

УДК 006.91

**ДИСТАНЦИОННЫЕ МЕТОДЫ ИЗМЕРЕНИЯ ТЕПЛОВЫХ
ПАРАМЕТРОВ В ПРОМЫШЛЕННОЙ ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКЕ
REMOTE METHODS OF MEASURING THERMAL PARAMETERS IN
INDUSTRIAL HEAT POWER ENGINEERING**

К.В. Журавлёва, Н.А. Хотенко

Научный руководитель – Е.Н. Савкова, к.т.н., доцент

Белорусский национальный технический университет, г. Минск

С. Zhuravleva, N. Khotenko

Supervisor – Y. Saukova, Candidate of Technical Sciences, Docent

Belarusian national technical university, Minsk

Аннотация: В данной статье рассматриваются современные методы исследования тепловых параметров на объектах промышленной теплоэнергетики.

Annotation: This article discusses modern methods of studying thermal parameters in industrial heat power engineering.

Ключевые слова: Тепловизор, матрица, оптика, дымовая труба, дисплей.

Key words: Thermal imager, matrix, optics, chimney, display.

Введение

Дистанционные средства исследования – это средства, применяемые для исследования изучаемого объекта без непосредственного контакта измерительного прибора с ним. Такие виды исследования имеют большой практический смысл и используются в различных областях. В основном это относится к тем областям, где имеют дело с подвижными объектами, где бесконтактные измерения необходимы с точки зрения безопасности персонала, где расстояния слишком велики или, где измеряемые температуры слишком высоки для термопар или других контактных датчиков, где нужно фиксировать показания на всём исследуемом объекте, а не конкретную поверхность, с которой будет контактировать прибор, также это актуально для тех областей, где нужно зафиксировать местонахождение поломки или дефекта, исследовать поле, фон и так далее. Присутствие таких приборов на промышленных предприятиях, в особенности на объектах с повышенной опасностью, строго необходимо. Отрасль промышленной теплоэнергетики относится к таким видам предприятий, где нужно наблюдать за изменениями среды, поверхностями конструкций, целостностью изоляции тепловых сетей и исправным обменом вещества между термодинамическими системами. Если измерительный прибор будет показывать ошибочные показания, это может привести к авариям или большим экономическим потерям, вызванных повышенным выходом тепла с уходящими газами или перерасходом необходимого для работы тепловой установки топлива.

Основная часть

В промышленной теплоэнергетике основными дистанционными средствами исследования являются приборы, предназначенные для измерения

температур объектов и температурных перепадов. Прибор, позволяющий в доступной форме передать информацию о температуре поверхности исследуемого объекта без непосредственного контакта с ним, называется тепловизором. На технологических объектах он используется в целях исследования и диагностики материалов и компонентов теплоэнергетических систем, для нахождения дефектов и утечек в теплоизоляции. Позволяет контролировать производственный процесс, снижая риски различных аварийных состояний. Используется при установке оборудования и его проверке на пригодность. Сравнивают измеренные термометром показания и нормативные, исследуют динамику изменения температуры в случае изменения показателя нагрузки, определяют присутствие избыточного уровня температуры на отдельных местах установки. При обследовании, например, дымовой трубы тепловизионный метод чаще всего является предшествующим этапом диагностики, по результатам которого определяют области конструкции для инструментального контроля и последующего ремонта. Для служб эксплуатации постоянный тепловизионный мониторинг позволяет обнаружить дефекты на самой ранней стадии их появления, что сильно повышает надежность и безопасность работы дымовых труб, предотвращает внеплановые потери и простои на производстве.

