

Контроль. Диагностика

TESTING. DIAGNOSTICS



5⁽¹⁰⁷⁾ 2007
май



ЗАО "НИИИИ МНПО "СПЕКТР"

Отдел оптических и телевизионных систем диагностики

МПМ-2У

Металлографические
Портативные
Микроскопы

Полная линия решений оперативной металлографии



МПМ-2У-СП



МПМ-2У-КС



МПМ-2У

Модульная конструкция — легкость модификации для работы в труднодоступных местах, на выпуклых и вогнутых поверхностях, трубах малого диаметра (от 20 мм) и др.

Двухкоординатный столик позволяет сканировать поверхность по двум координатам (съемка по ГОСТ 5639)

Увеличение — 100х, 200х, 400х; опционально — 500х, 800х

Габариты — 70x70x120 мм (МПМ-2У, без адаптера и фотокамеры)

Масса — не более 1,2 кг

Питание
от батарей или сети 220 В / 50 Гц

119048, Москва, ул. Усачёва, 35, стр.1, оф. 513-516а

Тел.:(495) 245 57 68, 245 59 18. Тел./факс:(495) 245 53 65. [Http://www.nio7spectr.ru](http://www.nio7spectr.ru). E-mail:nio7@newmail.ru

Контроль. Диагностика



№ 5(107) май 2007

Главный редактор

В.В. КЛЮЕВ, акад. РАН

Заместители

главного редактора:

В.Г. ШЕВАЛДЫКИН

П.Е. КЛЕЙЗЕР

Редакционный совет:

В.Я. БЕЛОБРАГИН

О.Н. БУДАДИН

В.П. ВАВИЛОВ

Б.И. ГЕРАСИМОВ

В.А. ГОЛЕНКОВ

Э.С. ГОРКУНОВ

А.К. ДЕНЕЛЬ

А.Ю. ДЕТКОВ

Ю.Б. ДРОБОТ

И.Н. ЕРМОЛОВ

И.Н. ЖЕСТКОВА

С.П. ЗАРИЦКИЙ

Г.В. ЗУСМАН

А.В. КОВАЛЕВ

В.С. КОТЕЛЬНИКОВ

В.Р. КУЗЬМИН

В.Ф. МУЖИЦКИЙ

В.И. МУРАВЬЕВ

Е.Г. НАХАПЕТЯН

П.П. ПАРХОМЕНКО

К.В. ПОДМАСТЕРЬЕВ

О.Н. РУМЯНЦЕВА

Н.А. СЕМАШКО

Ю.С. СТЕПАНОВ

А.Г. СУСЛОВ

В.В. СУХОРУКОВ

С.А. ТИМАШЕВ

В.М. ТРУХАНОВ

В.Л. ЧАХЛОВ

Г.С. ШЕЛИХОВ

В.И. ЭТИНГОВ

Ответственные за подготовку

и выпуск номера:

П.Е. КЛЕЙЗЕР

С.В. СИДОРЕНКО

В.Г. ШЕВАЛДЫКИН

А.Г. ГАНЖЕНКО

Д.А. ЕЛИСЕЕВ

Журнал зарегистрирован

в Государственном Комитете

Российской Федерации по печати.

Свидетельство о регистрации

№ 016960 от 25.12.97

Журнал распространяется по

подписке, которую можно оформить

в любом почтовом отделении

(индекс по каталогу агентства

Роспечать – 47649).

по Объединенному каталогу

"Пресса России" – 29075,

по каталогу "Почта России" – 60260)

или непосредственно в издательстве.

Тел.: (495) 268 36 54; 268 69 19

Факс: (495) 269 48 97; 268 85 26

Http://www.Mashin.ru

E-mail: td@mashin.ru

СОДЕРЖАНИЕ

● КОНТРОЛЬ, ДИАГНОСТИКА ЗА РУБЕЖОМ

Ланге Ю.В. По страницам иностранных журналов 3

● ТЕОРИЯ, МЕТОДЫ, ПРИБОРЫ, ТЕХНОЛОГИИ

Будадин О.Н., Вавилов В.П. Разработка технологии активного теплового контроля тонкостенных покрытий строительных конструкций 6

Авраменко В.Г., Будадин О.Н., Лебедев О.В., Киржанов Д.В. Обработка тепловизионного изображения при использовании дефектометрии качества строительных сооружений 15

Ильин В.А., Попов А.В. О прочности тонкостенной емкости (бака) с трещиноподобным повреждением коррозионного происхождения 22

Еременко В.П. Методика измерения нелинейности деформирования бетона по числу импульсов акустической эмиссии 27

