. Фотина Н.В., Емельяненко В.П., Воробьева Е.Е., Бузова Н.В., Остапова Е.В. Современные биологические методы восстановления и очистки нарушенных угледобычей земель в условиях Кемеровской области – Кузбасса // Техника и технология пищевых производств. 2021. Т. 51. № 4. С. 869-882. DOI: 10.21603/2074-9414-2021-4-869-882.
6. Monitoring potential spontaneous combustion in a coal waste dump after reclamation through unmanned aerial vehicle RGB imagery based on alfalfa aboveground biomass / H. Ren, Y. Zhao, W. Xiao et al. // Land Degradation & Development. 2022. Vol. 33. No. 15. P. 2728-2742. DOI: 10.1002/ldr.4297.
7. Yankovskaya A., Travkov A. Bases of intelligent system construction of the pipeline technical condition diagnostics // Journal of Physics: Conference Series. 2019. Vol. 1145. Article no. 012009. DOI: 10.1088/1742-6596/1145/1/012009.
8. Song S.P., Ni Y.J. Ultrasound imaging of pipeline crack based on composite transducer array // Chinese Journal of Mechanical Engineering. 2018. Vol. 31. Article no. 81. DOI: 10.1186/s10033-018-0280-z.
9. Погодин А.К. Внутритрубная диагностика трубопроводов методом ультразвуковой панорамной толщинометрии // Энергобезопасность и энергосбережение. 2018. № 2. С. 34-37.
10. Гольшев С.Н., Донченко М.А. Диагностика состояния полимерных армированных трубопроводов с несвязанными слоями // Газовая промышленность. 2021. № 51 С. 144-147.
11. Acoustic emission leak detection on a metal pipeline buried in sandy soil / T.M. Juliano, J.N. Meegoda, F. Asce et al. // Journal of Pipeline Systems Engineering and Practice. 2013. Vol. 4. No. 3. P. 149-155. DOI: 10.1061/(ASCE)PS.1949-1204.0000134.

12. Пронин В.В. Новые технологии ультразвуковой толщинометрии: от линейного сканирования до многосхемных методов цифровой фокусировки антенной решетки // *Диагностика*. 2017. № 1. С. 14-19.
13. О методах неразрушающего контроля, применяемых для диагностики трубопроводов тепловых сетей / Л.В. Поленова, Н.Б. Черновец, Н.В. Иванов и др. // В мире неразрушающего контроля. 2009. № 4. С. 25-28.
14. Zaporozhets A. System for diagnosing main pipelines of heat networks based on UAVs // *International Journal "NDT Days"*. 2019. Vol. 2. No. 1. P. 69-77.

INNOVATIONS

Original Paper

UDC 64.7:681.5 © A.O. Rada, A.D. Kuznetsov, R.E. Zverev, A.O. Akulov, 2022
 ISSN 0041-5790 (Print) • ISSN 2412-8333 (Online) • Ugol' – Russian Coal Journal, 2022, № S12, pp. 149-154
 DOI: <http://dx.doi.org/10.18796/0041-5790-2022-S12-149-154>

Title

PROSPECTS FOR MONITORING THE STATE OF THERMAL NETWORKS BY THERMAL VISION SURVEY

Authors

Rada A.O.¹, Kuznetsov A.D.¹, Zverev R.E.¹, Akulov A.O.¹
¹ Kemerovo State University, Kemerovo, 650000, Russian Federation

Authors Information

Rada A.O., PhD (Economic), Director of Institute of Digitalization, e-mail: rada.ao@kemsu.ru

Kuznetsov A.D., Director of the Center for Computer Engineering of Institute of Digitalization, e-mail: adkuz@inbox.ru

Zverev R.E., UAV control specialist of the Center for Computer Engineering of Institute of Digitalization, Postgraduate, e-mail: r.zverev@i-digit.ru

Akulov A.O., PhD (Economic), Associate Professor of the Department of Management named in honor I.P. Povarich; e-mail: akuanatolij@yandex.ru

Abstract

Existing methods for monitoring the pipeline economy have significant limitations in terms of complexity and cost, which makes it difficult to use them to control the state of urban heating networks. The paper considers the use of photography and thermal imaging for monitoring over ground heating networks of the city of Kemerovo. In the course of the study, a digital twin of above-ground heating networks was obtained in the visible and infrared spectra. Thermal imaging data allow identifying sections of networks with elevated temperatures corresponding to different degrees of damage to pipes and their insulation. The thermal imaging image corresponds to one pixel of the section of the heating main under consideration. As a result of the work, the owner of the heating networks was provided with complete information on temperature anomalies of pipes, indicating the exact geographical coordinates. This made it possible to plan repairs much faster and more efficiently, since there is no need for a complete inspection of pipes; only problem areas that have already been identified can be analyzed.

