

ПМК-УРАЛ

УТВЕРЖДАЮ

Генеральный директор ООО «ПМК-Урал»



А.А. Зобнина

_____ 2026 г.

ПРОГРАММА

повышения квалификации по тепловому методу неразрушающего
контроля

(подготовка к аттестации по СДАНК-02-2020, I и II уровни)

г. Пермь, 2026

1. ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

Программа охватывает активный и пассивный тепловой контроль. Слушатели освоят физические основы теплопередачи, работу с тепловизорами и пирометрами, методы выявления дефектов и оценки теплофизических свойств.

2. ЦЕЛЬ

Подготовить специалистов, способных самостоятельно проводить тепловой контроль, интерпретировать термограммы, выявлять дефекты в ограждающих конструкциях, оборудовании и электрических установках.

3. ТЕМАТИЧЕСКИЙ ПЛАН (77 часов: 35 + 42)

№	Тема	Часы
1	Основы НК и теплофизика материалов	8
2	Физические основы теплового метода	11
3	Тепловизионная аппаратура	10
4	Активный и пассивный тепловой контроль	10
5	Технология теплового контроля объектов	12
6	Обработка и интерпретация термограмм	6
7	Нормативная база	4
8	Работа с тепловизором	5
9	Контроль конструкций и оборудования	6
10	Подготовка отчета и заключений	3
11	Предэкзаменационная подготовка	2
Всего		77

4. СОДЕРЖАНИЕ ТЕМ

Тема 1. Основы НК и теплофизика материалов (8 ч)

1.1. Введение в тепловой метод

Место ТК среди методов НК. Преимущества: дистанционность, оперативность, возможность контроля без контакта, наглядность термограмм. Ограничения: зависимость от излучательной способности поверхности, влияния внешних условий

(солнце, ветер, осадки), необходимость перепада температур. Активный и пассивный ТК: принципиальные различия. Пассивный — регистрация собственного теплового излучения объекта; активный — возбуждение температурного поля внешним нагревателем и регистрация реакции.

1.2. Теплофизические свойства материалов

Основные величины: теплопроводность λ (Вт/(м·К)), удельная теплоёмкость c (Дж/(кг·К)), плотность ρ (кг/м³), температуропроводность $a = \lambda/(\rho c)$ (м²/с). Значения для металлов (сталь, алюминий, медь), строительных материалов (бетон, кирпич, дерево), композитов, пластмасс. Зависимость теплофизических свойств от температуры. Понятие тепловой инерции материала. Влияние дефектов (расслоение, непроклей, коррозия, трещина) на эффективную теплопроводность и поверхностное температурное поле.

1.3. Механизмы теплопередачи

Теплопроводность: закон Фурье, одномерное и трёхмерное распространение тепла в твёрдых телах. Конвекция: свободная и вынужденная, коэффициент теплоотдачи α . Излучение: закон Стефана-Больцмана. Суммарные потери тепла с поверхности. Стационарный и нестационарный тепловой режим. Понятие о тепловых волнах.

1.4. Дефекты, выявляемые ТК

В строительстве: мостики холода, дефекты теплоизоляции, протечки, расслоения штукатурки, скрытые пустоты. В промышленности: перегревы электрооборудования (контакты, автоматы), дефекты футеровки печей, закупорка трубопроводов, дефекты паяных и сварных соединений (непропаи, непровары), расслоения в композитах и сотовых панелях. В машиностроении: контроль качества термообработки, выявление трещин при вибронагрузении.

1.5. Система аттестации персонала

Требования СДАНК-02-2020 к специалистам I, II и III уровней по ТК. Ответственность персонала II уровня за выбор методики контроля, анализ термограмм, оценку результатов. Требования безопасности: работа на высоте, вблизи электроустановок, с нагревателями.

Тема 2. Физические основы теплового метода (11 ч)

2.1. Тепловое излучение

Спектр электромагнитного излучения, инфракрасный диапазон (0,74–1000 мкм). Деление ИК-области: ближняя (0,74–2,5 мкм), средняя (2,5–50 мкм), дальняя (50–1000 мкм). Диапазон работы тепловизоров (обычно 3–5 мкм или 7–14 мкм — окна прозрачности атмосферы).