Мурашов В.В., Румянцев А.Ф. Дефекты монолитных деталей и многослойных конструкций из полимерных композиционных материалов и методы их выявления. Часть 2. Методы выявления дефектов монолитных деталей и многослойных конструкций из полимерных композиционных материалов 31

Ермолов И.Н. Торец вместо зарубки 42

Артамонов В.В., Артамонов В.П., Хитров О.Н. Теоретические и прикладные основы процесса накатки металлографических реплик 44

Горелов В.А. Оценка работоспособности инструмента методами диагностики процессов резания 48

Юркевич В.В. Геометрический образ в продольном сечении детали, обрабатываемой на токарном станке 52

Нахапетян Е.Г. Особенности применения комплексных методов диагностики в быстроперестраиваемых производственных системах 62

● РАЗНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Асанов Г.Н., Ляпина Г.И., Нуждин Г.А., Самошкин Ю.А. Мониторинг удовлетворенности потребителей 71

Итоги IV Международной научно-технической конференции "Диагностика оборудования и конструкций с использованием магнитной памяти металла" 73

Журнал входит в перечень изданий, утвержденных ВАК РФ для публикации трудов соискателей ученых степеней.
При перепечатке материалов ссылка на журнал "Контроль. Диагностика" обязательна.
За содержание рекламных материалов ответственность несет рекламодатель.

О.Н. Будадин, В.П. Вавилов (Технологический институт энергетических обследований, диагностики и неразрушающего контроля "ВЕМО", Москва)

Разработка технологии активного теплового контроля тонкостенных покрытий строительных конструкций

Контроль качества штукатурных покрытий, лепнин, фресок и других декоративных и конструктивных решений является одной из актуальных проблем современных технологий в строительстве и архитектуре. Число отечественных публикаций, посвященных данной тематике, невелико, а в имеющихся работах в основном описан опыт применения способов или приборов контроля без анализа технологии применения и разработки оптимальных режимов контроля для решения конкретных задач [1–3].

Тепловизионная диагностика в силу дистанционности, высокой производительности и безопасности обслуживания весьма перспективна при контроле строительных сооружений, памятников старины и объектов искусства. Данному применению теплового метода был посвящен специальный курс лекций на Европейском семинаре по количественной инфракрасной термографии (Италия, 2006) [4].

Задача теплового (теповизионного) активного контроля тонкостенных конструкций сводится к обнаружению и распознаванию типов дефектов отслоений покрытий от основной конструкции. Это необходимо как для оценки общего технического состояния строительных конструкций, так и для точного определения местоположения и размеров дефектных зон. Существует, например, способ локального "лечения" фресок, который заключается во введении связующего вещества в дефектные полости с помощью шприца, что требует точности установления координат дефектной зоны.

Цель настоящего исследования – разработка технологии активного теплового контроля тонкостенных покрытий строительных сооружений на основе опыта применения тепловидения в строительстве, накопленного Технологическим институтом энергетических обследований, диагностики и неразрушающего контроля "ВЕМО".

Объект и схема контроля

Структурная схема теплового контроля тонкостенных покрытий приведена на рис. 1.

Управляемый источник теплового возбуждения 3 создает в исследуемом объекте 1 процесс нестационарной теплопередачи. Динамическое температурное поле на поверхности исследуемого объекта регистрируется тепловизионной системой 4. Далее информация передается в компьютер 6, где осуществляется ее обработка: обнаружение дефектов, определение их характеристик (тепловая дефектометрия) и т.п. По результатам контроля выпускается отчет, включающий как результаты контроля (типы дефектов, характеристики и координаты месторасположения), так и рекомендации по их устранению.

Обычно штукатурка толщиной 1...2 см непосредственно наносится на поддерживающую стену, а фрески представляют собой многослойные композиции, включающие в себя: слой наружной краски, внедренной в основу (штукатурка), слой специальной штукатурки, связующий слой и материал стены. Основными дефектами подобных конструкций являются отслоения покрытий от основы, что может привести к