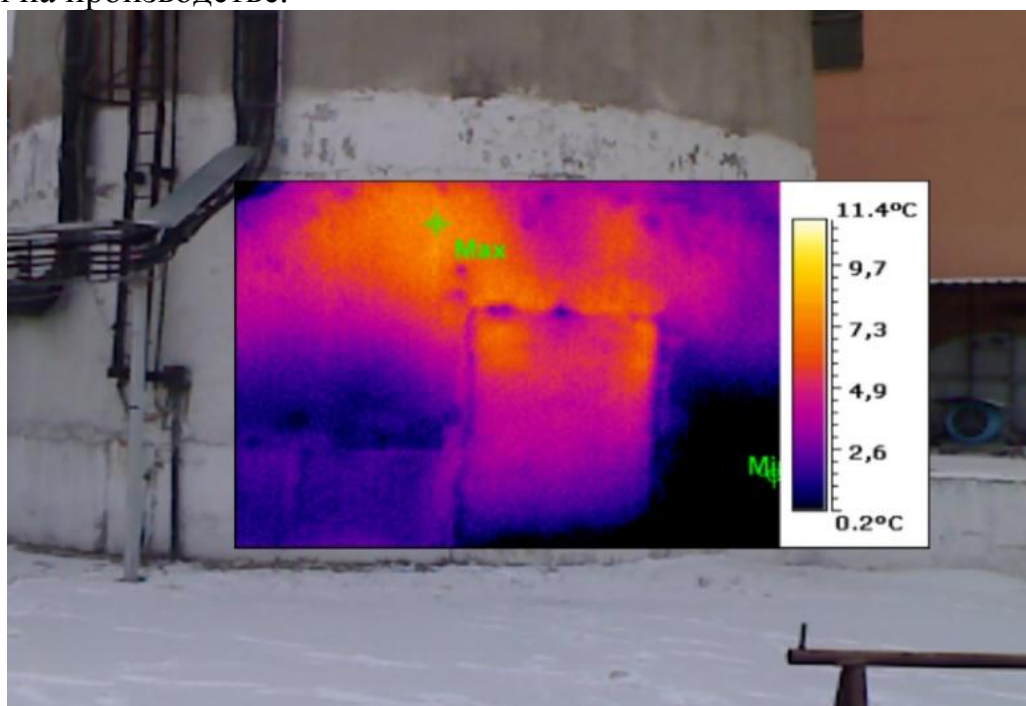


Рисунок 1 –Тепловизионная диагностика поверхности дымоходной трубы в зимнее время

Таблица 1 – Результаты диагностики

Emissivity	0.98
Humidity	70 %
Distance	1.8
Ambient	18.5 °C
MaxTemp	8.4 °C

Тепловизионные инспекции могут быть очень эффективны для обнаружения утечек из паропроводов, дефектов теплоизоляции паропроводов, неисправных пароуловителей. Кроме этого, термография может сохранить время и деньги путём обнаружения и картирования протечек в подземных линиях пароснабжения. Так же это позволяет определять повреждённые сыростью элементы кровли электростанции.

Принцип работы тепловизора заключается в фиксировании радиационной температуры. Оптическая система фокусирует на матрице тепловизора инфракрасный сигнал, исходящий от объекта. Матрица тепловизора состоит из большого числа пикселей, расположенных в виде сетки. Современные тепловизоры, как правило, строятся на основе специальных матричных датчиков температуры – болометров. Они представляют собой матрицу миниатюрных тонкоплёночных терморезисторов. Каждый пиксель (ячейка) на матрице реагирует на сфокусированное на него инфракрасное излучение, нагревается и увеличивает своё сопротивление, после передаёт электрический сигнал, который преобразуется в картинку на дисплее. Эквивалентная шуму разность температур (NETD), или температурная чувствительность – важный параметр, характеризующий качество матрицы тепловизора. Данный параметр характеризует такую температуру наблюдаемого объекта, сигнал от которой равен сигналу от шума. Когда тепловизор включён на матрицу попадает не только излучение исследуемой поверхности, но и сторонний шум. Когда шум равен самой малой разнице температур, поддающейся измерению – тепловизионный детектор больше не может различать полезный тепловой сигнал и формировать изображение наблюдаемых объектов. Чем выше уровень шума, тем выше NETD детектора и тем хуже детектор способен различать малые и незначительные температурные разницы. С меньшим значением NETD более контрастными и заметными будут детали объектов даже с малыми различиями в температуре. Эквивалентная шуму разность температур измеряется в милликельвинах (мК).

$$\text{NETD} < 25 \text{ мК (идеальный тепловизор)} \quad (1)$$

$$\text{NETD} < 30 \text{ мК (отлично)} \quad (2)$$

$$\text{NETD} < 40 \text{ мК (хорошо)} \quad (3)$$

$$\text{NETD} < 50 \text{ мК (приемлемо)} \quad (4)$$

Чувствительность тепловизора – это способность матрицы обнаружить разницу температур между двумя соседними точками. Измеряется в милликельвинах. Чем ниже данное значение, тем более незначительный перепад виден на экране. Чувствительность 100 мК означает, что между соседними точками на матрице должна быть разница не менее 0,1 °С. В противном случае прибор не распознает это, закрасив оба пикселя одним цветом. Чувствительность в 50 мК снижает этот порог до 0,05 °С. Чувствительность важна при выявлении микротрещин и утечек, а также выявлении областей действия повышенных температур.

Важной характеристикой тепловизора является и его поле зрения – FOV. Его измеряют при поверках прибора. Определяется по вертикали и горизонтали.