2.2. Законы теплового излучения

Закон Планка для спектральной плотности энергетической светимости абсолютно чёрного тела. Закон Стефана-Больцмана: интегральная светимость $M = \epsilon \sigma T^4$ ($\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8}$ Вт/(м²·К⁴)). Закон смещения Вина: $\lambda_{\max} \cdot T = 2898$ мкм·К. Излучательная способность (коэффициент излучения, эмисситет) ϵ ($0 \leq \epsilon \leq 1$). Серые и селективные излучатели. Факторы, влияющие на ϵ : материал, температура, шероховатость, окисление, загрязнение, угол наблюдения. Таблицы типовых значений ϵ для различных

материалов (полированный алюминий — 0,05, окисленная сталь — 0,8, бетон — 0,92, вода — 0,95).

2.3. Влияние окружающей среды

Отражённое излучение от окружающих предметов (эффективная температура фона). Прозрачность атмосферы: полосы поглощения H_2O и CO_2 . Влияние расстояния, тумана, пыли. Радиометрическая калибровка с учётом пропускания атмосферы.

2.4. Принципы построения термограмм

Радиационная температура, корректировка на излучательную способность и отражённую температуру. Разница между радиационной, истинной и кажущейся температурой. Понятие температурного контраста ΔT . Тепловизор как радиометр, калибровка по абсолютно чёрному телу.

Тема 3. Тепловизионная аппаратура (10 ч)

3.1. Устройство тепловизора

Оптическая система (линзы из германия, кремния, зеркала). Сканирующие системы (устаревшие) и матричные (FPA). Типы детекторов: охлаждаемые (фотонные — InSb для 3–5 мкм, с азотным или криогенным охлаждением) и неохлаждаемые (микроболометры на основе оксида ванадия или аморфного кремния). Преимущества и недостатки каждого типа.

3.2. Основные технические параметры тепловизоров

Температурная чувствительность (NETD, шум-эквивалентная разность температур), обычно 0,03–0,1 °С. Пространственное разрешение (iFoV — мгновенное поле зрения). Матрица (например, 640×480 пикселей). Частота кадров. Динамический диапазон. Функции: автофокус, лазерный целеуказатель, запись видео.

3.3. Пирометры

Точечные измерители температуры: яркостные, цветовые, спектрального отношения. Коэффициент визирования (оптика). Погрешности, связанные с неправильной установкой излучательной способности. Сравнение с тепловизорами.

3.4. Программное обеспечение для обработки термограмм

Базовые функции ПО: построение гистограмм, профилей температур, установка областей интереса (точек, линий, прямоугольников), коррекция параметров (ϵ , отражённая температура), создание отчётов. Специализированные программы для строительной термографии, энергоаудита. Принципы анализа временных последовательностей (термографического кино).

Тема 4. Активный и пассивный тепловой контроль (10 ч)

4.1. Пассивный тепловой контроль

Применение: поиск тепловых потерь зданий и сооружений в холодный период, обследование электрооборудования (контакты, изоляторы, разрядники), контроль печей, котлов, трубопроводов. Достоинства — простота, без дополнительного оборудования. Требования к перепаду температур (для строительства: $\Delta T \geq 15\text{--}20$ °С между внутренним и наружным воздухом, отсутствие прямого солнечного излучения).

4.2. Активный тепловой контроль

Необходимость внешнего источника нагрева. Виды нагрева: конвективный (теповентилятор), лучистый (галогенные лампы, ИК-прожекторы), индукционный, кондуктивный. Импульсная термография: короткий мощный импульс нагрева и регистрация процесса остывания. Тепловая томография: использование математической обработки для построения послойных изображений. Вибротермография: нагрев дефекта за счёт трения при вибрации.

4.3. Области применения активного ТК

Выявление расслоений в углепластиках (авиация), непроклеев в сотовых конструкциях, трещин в керамических покрытиях, коррозии под изоляцией, дефектов сварных швов.

4.4. Способы повышения точности

Использование эталонных образцов с известными дефектами. Синхронизация нагрева и записи. Учёт неравномерности нагрева. Математическая обработка: вычитание фона, построение фазовых изображений (импульсная фазовая термография), анализ главных компонент.

