

нове подхода к проведению которого лежали принципы устойчивого развития и углеродной нейтральности [2].

В Германии парламент принял Закон о корпоративной должной осмотрительности в цепочках поставок в июне 2021 г., что ознаменовало значительный переход от добровольных к обязательным требованиям к должной осмотрительности в области прав человека и охраны окружающей среды для бизнеса. Кроме того, правительство Германии объявило о своей новой стратегии устойчивого финансирования в мае 2021 г., которая будет включать требования к отчетности ESG для компаний для достижения большей прозрачности.

Во Франции Управление по финансовым рынкам (AMF) учредило Комиссию по климату и устойчивым финансам в июле 2019 г., которая действует как регулирующий и надзорный орган в вопросах, связанных с устойчивым финансированием. Кроме того, AMF объявило в феврале 2021 г., что значительно усилит свое внимание к инвестированию в ESG и усилит контроль при выдаче сертификатов устойчивого финансирования.

В заключение необходимо отметить, что практика ESG является важным фактором для компаний, стремящихся повысить акционерную стоимость и финансовые показатели. Уделяя приоритетное внимание экологическим, социальным и управленческим аспектам ESG, компании могут извлечь выгоду из улучшения финансовых показателей, укрепления репутации и доверия среди заинтересованных сторон, а также снижения рисков. Поскольку важность ESG продолжает расти, вполне вероятно, что все больше компаний будут внедрять устойчивые и ответственные методы, чтобы оставаться конкурентоспособными и соответствовать ожиданиям заинтересованных сторон.

#### Л и т е р а т у р а

1. Стратегия ESG. – Режим доступа: <https://www.esgthereport.com/what-is-an-esg-strategy/#what-is-the-purpose-of-esg/>. – Дата доступа: 18.04.2023.
2. Стратегия ESG. – Режим доступа: [issledovanie\\_otkryvaya\\_novye\\_gorizonty\\_esg\\_kept\\_alliance.pdf/](#). – Дата доступа: 18.04.2023.

УДК 699.86+536.52

## ТЕРМОГРАФИЧЕСКОЕ ОБСЛЕДОВАНИЕ ИЗОЛЯЦИИ ТРУБОПРОВОДОВ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ

А. Г. Круталевич, А. С. Масло, Е. С. Найден

*Учреждение образования «Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого», Республика Беларусь*

Научный руководитель В. В. Киселевич

*Выполнены термографическое обследование текущего состояния и локализация аномальных участков тепловой изоляции технологических трубопроводов промышленного предприятия. Дана оценка удельных потерь теплоты через наружную поверхность изоляционных конструкций. Сделано заключение относительно возможности дальнейшей эксплуатации тепловой изоляции на обследованных трубопроводах.*

**Ключевые слова:** тепловая изоляция, технологические трубопроводы, термографическое обследование, термограмма, нормы плотности теплового потока.

## THERMOGRAPHIC INSPECTION OF PIPING INSULATION IN INDUSTRIAL FACILITIES

A. G. Krutalevich, A. S. Maslo, E. S. Nayden

*Sukhoi State Technical University of Gomel, the Republic of Belarus*

Science supervisor V. V. Kiselevich

*Thermographic inspection of the current state and localization of abnormal areas in process pipelines insulation of an industrial facility were performed. The values of specific heat losses through the outer surface of insulation structures were estimated. The conclusion was made regarding the potential of further use for the thermal insulation on the inspected pipelines.*

**Keywords:** insulation, process pipelines, thermographic inspection, thermogram, heat flow density rates.

В процессе эксплуатации тепловая изоляция технологических трубопроводов, работающих при высоких температурах, претерпевает необратимые изменения, сопровождающиеся снижением ее термического сопротивления и ростом тепловых потерь. Вследствие этого проведение систематического контроля фактического состояния изоляции является одним из ключевых энергосберегающих мероприятий, проводимых на промышленных предприятиях. В числе наиболее эффективных методов неразрушающей диагностики находится термографический метод обследования, предполагающий дистанционное измерение распределения температуры на поверхности изоляции при помощи тепловизора [1, с. 442]. Низкая трудоемкость и высокая оперативность получения информации при выполнении измерений способствуют широкому применению данного метода на практике. В рамках настоящей работы представлены результаты термографического обследования технического состояния тепловой изоляции технологических трубопроводов, расположенных на открытом воздухе.

