

УДК 621.38(075)

## Применение тепловизионного обследования для повышения энергоэффективности магистральных трубопроводов

Тимофеева Дарья Андреевна<sup>(\*)</sup>      daria95-16@mail.ru

ООО «Сибур-Кстово», Нижегородская область, Кстово, Россия

**Аннотация.** В настоящее время группа компании СИБУР повышает энергоэффективность каждого промышленного сооружения, установки и производства, и мы стремимся это сделать наиболее эффективным и доступным способом. Благодаря внедрению современных технологий, таких как тепловизионное обследование, становится возможным идентифицировать места наибольших тепловых потерь на любом объекте. В работе представлены два метода тепловизионного обследования: тепловизором Fluke Ti400 и дроном с тепловизионным сенсором. Проведено обследования магистральных трубопроводов и сравнение методов тепловизионного исследования с целью выявления наиболее эффективного метода поиска тепловых потерь. Сделаны выводы.

**Ключевые слова:** тепловизионная технология, тепловизионное обследование, поиск утечек, магистральный трубопровод, потери в окружающую среду, теплопотери, повышение энергоэффективности, энергоэффективность

**Введение.** В современном мире тепловизионные технологии нашли широкое применение в различных отраслях: медицине, машиностроении, вооруженных силах, МЧС, энергетике и нефтегазовом комплексе [1]. На промышленном предприятии применение тепловизоров позволяет объективно оценить состояние тепловой изоляции объектов, температурный режим оборудования. Тепловидение основано на измерении и последующем анализе температуры различных объектов. Процесс передачи тепловой энергии, выделение или поглощение тепла в объекте приводит к тому, что его температура изменяется относительно окружающей среды. Распределение температуры по поверхности объекта является основным параметром в тепловом контроле, так как несет информацию об особенностях процесса теплопередачи, режиме работы объекта, его внутренней структуре и наличии скрытых внутренних дефектов.

**Объект исследования.** Объектом исследования является магистральный трубопровод пара высокого давления, основными параметрами которого являются: протяженность трубопровода составляет 4975 м, диаметр трубопровода 273 мм, температура рабочей среды 530 °С, давление рабочей среды 120 кгс/см<sup>2</sup>.

Цель обследования — выявить и рассчитать тепловые потери через изоляционный слой и негерметичные дренажные отводы, провести сравнение двух методов тепловизионной технологии.

**Описание методов.** Тепловизионное обследование (термография) является эффективным средством контроля качества тепловой изоляции. Это не-

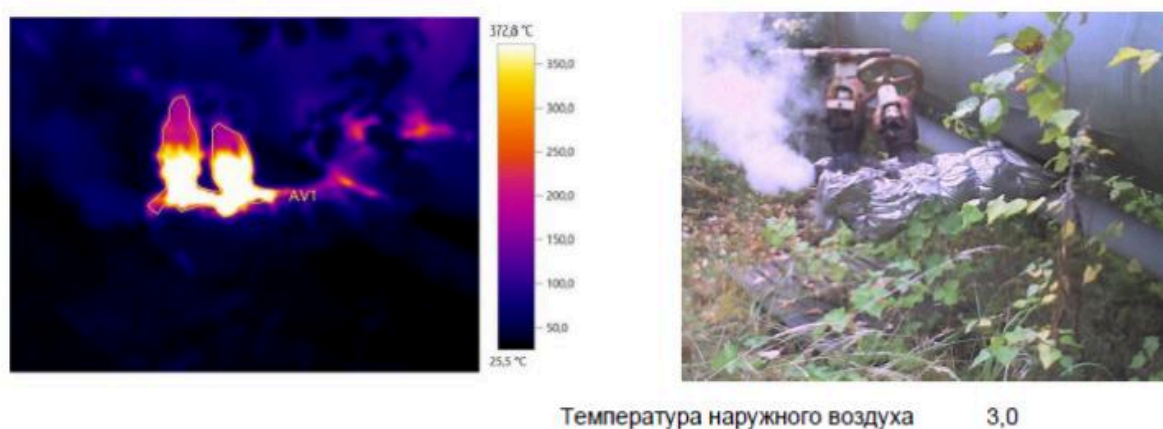
разрушающий, дистанционный, оперативный и точечный способ диагностики состояния трубопроводов и оборудования непосредственно в эксплуатационном режиме [2]. В основу метода положено свойство тепловизионного наблюдения бесконтактно регистрировать распределение радиационной температуры на поверхности, находящейся в поле зрения тепловизионной камеры [3]. Псевдораскраска термограммы соответствует шкале температур, получаемой прибором в момент тепловизионной съемки, в соответствии с градуировочной характеристикой тепловизора, параметрами объекта наблюдения и окружающими условиями. Термограммы записываются и в последующем обрабатываются с помощью специального программного обеспечения. Анализ термограмм наружных поверхностей работающего оборудования позволяет выявлять дефекты теплоизоляции. Инспекцию изолированных поверхностей оборудования осуществляют при установившейся температуре воздуха. В результате тепловизионного обследования выявляют скрытые дефекты, участки нарушения тепловой изоляции, фильтрации воздуха и увлажнения. Термография дает качественную информацию о теплозащитных свойствах изоляции оборудования и вместе с опорными изменениями позволяет оценить энергетическую эффективность оборудования [4].