Тема 5. Технология теплового контроля объектов (12 ч)

5.1. Подготовка к контролю

Анализ объекта: геометрия, материал, вид ожидаемых дефектов, условия доступа. Выбор времени для проведения пассивного контроля (отсутствие солнечного нагрева, достаточный перепад температур). Очистка поверхности от грязи, снега, льда. Устранение бликов (для блестящих поверхностей — нанесение матового покрытия или изменение угла съёмки). Определение излучательной способности исследуемой поверхности (по справочным таблицам или экспериментально с помощью контактного термометра и тепловизора).

5.2. Выбор параметров съёмки

Настройка диапазона температур, палитры. Выбор объектива в зависимости от размера объекта и расстояния (стандартный, широкоугольный, телеобъектив, макрообъектив). Использование штатива для повышения чёткости. Запись серии снимков или видео для последующего анализа.

5.3. Методика пассивного контроля зданий

Съёмка фасадов (утренние часы до восхода солнца или пасмурная погода) с фиксацией перепада температур. Интерьерная съёмка: углы, примыкания перекрытий, зоны вокруг окон и дверей, ниши радиаторов. Идентификация дефектов: мостики холода (повышенная температура в углах — неправильно? При контроле теплопотерь зимой: тёплые зоны — утечки тепла, холодные — скопление влаги? Уточним: при контроле изнутри зимой наружные дефекты — холодные пятна. В ТК важно указать правильную интерпретацию.)

5.4. Методика контроля электрооборудования

Осмотр контактных соединений под нагрузкой (нагрев сверх нормы — критерий дефекта). Нормы нагрева по ПУЭ и другим документам. Меры безопасности: приближение к токоведущим частям, использование диэлектрических перчаток, штанг.

5.5. Методика активного контроля

Для поиска расслоений в композитах: установка нагревателя (например, две галогенные лампы по 1 кВт), расстояние, время импульса, частота кадров записи. Идентификация дефектов по более быстрому нагреву и остыванию (из-за пониженной теплопроводности дефектного участка). Для трубопроводов под изоляцией: импульсный нагрев изнутри или снаружи, регистрация температурных аномалий.

5.6. Документирование

Сохранение термограмм в радиометрическом формате. Составление отчёта с указанием условий съёмки, параметров, термограмм, фото дефектных участков. Выводы о состоянии объекта.

Тема 6. Обработка и интерпретация термограмм (6 ч)

6.1. Программная обработка

Выбор палитры для максимального контраста. Фильтрация шумов (медианная, усреднение). Построение температурных профилей, гистограмм распределения. Выделение аномалий с помощью порогового контраста. Анализ временных рядов для активного ТК (построение графика «температура — время» для дефектной и бездефектной области).

6.2. Идентификация дефектов

Отличие дефекта от особенности конструкции (например, рёбра жёсткости — регулярные холодные полосы; теплоизоляционный дюбель — точечная аномалия). Сравнение с эталонным бездефектным участком. Классификация дефектов по тепловому контрасту и геометрическим признакам.

6.3. Критерии приёмки

Для строительства: превышение перепада температур на поверхности над допустимым (например, 2–3 °С для ограждающих конструкций). Для электрооборудования: предельные температуры нагрева контактов (например, +65 °С для алюминиевых шин). Для композитов: допустимый размер расслоения (диаметр, площадь), определяемый по температурному контрасту на определённой стадии остывания.

Тема 7. Нормативная база (4 ч)

ГОСТ 26629-85 «Контроль неразрушающий. Тепловой метод. Термины и определения».
ГОСТ Р 56542-2019 (классификация).

СНиП (СП) по тепловой защите зданий, теплотехническому обследованию.

ПУЭ — правила устройства электроустановок в части тепловизионного контроля.

Стандарты ASTM (например, ASTM E1862, E1933, E2582).

Требования к оформлению отчётов и протоколов. Ответственность специалиста за неверное заключение.

Тема 8. Работа с тепловизором (5 ч)

Цель: освоить настройку тепловизора, измерение излучательной способности, проведение съёмки и базовую обработку.