Это оптический параметр, отражающий размеры видимого в объектив пространства при съёмке конкретного объекта. Измеряется в градусах. Чем меньше показатель FOV, тем дальше можно удалиться от объекта, сохранив качество изображения на дисплее. iFOV – это угол поля зрения, попадающий в один пиксель матрицы тепловизора. Измеряется в мрадиан. Он вычисляется при делении показателя FOV по одной из осей на количество пикселей матрицы. Значение переводится в миллирадианы. Если L – расстояние от оптики тепловизора до исследуемого объекта в метрах, при умножении iFOV на L мы получим S , где S – это минимальный размер объекта, при котором он остаётся видимым на дисплее (мм²) [1].

Погрешность измерения температуры и пороги чувствительности прибора указываются в техническом паспорте. Согласно ГОСТ Р 8.619 – 2006, определяют основную погрешность тепловизора, направляя его на эталонный излучатель на расстоянии, обеспечивающем перекрытие апертурой излучателя (способности собирать свет и противостоять дифракционному размытию деталей изображения) не менее 20% угла поля зрения тепловизора. Находят среднее t_{cp} значение температуры излучателя (среднее в пяти точках на дисплее). Затем определяют среднее значение $[t_{cp}]$ температуры по области, ограничивающей изображение апертуры излучателя на термограмме.

$$t = [t_{cp}] - t_{cp} \quad (5)$$

Так же при поверках определяют пороги чувствительности тепловизора и его неравномерность чувствительности по полю.

Преобразуя сигнал с матрицы на дисплей, мы получаем цветную картинку, на которой разные оттенки цвета означают соответствующие им температуры. Отклонение оттенков цвета от фактического значения температуры на современных устройствах составляет $\pm 1^\circ\text{C}$. Температурные пороги означают, что если температура исследуемой поверхности больше максимальной или меньше минимальной, то для неё не будет соответствующего оттенка цвета на тепловизоре. В промышленной теплоэнергетике используются тепловизоры с большими пределами измеряемых температур.

Если учитывать эквивалентную шуму разность температур, расстояние до исследуемого объекта, качество оптики, матрицы и чувствительность тепловизора, то на исправном дисплее может показываться температура, незначительно отличающаяся от истинной. В современных тепловизорах эта погрешность составляет $\pm 2^\circ\text{C}$ градусов Цельсия (указывается в техническом паспорте тепловизора). Ошибки в настройке тепловизора зачастую могут дать погрешность, которая значительно превосходит паспортный предел погрешности тепловизора. Настройка в тепловизоре наиболее точного значения коэффициента излучения (КИ) и отражённой температуры – две довольно сложные задачи количественного анализа. Разность температур несмотря на погрешность будет видна и при выявлении участков с повышенной температурой при инспекционных работах на теплоэнергетических предприятиях такая погрешность не будет являться значительной. При

диагностике поверхностей дымовых труб показываемая разность температур всё равно будет легко определена