*Ручной тепловизор Fluke Ti400.* Тепловизор Fluke Ti400 60Hz представляет собой высокотехнологичное устройство, предназначенное для точного измерения и визуализации температурных распределений на различных объектах. Диапазон измеряемых температур варьируется от  $-20^{\circ}\text{C}$  до  $+1200^{\circ}\text{C}$ , что делает его универсальным инструментом для работы в условиях экстремальных температур. Спектральный диапазон инфракрасного излучения, с которым работает устройство, составляет от 7,5 до 14 мкм, что относится к длинноволновому диапазону. Это позволяет тепловизору эффективно работать в условиях запыленности, задымленности или при наличии других помех. Поле зрения устройства составляет  $24^{\circ}\times 17^{\circ}$ , что обеспечивает широкий охват исследуемой области. Это особенно полезно при работе с крупными объектами или при необходимости быстрого сканирования больших площадей. Минимальное расстояние фокусировки тепловизора составляет 15 см, что делает его удобным для работы с объектами, расположенными на близком расстоянии. Это особенно важно при детальном анализе небольших участков или при работе в ограниченном пространстве. Благодаря своим характеристикам, Fluke Ti400 60Hz является надежным инструментом для специалистов в области энергетики, строительства, промышленности и других сфер, где требуется точное измерение температур и оперативное получение тепловых изображений [5].

*Дрон с тепловизионным сенсором.* Этот тепловизионный беспилотник подходит для решения широкого круга задач. Промышленная модель нового поколения отличается портативностью и небольшим весом, а также высокой производительностью и отличным качеством фото и видео. Время полета достигает 31 минуты, скорость передвижения — 72 км/час. Передача данных с высоким разрешением осуществляется на расстояние до 10 км. Ключевая