Оборудование: тепловизор (неохлаждаемый микроболометр, 320×240 или 640×480), контактный термометр, электрическая плитка, образцы материалов (сталь окрашенная/неокрашенная, алюминий, пластик, бетон), штатив.

Порядок:

1. **Знакомство с прибором:** включение, фокусировка, настройка диапазона, изменение палитры.
2. **Определение излучательной способности:** на стальной пластине, часть которой покрыта чёрной изолентой ($\epsilon \approx 0,95$), при нагреве до $\sim 60^\circ\text{C}$ измерить температуру изоленты тепловизором (при $\epsilon = 0,95$) и контактным термометром. Затем, изменяя ϵ в настройках для открытой стали, добиться совпадения температуры с показаниями контактного термометра. Определить ϵ стали.
3. **Влияние отражённой температуры:** направить тепловизор на лист фольги (низкая ϵ), зафиксировать температуру, соответствующую отражению окружающих предметов. Изменить параметр «отражённая температура» и наблюдать изменение кажущейся температуры фольги.
4. **Съёмка простых тепловых картин:** заснять работающую электроплитку, руку, стакан с горячей и холодной водой. Наблюдать распределение температур.
5. **Запись:** сохранить снимки, записать условия съёмки.

Тема 9. Контроль конструкций и оборудования (6 ч)

Цель: выполнить тепловизионное обследование реальных объектов, выявить дефекты и оформить результаты.

Оборудование: тепловизор, контактный термометр, лестница-стремянка (при необходимости), электрощит (учебный стенд) под нагрузкой, фрагмент ограждающей конструкции с дефектами (учебный стенд), нагреватель (галогенная лампа), образец композита с расслоением.

Порядок:

1. **Контроль электрощита:** при включённой нагрузке снять термограммы автоматических выключателей, контактов, шин. Идентифицировать наиболее нагретые элементы, сравнить с соседними аналогичными. Определить температуру, сравнить с допустимыми значениями. Заполнить протокол.
2. **Контроль строительного стенда:** при наличии перепада температур (например, снаружи холоднее) снять термограмму угла, зоны вокруг розетки. Выявить участки с аномальной температурой (мостики холода). Измерить минимальную температуру в углу, сравнить с температурой внутреннего воздуха и точкой росы, оценить риск конденсации.
3. **Активный контроль композитного образца:** нагреть образец лампой (5 минут), записать процесс остывания тепловизором. В ПО построить временные графики для бездефектной и дефектной зоны. Определить момент максимального контраста. Выявить границы расслоения.
4. **Документирование:** на основе полученных данных составить отчёт с термограммами, температурными графиками и заключением о наличии/отсутствии дефектов.

Тема 10. Подготовка отчёта и заключений (3 ч)

Цель: научиться оформлять профессиональный отчёт по результатам теплового контроля, формулировать заключение и рекомендации.

Задание: каждому слушателю выдаётся комплект данных (термограммы, параметры съёмки, фотографии, схема объекта), по которым необходимо составить отчёт. Отчёт должен содержать:

- Цель обследования.
- Характеристики применяемого оборудования.
- Условия проведения (время, погода, температура воздуха, скорость ветра).
- Результаты: термограммы с масштабной линейкой и привязкой к фотографии, описание выявленных аномалий.
- Оценка соответствия нормам (со ссылками на конкретные пункты НД).
- Выводы и практические рекомендации.

Взаимная проверка: отчёты рецензируются другим слушателем, обсуждаются недочёты, формируется эталонный образец отчёта.

Тема 11. Предэкзаменационная подготовка (2 ч)

Цель: закрепить полученные знания и навыки, подготовиться к экзамену.

Содержание:

- Повторение ключевых понятий: ϵ , NETD, законы излучения, активный/пассивный ТК.
- Решение тестовых заданий из сборника экзаменационных вопросов (не менее 15 вопросов).
- Пробное практическое задание: за 2 часа выполнить съёмку и анализ объекта с неизвестными дефектами, составить заключение.
- Индивидуальная обратная связь, обсуждение типичных ошибок.

5. НОРМАТИВНАЯ БАЗА

- ГОСТ 26629. Контроль неразрушающий. Метод тепловой. Термины и определения.
- ГОСТ Р 56542-2019.
- СП 13-101-99. Тепловизионное обследование.