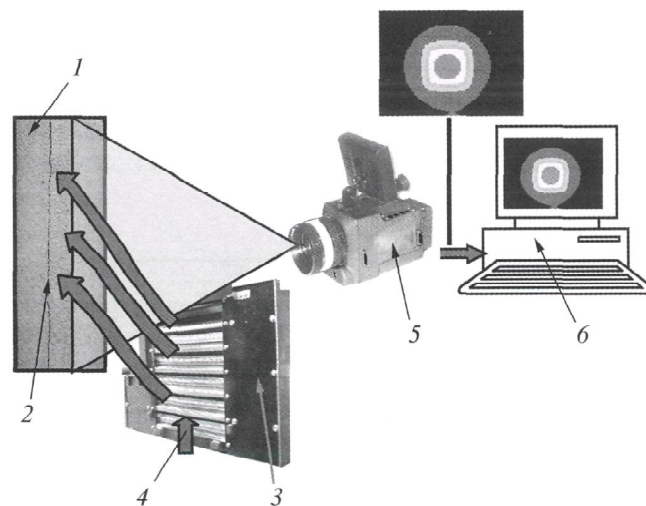


Рис. 1. Схема активного теплового контроля тонкостенных покрытий в строительстве:

1 – исследуемый объект; 2 – дефект типа нарушения сплошности материала; 3 – источник теплового возбуждения; 4 – система управления источником теплового возбуждения; 5 – тепловизионная система; 6 – компьютер

разрушению покрытия. Для тепловой стимуляции фресок используют слабый нагрев оптическим излучением или потоком воздуха в течение нескольких минут, в результате чего температура поверхности фресок повышается не более чем на 5...10 °С относительно окружающей среды. Наружные декоративные покрытия строительных сооружений могут просто нагреваться на солнце.

Результаты моделирования

Будем рассматривать тепловую модель покрытия, представленную на рис. 2. Типичные характеристики исследуемой конструкции приведены в табл. 1.

Настоящее исследование состояло из трех этапов.

На *первом этапе* выполнены теоретические исследования возможности теплового контроля исследуемых объектов с определением оптимальных режимов обнаружения и идентификации дефектов. На *втором этапе* экспериментально обоснована технология неразрушающих испытаний на искусственных (эталонных) и естественных дефектах покрытий. Характеристики дефектов определяли методом тепловой дефектометрии [1, 5]. На *третьем этапе* оценивали погрешность результатов экспериментальных исследований и достоверность контроля.

В теоретических исследованиях использовали методику, описанную в [1]. Тепловое нагружение моделировали источником с переменной плотностью мощности нагрева. Разность температур дефектного и качественного участков возрастает с увеличением

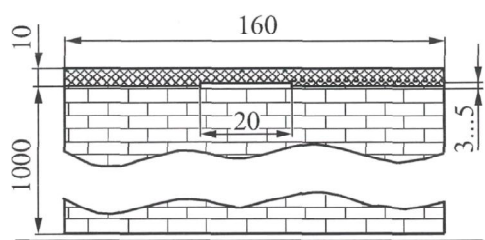


Рис. 2. Модель штукатурного покрытия стены

1. Характеристики исследуемой конструкции

Характеристики слоев	Слой 1 (штукатурка)	Слой 2 (кирпичная кладка)
Теплопроводность, Вт/(м·°С)	0,3	0,76
Теплоемкость, Дж/(кг·°С)	840	880
Плотность, кг/м ³	1000	1700
Толщина слоя, м	0,01	1

мощности и длительности нагрева. Для обеспечения превышения температуры поверхности покрытия над температурой окружающей среды не более 5...10 °С мощность нагрева ограничили величиной 575 Вт/м², а длительность нагрева – 60 с.

Результаты исследований представлены в виде графиков и смоделированных термограмм на рис. 3–8.

На рис. 3 показан график изменения разницы температур дефектной и бездефектной областей от времени при нагреве источником с плотностью мощности $P = 575 \text{ Вт/м}^2$. Видно, что максимальный температурный сигнал (экстремум) амплитудой $\Delta T = 3,5 \text{ °С}$ достигается через 111 с после начала нагрева (или через 51 с после окончания нагрева).

На рис. 4 представлено смоделированное видеоизображение температурного поля дефектного участка при нагреве источником $P = 575 \text{ Вт/м}^2$ (111 с после начала нагрева).

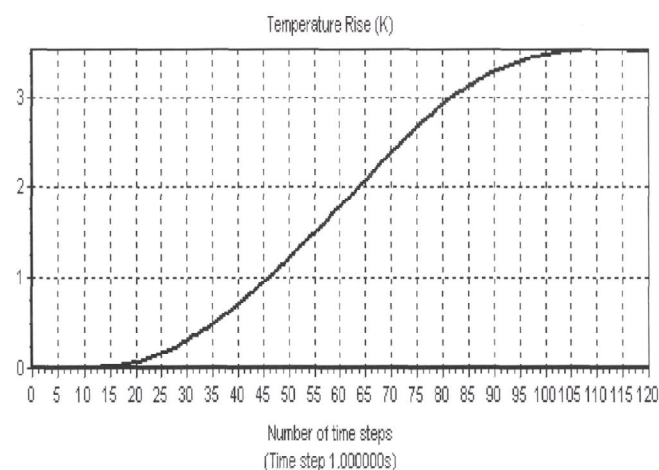


Рис. 3. Изменение поверхностной температуры покрытия во времени (программа ThermoCalc-6L "Инновация")