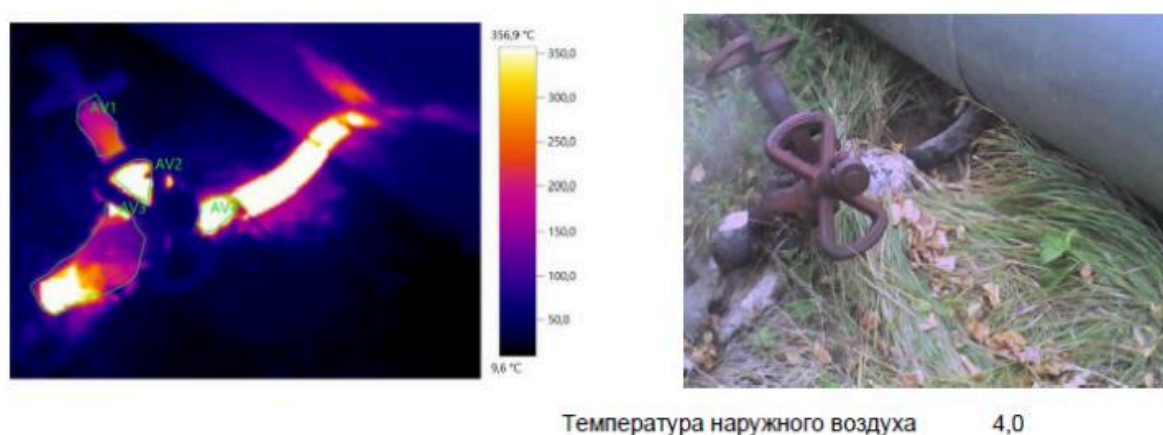
положительная особенность коптера — гибридная камера из двух матриц, позволяющая реализовать одновременно термальную и визуальную съемку высокого качества. Оператор может выводить на основной экран видеоряд в наиболее предпочтительном режиме из 3 возможных: термальном, визуальном, термальном и визуальном. Управление таким дроном осуществляется с помощью усовершенствованного контроллера. Пульт имеет встроенный сверхяркий дисплей, четко отображающий выводимую информацию [6].

**Термограммы с приборов.** В ходе проведения инспекции по трубопроводу пара высокого давления были зафиксированы дефекты теплоизоляционного слоя, а также негерметичные дренажные отводы. На рис. 1–5 представлены термограммы, полученные в результате применения ручного тепловизора.



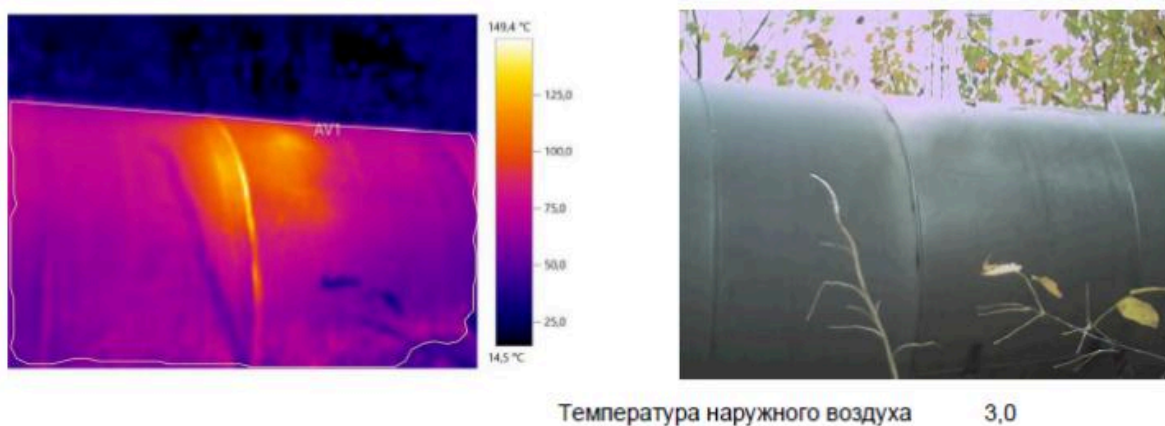
| Измеряемые объекты         | Темп. [°C] | Излуч. |
|----------------------------|------------|--------|
| Область средних значений 1 | 247,0      | 0,98   |