Обследование проводилось с использованием инфракрасного тепловизора Testo-882 в промежутке с 7 до 9 часов утра при отсутствии солнечных бликов и атмосферных осадков. Перед непосредственным проведением термографической съемки были измерены и проверены на соответствие условиям контроля основные параметры окружающей среды: температура  $t_a = 6$  °С, относительная влажность наружного воздуха  $\varphi = 87\%$  (при помощи термогигрометра Testo-625) и скорость ветра  $\vartheta = 1,5$  м/с (с использованием анемометра Testo-410-2). Для повышения достоверности получаемых термограмм в настройках тепловизора устанавливались найденные известными методами оценочные значения кажущейся отраженной температуры  $t_{refl} = 2$  °С и коэффициента излучательной способности  $\varepsilon = 0,94$  покровного слоя изоляции, выполненного из стеклоткани [1]. Снятие термограмм проводилось в измерительном диапазоне от  $-20$  до  $100$  °С, предел допускаемой абсолютной погрешности для которого не превышает  $\pm 2$  °С.

В качестве иллюстрации на рис. 1 представлено термографическое изображение наиболее характерных участков обследованных трубопроводов. Визуальный анализ термограммы позволяет сделать вывод о наличии областей с тепловыми аномалиями на верхнем трубопроводе и нормальном распределении температуры по поверхности нижних трубопроводов. Существенная неравномерность температурного поля изоляции верхнего трубопровода также отчетливо прослеживается из построенного на рис. 2 линейного температурного профиля.