Keywords

Object scanning, Thermal networks, Heat leakage, Thermal imaging, Unmanned aerial vehicle, Geographic information systems, Digital control, Software development.

References

- Montgomery K., Henry J.B., Vann M.C., Whipker B.E., Huseth A.S. & Mitasova H. Measures of canopy structure from low-cost UAS for monitoring crop nutrient status. *Drones*, 2020, 4(3), 36. DOI: 10.3390/drones4030036.
- Rada A.O. & Kuznetsov A.D. Digital inventory of agricultural land plots in the Kemerovo Region. *Foods and Raw Materials*, 2022, 10(2), pp. 206-215. DOI: 10.21603/2308-4057-2022-2-529.
- Iizuka K., Itoh M., Shiodera S., Matsubara T., Dohar M. & Watanabe K. Advantages of unmanned aerial vehicle (UAV) photogrammetry for landscape analysis compared with satellite data: A case study of post mining sites in Indonesia. *Cogent Geoscience*, 2018, 4(1), 1498180. DOI: 10.1080/23312041.2018.1498180.
- Li J., Zhou L. & Ying B. A study on intelligent recognition method of high-voltage line faults in mountainous areas based on UAV aerial photography. *Journal of Physics: Conference Series*, 2020, 2037(1), 012100. DOI: 10.1088/1742-6596/2037/1/012100.

5. Fotina N.V., Emelianenko V.P., Vorob'eva E.E., Burova N.V. & Ostapova E.V. Contemporary biological methods of mine reclamation in the Kemerovo Region – Kuzbass. *Food Processing: Techniques and Technology*, 2021, 51(4), pp. 869-882. (In Russ.). DOI: 10.21603/2074-9414-2021-4-869-882.

6. Ren H., Zhao Y., Xiao W., Yang X., Ding B. & Chen C. Monitoring potential spontaneous combustion in a coal waste dump after reclamation through unmanned aerial vehicle RGB imagery based on alfalfa aboveground biomass. *Land Degradation & Development*, 2022, 33(15), pp. 2728-2742. DOI: 10.1002/ldr.4297.

7. Yankovskaya A. & Travkov A. Bases of intelligent system construction of the pipeline technical condition diagnostics. *Journal of Physics: Conference Series*, 2019, (1145), 012009. DOI: 10.1088/1742-6596/1145/1/012009.

8. Song S.P. & Ni Y.J. Ultrasound imaging of pipeline crack based on composite transducer array. *Chinese Journal of Mechanical Engineering*, 2018, (31). DOI: 10.1186/s10033-018-0280-z.

9. Pogodin A.K. In-pipe diagnostics of pipelines by ultrasonic panoramic thickness measurement. *Energy Security and Energy Saving*, 2018, (2), pp. 34-37. (In Russ.).

10. Golyshev S.N. & Donchenko M.A. Diagnosis of the state of polymer reinforced pipelines with unbound layers. *Gas Industry*, 2021, (S1), pp. 144-147. (In Russ.).

11. Juliano T.M., Meegoda J.N., Asce F. & Watts D.J. Acoustic emission leak detection on a metal pipeline buried in sandy soil. *Journal of Pipeline Systems Engineering and Practice*, 2013, 4(3), pp. 149-155. DOI: 10.1061/(ASCE)PS.1949-1204.0000134.

12. Pronin V.V. New technologies for ultrasonic thickness measurement: from linear scanning to multi-circuit methods for digital focusing of an antenna array. *Diagnostics*, 2017, (1), pp. 14-19. (In Russ.).

13. Polenova L.V., Chernovets N.B., Ivanov N.V. & Chuiko D.E. On the methods of non-destructive testing used to diagnose pipelines of heating networks. *In The World of Non-Destructive Testing*, 2009, (4), pp. 25-28. (In Russ.).

14. Zaporozhets A. System for diagnosing main pipelines of heat networks based on UAVs. *International Journal "NDT Days"*, 2019, 2(1), pp. 69-77.

Acknowledgements

The work was performed under agreement No. 075-15-2022-1195 dated September 30, 2022, concluded between the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation and the Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Kemerovo State University".

For citation

Rada A.O., Kuznetsov A.D., Zverev R.E. & Akulov A.O. Prospects for monitoring the state of thermal networks by thermal vision survey. *Ugol'*, 2022, (S12), pp. 149-154. (In Russ.). DOI: 10.18796/0041-5790-2022-S12-149-154.

Paper info

Received November 1, 2022

Reviewed November 15, 2022

Accepted November 30, 2022