Рис. 1. Негерметичная запорно-регулирующая арматура № 1



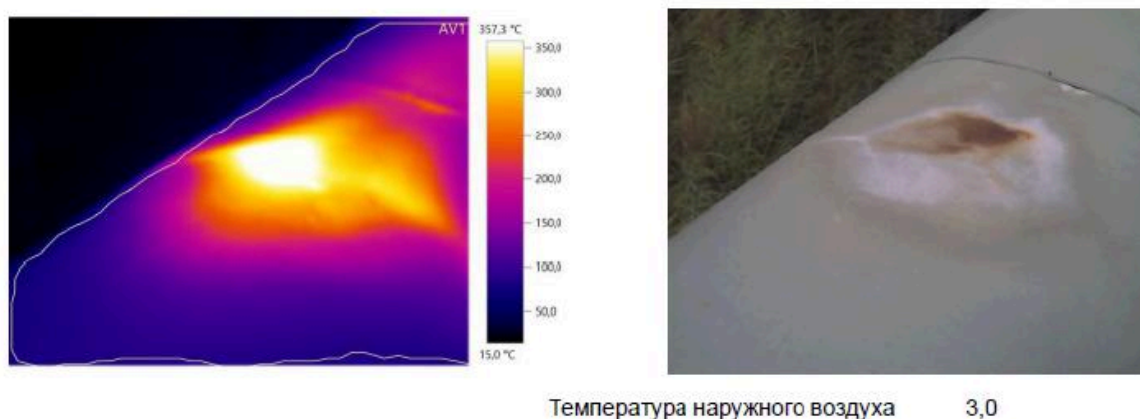
| Измеряемые объекты         | Темп. [°C] | Излуч. |
|----------------------------|------------|--------|
| Область средних значений 1 | 182,2      | 0,98   |
| Область средних значений 2 | 249,6      | 0,98   |
| Область средних значений 3 | 189,7      | 0,98   |
| Область средних значений 4 | 276,0      | 0,98   |

Рис. 2. Негерметичная запорно-регулирующая арматура с локальными перегревами № 2



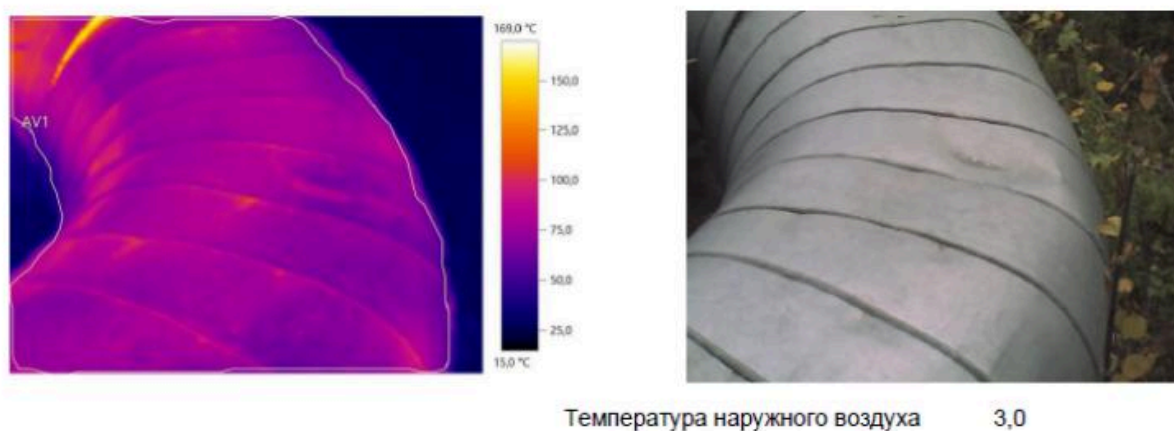
| Измеряемые объекты         | Темп. [°C] | Излуч. |
|----------------------------|------------|--------|
| Область средних значений 1 | 72,3       | 0,28   |

Рис. 3. Прямой участок трубопровода № 1



| Измеряемые объекты         | Темп. [°C] | Излуч. |
|----------------------------|------------|--------|
| Область средних значений 1 | 164,5      | 0,28   |

Рис. 4. Прямой участок трубопровода № 2



| Измеряемые объекты         | Темп. [°C] | Излуч. |
|----------------------------|------------|--------|
| Область средних значений 1 | 81,5       | 0,28   |