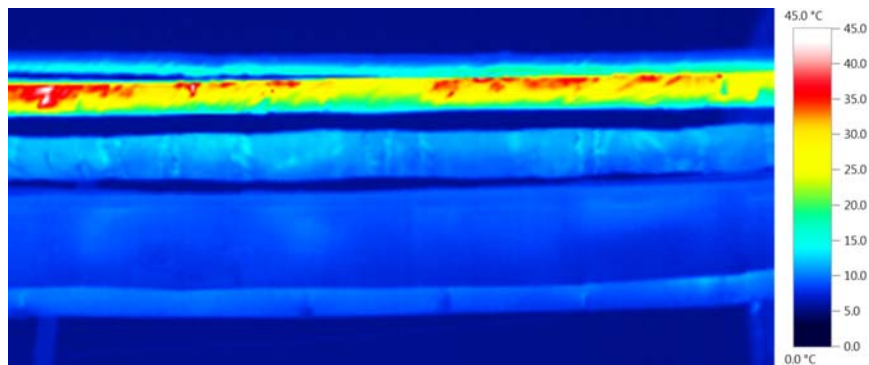


Рис. 1. Термографическое изображение обследованных трубопроводов

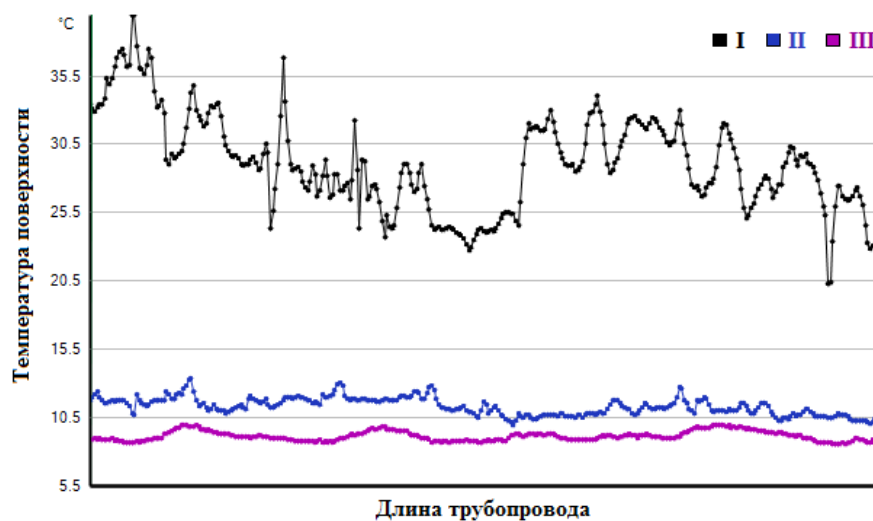


Рис. 2. Температурный профиль по длине трубопроводов

Из рис. 2 видно, что перепад температур  $\Delta t$  по длине вдоль центральной оси верхнего трубопровода (I) может достигать 20 °С, в то время как для нижних трубопроводов (II и III)  $\Delta t$  не превышает 3,5 °С.

Количественную оценку технического состояния теплоизоляции проведем по критериям соответствия линейной плотности теплового потока и температуры поверхности нормативным значениям. С этой целью вначале определим удельные потери тепла на 1 м изолированного трубопровода при фактической температуре окружающей среды [1, с. 444]:

$$q_{ia} = \pi D_s \left[ 1,66(t_s - t_a) + c_s \left( (t_s + 273)^4 - (t_a + 273)^4 \right) \right] \text{ Вт/м,}$$

где  $D_s$  – наружный диаметр теплоизоляционного слоя, м;  $t_s$  – измеренная температура поверхности изоляции, °С;  $t_a$  – измеренная (фактическая) температура воздуха, окружающего трубопровод, °С;  $c_s = 4,88 \cdot 10^{-8} \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К}^4)$  – параметр, учитывающий постоянную Стефана–Больцмана и коэффициент излучения  $\varepsilon$  запыленной поверхности покровного слоя изоляции. Далее, зная  $q_{ia}$  и температуру  $t_h$  теплоносителя в трубопроводе, по предложенным соотношениям [1, с. 444] можно рассчитать

удельные линейные потери тепла  $q_t$  через изоляцию и температуру  $t_{s(t)}$  на ее поверхности для произвольной температуры  $t$  окружающей среды:

$$q_t = q_{ta} \frac{t_h - t}{t_h - t_a} \text{ Вт/м}; \quad t_{s(t)} = \frac{q_t}{q_{ta}} (t_s - t_a) + t \text{ } ^\circ\text{C}.$$

При определении нормированных потерь теплоты через изоляцию трубопроводов в качестве опорной температуры  $t$  нами принята температура воздуха  $t_{N5} = 5 \text{ } ^\circ\text{C}$ , для которой в [2] приведены нормы линейной плотности  $q_N$  теплового потока. Для проверки соответствия температуры на поверхности изоляции допустимому значению  $\bar{t} = 45 \text{ } ^\circ\text{C}$  [2] для трубопроводов, расположенных на открытом воздухе в пределах рабочей зоны, за расчетную температуру  $t$  окружающего воздуха взята средняя максимальная температура наиболее жаркого месяца. В соответствии со строительными нормами [3] для г. Гомеля указанная температура равна  $t_{N24} = 24 \text{ } ^\circ\text{C}$ . Результаты обработки экспериментально полученных термограмм и расчета тепловых характеристик изоляции сведены в таблицу.

**Характеристики тепловой изоляции технологических трубопроводов**

Параметры трубопровода							
Номер	$D_N$ , мм	$D_s$ , мм	$t_h$ , $^\circ\text{C}$	$\frac{t_s, \text{ } ^\circ\text{C}}{t_{s(24)}, \text{ } ^\circ\text{C}}$	$q_{ta}$ , Вт/м	$q_{t5}$ , Вт/м	$q_N$ , Вт/м
I	100	162	90	$\frac{43,5 / 27,3 / 13,0}{53,5 / 40,7 / 29,5}$	69,6	70,4	31,0
II	150	224	90	$\frac{14,3 / 11,2 / 9,2}{30,5 / 28,1 / 26,5}$	22,1	22,3	38,4
III	350	457	80	$\frac{10,2 / 8,7 / 7,2}{27,2 / 26,0 / 24,9}$	23,1	23,4	63,6