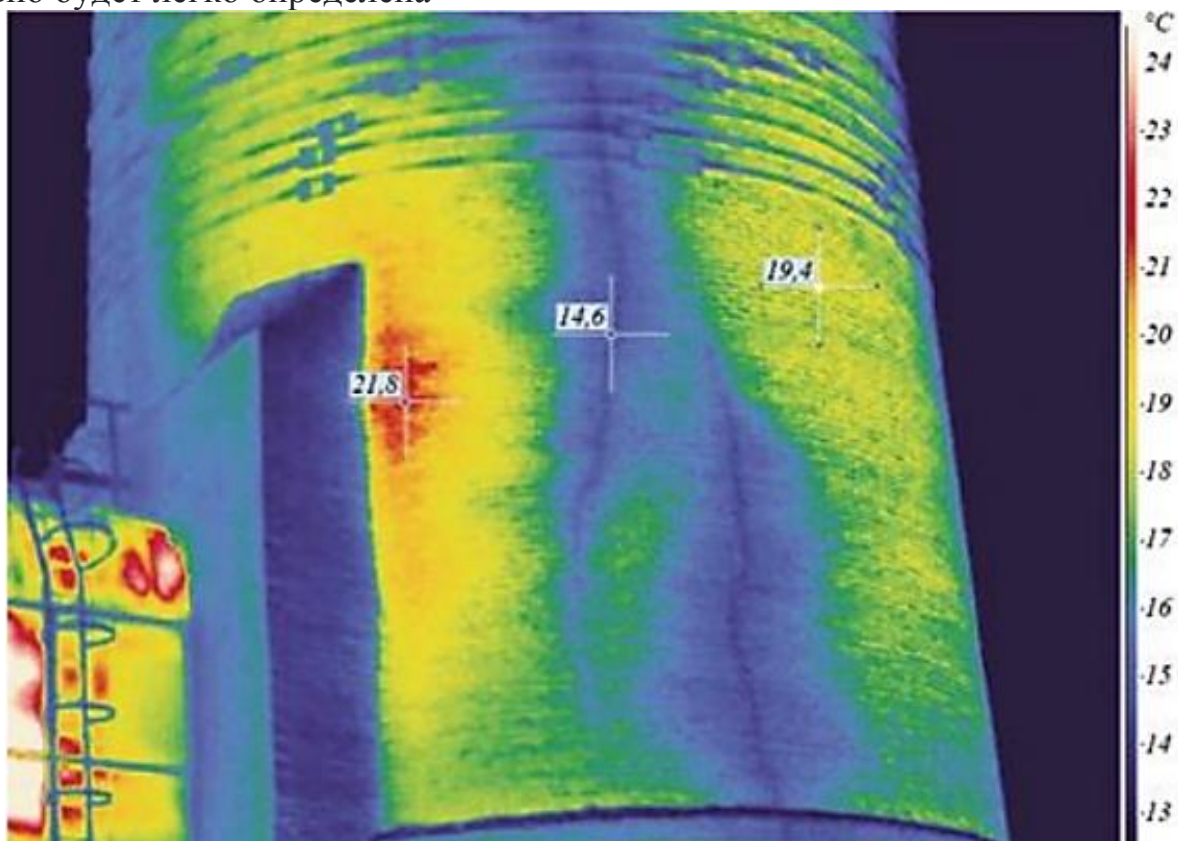


Рисунок 1 – Визуальное отображение разности оттенков при различных температурах

Рынок тепловизоров на территории РБ в основном представляют Китайские и Европейские производители. Промышленные тепловизоры производят такие компании, как Testo SE & Co. KGaA(Германия), Yukon Advanced Optics(США), Fluke Corporation(США) и её дочерняя компания Pulsar. Крупнейшая компания по производству и разработке тепловизоров Flir Systems (США). Китайские тепловизоры представляют фирмы Hikvision, Sytong, iRay, Pard, Conotech, Arkon. На территории РФ осуществляется сборка китайских тепловизоров и производство их такими фирмами как Infratech, Fortuna, Циклон. В РБ производством тепловизоров занимаются заводы фирм Пульсар и Диполь, собирают тепловизоры компании Fortuna. На данный момент по качеству сборки американские и европейские тепловизоры лидируют, однако цены на продукцию этих производителей очень высоки. Высокие цены на тепловизоры обеспечиваются стоимостью материалов (германий, кремний) и стоимостью калибровки сенсора(матрицы). До недавнего времени монополией на производство болометрических матриц обладало только несколько зарубежных компаний. Россия стала четвертой страной, сумевшей разработать собственную тепловизионную матрицу (ЦНИИ «Циклон»). Стоимость германиевой линзы и кремниевой матрицы составляет до 90% цены тепловизора. Цены на промышленные тепловизоры могут достигать 6 тыс. бел. руб.

Заключение

В наше время очень актуально совершенствовать средства дистанционного исследования тепловых параметров. Повышение чувствительности

тепловизоров, дальности их действия позволит проводить необходимые исследования и предотвращать аварийные ситуации, повышать экономичность теплоэнергетических предприятий и уменьшать их воздействие на окружающую среду.

Литература

1. ПП «БРОМ» [Электронный ресурс]/ как поле зрения тепловизора связано с расстоянием до объекта. – Режим доступа: <https://brom.ua/ru/kak-pole-zreniya-teplovizora-svyazano-s-rasstoyaniem-do-obekta/> – Дата доступа: 29.10.2023
2. КИП-Эксперт ООО [Электронный ресурс]/ Профессиональный тепловизор testo 890-2 (комплект Профи). – Режим доступа: <https://kip-expert.by/p4067682-professionalnyj-teplovizor-testo.html> / – Дата доступа: 29.10.2023
3. Руководство пользователя Flir Systems. Publ. No. T559038 Rev. a296 – RUSSIAN(RU) – July 29, 2008
4. Инфракрасная термография в энергетике. Т 1. Основы инфракрасной термографии / Под ред. Р. К. Ньюпорта, А. И. Таджикибаева, авт.: А. В. Афонин, Р. К. Ньюпорт, В. С. Поляков и др. – СПб.: Изд. ПЭИПК, 2000. – 240 с.