Рис. 5. Гиб трубопровода № 1

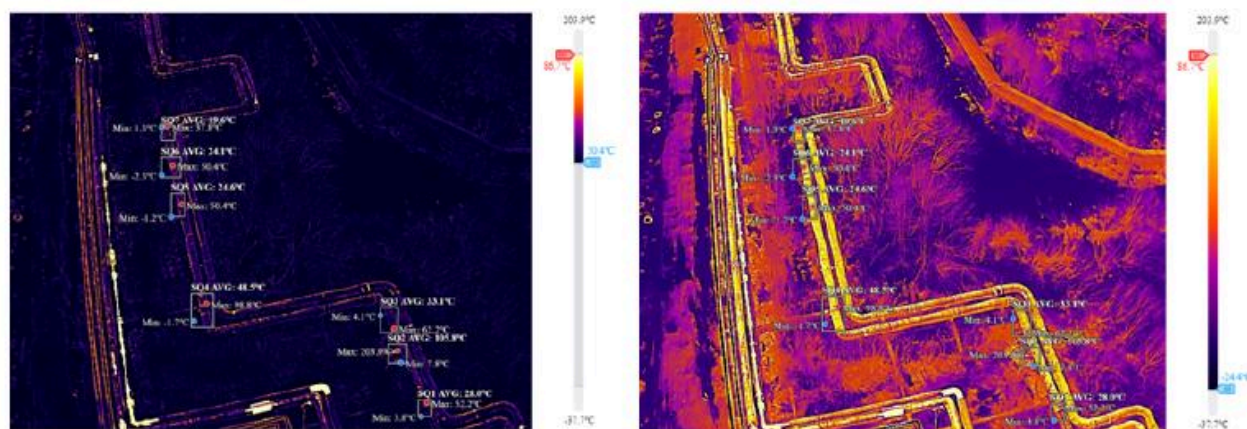


Рис. 6. Участок трубопровода длиной около 70 м

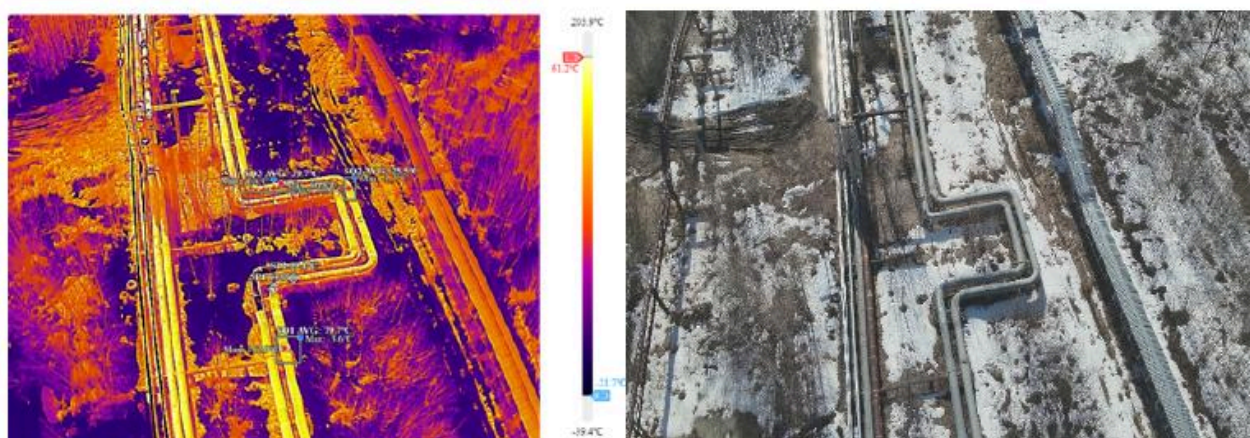


Рис. 7. Участок трубопровода длиной около 60 м

На рис. 6 представлены термограммы, полученные в результате облета дрона с тепловизионным наведением на обследуемый трубопровод.

**Результаты обследования.** В ходе проведения обследования трубопровода пара высокого давления с применением тепловизионных инструментов были выявлены следующие замечания:

Более 65 % от всей тепловой изоляции имеет температуру на покрывном слое более 87 °С. Данный показатель свидетельствует о снижении термических свойств пара высокого давления и существенных тепловых потерях в окружающую среду. Превышение температуры на покрывном слое составляет более 27 °С, что является прямой рекомендацией к замене теплоизоляционного слоя на рассматриваемых участках.