В таблице приняты следующие обозначения:  $D_N$  – диаметр условного прохода трубопровода;  $t_{s(24)}$  – температура поверхности изоляции, приведенная к  $t_{N24}$ ;  $q_{t5}$  – плотность теплового потока, найденная для средней температуры поверхности  $t_s$  и пересчитанная к  $t_{N5} = 5 \text{ } ^\circ\text{C}$ . Численные значения измеренных  $t_s$  и приведенных  $t_{s(24)}$  температур поверхности расположены в таблице соответственно над и под горизонтальной чертой, причем для каждой из данных величин указаны три значения, разделенные наклонной чертой: максимальное, среднее и минимальное.

Из анализа таблицы видно, что для трубопроводов II и III удельные потери тепла  $q_{t5}$  и температуры  $t_s$  на поверхности изоляции не превышают установленные нормы, поэтому проведение замены изоляции на данных трубопроводах не требуется. На первом трубопроводе, напротив, рекомендуется заменить изоляцию, так как, во-первых, теплопотери  $q_{t5}$  более чем в два раза превышают нормативные значения, а во-вторых, в окрестности отдельных аномальных участков данного трубопровода выполняется условие  $t_{s(24)} > \bar{t}$ , при котором высока вероятность образования и развития критических дефектов тепловой изоляции.

## Литература

1. Вавилов, В. П. Инфракрасная термография и тепловой контроль / В. П. Вавилов. – М. : ИД Спектр, 2009. – 544 с.
2. Тепловая изоляция оборудования и трубопроводов. Строительные Нормы Республики Беларусь : СН 4.02.02–2019. – Введ. 09.07.2020. – Минск : Стройтехнорм, 2020. – 40 с.
3. Строительная климатология. Строительные Нормы Республики Беларусь : СНБ 2.04.02–2000. – Введ. 02.04.2007. – Минск : М-во архитектуры и строительства, 2007. – 33 с.

УДК 316.34(476)

**АНАЛИЗ СХЕМ ЭНЕРГОКОМПЛЕКСОВ С СОВМЕСТНЫМ  
ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ТЕПЛОНАСОСНОЙ УСТАНОВКИ  
И ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ****Д. А. Богдан, В. А. Марков***Учреждение образования «Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого», Республика Беларусь*

Научный руководитель Т. В. Никулина

*Представлены результаты анализа схем с совместным применением теплонасосной установки и возобновляемых источников энергии. Рассмотрены схемы систем теплоснабжения и горячего водоснабжения, в которых используются возобновляемые источники энергии. В связи с растущим спросом на возобновляемые источники энергии данные схемы могут получить большое распространение для теплоснабжения различных объектов.*

**Ключевые слова:** возобновляемые источники энергии, ветроэнергетическая установка, фотоэлементы, теплонасосные установки, теплоснабжение, энергоэффективность.

**ANALYSIS OF SCHEMES OF ENERGY COMPLEXES WITH  
THE JOINT USE OF A HEAT PUMP INSTALLATION AND  
RENEWABLE ENERGY SOURCES****D. A. Bogdan, V. A. Markov***Sukhoi State Technical University of Gomel, the Republic of Belarus*

Science supervisor T. V. Nikulina

*The article presents the results of the analysis of schemes with the combined use of a heat pump unit and renewable energy sources. The schemes of heat supply and hot water supply systems that use renewable energy sources are considered. Given the growing demand for renewable energy sources, these schemes can be widely used for heat supply of various objects.*

**Keywords:** renewable energy sources, wind turbine, photocells, heat pump installations, heat supply, energy efficiency.

Целью работы является анализ схем с совместным использованием теплонасосной установки (ТНУ) и возобновляемых источников энергии (ВИЭ) для теплоснабжения и горячего водоснабжения (ГВС) жилых и административно-бытовых зданий. Основным показателем эффективности для ТНУ является коэффициент преобразования теплоты (КПТ). Использование ТНУ экономически оправданно при значениях КПТ не менее 2,8.

Рассмотрим схемы с использованием ТНУ совместно с ВИЭ.