Более 30 % запорно-регулирующей арматуры (ЗРА) не выдержали давление рабочей среды 120 кгс/см<sup>2</sup>, что также является рекомендацией к замене рассматриваемых ЗРА.

### **Сравнительный анализ используемых инструментов.**

#### *1. Ручной тепловизор.*

##### *1.1. Преимущества:*

- точечный контроль рассматриваемого участка;

- компактный размер, по сравнению с дроном;
- ударопрочный емкостный сенсорный экран с высоким разрешением 640×480 обеспечивает быструю навигацию по меню.

#### 1.2. Недостатки инструмента:

- ограниченная дальность работы не более 3 м;
- необходимо наличие специализированного программного обеспечения для интеграции полученных снимков;
- высокая продолжительность обхода персоналом трубопровода по всей длине (обследование заняло более 8 часов рабочего времени персонала);
- высокая занятость персонала при проведении обследования;
- длительная обработка информации снимка инструментом в процессе прохождения обследования трубопровода;
- недостаточная емкость аккумулятора 2000 мАч.

#### *Дрон с тепловизионным сенсором.*

##### 2.1. Преимущества:

- точечный контроль рассматриваемого участка;
- быстрота проведения обследования благодаря фиксации снимков объекта с высоты более 30 м и шириной более 50 м;
- быстрая обработка информации снимка инструментом;
- длительность полета более 30 минут.

##### 2.2. Недостатки инструмента:

- необходим обязательный допуск у пилота на управление летательными аппаратами;
- необходимо наличие специализированного программного обеспечения для интеграции полученных снимков;
- высокая погрешность измерений термограмм, по сравнению с ручным тепловизором (поскольку снимок производился на высоте более 30 м).

**Заключение.** В результате проведенного обследования полученные термограммы с приборов доказывают ухудшение теплоизоляционного слоя на трубопроводе пара высокого давления, что является прямой рекомендацией к замене или обновлению теплоизоляционного покрытия трубопровода. Также использование двух приборов показало, что для точечного обследования оборудования лучше применять ручной тепловизор. В то же время в производственных обследованиях оборудования дрон с тепловизионным сенсором имеет больше преимуществ, поскольку обследование данным инструментом проводится значительно быстрее и информативнее.

#### **Список источников**

- [1] 11 популярных сфер применения тепловизоров. URL: [https://skomplekt.com/news/20150601/11\\_populjarnyh\\_sfer\\_primenenija\\_teplovizorov/](https://skomplekt.com/news/20150601/11_populjarnyh_sfer_primenenija_teplovizorov/) (дата обращения 17.09.2025).
- [2] ГОСТ Р 54852–2011. Здания и сооружения. Метод тепловизионного контроля качества теплоизоляции ограждающих конструкций. Москва, Стандартинформ, 2012.
- [3] ГОСТ 28243–96. Пирометры. Общие технические требования. Минск, Международный совет по стандартизации, метрологии и сертификации, 1996.

- 
- [4] Афонин А.В., Таджибаев А.И., Сергеев С.С. *Инфракрасная термография в энергетике. Технические средства приема инфракрасных излучений*. Санкт-Петербург, Изд-во ПЭИПК, 2004, 240 с.
  - [5] *Тепловизор Fluke Ti400 60HZ*. URL: [https://mprofit.ru/catalog/teplovizor-fluke-ti400-60hz/?utm\\_source=yandex&utm\\_medium=cpc&utm\\_campaign=YA\\_Tovar\\_Demki&utm\\_term=---autotargeting&yubaip=1&yclid=11037625604813881343](https://mprofit.ru/catalog/teplovizor-fluke-ti400-60hz/?utm_source=yandex&utm_medium=cpc&utm_campaign=YA_Tovar_Demki&utm_term=---autotargeting&yubaip=1&yclid=11037625604813881343) (дата обращения 24.09.2025).
  - [6] *Тепловизионные дроны: особенности и сферы применения*. URL: <https://sky-space.ru/blog/teplovizionnye-drony/?ysclid=mfxyulzjui847510496> (дата обращения 24.09.2025).