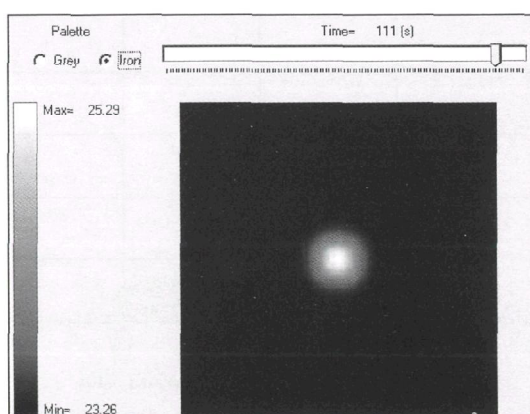


Рис. 4. Пример искусственной термограммы покрытия с дефектом размером 3×3 см

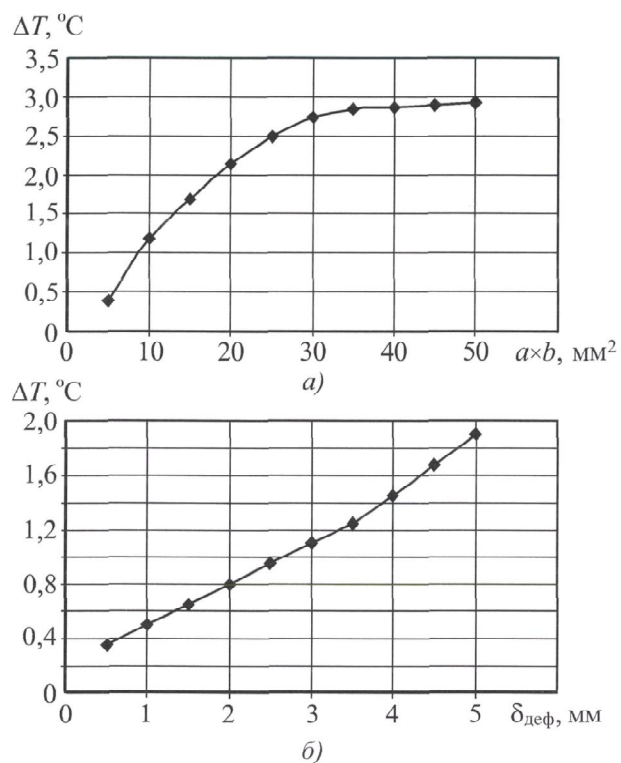


Рис. 5. Зависимость температурного сигнала от поперечных размеров (а) и толщины (б) дефектов ($P = 575 \text{ Вт/м}^2$, $t_{\text{нагр}} = 60 \text{ с}$, $\delta_{\text{def}} = 5 \text{ мм}$)

Очевидно, что температурный сигнал, обусловленный дефектами, возрастает с увеличением поперечных размеров $a \times b$ и толщины дефектов δ_{def} . Соответствующие зависимости приведены на рис. 5. Изменение избыточных температур в дефектной и бездефектной областях во времени показано на рис. 6.

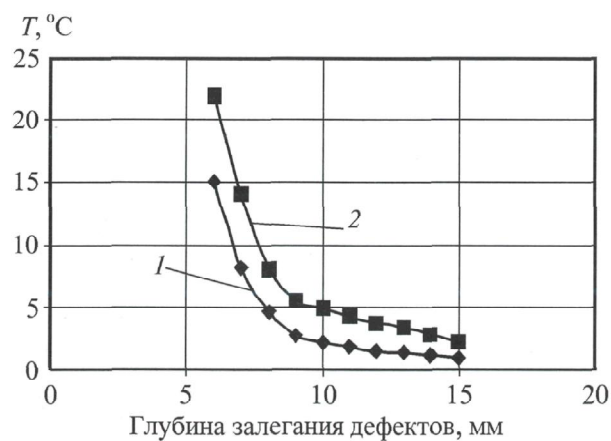


Рис. 6. Изменение температуры в бездефектной (кривая 1) и дефектной (кривая 2) областях ($P = 575 \text{ Вт/м}^2$, $t_{\text{нагр}} = 60 \text{ с}$, $\delta_{\text{def}} = 5 \text{ мм}$)

Теоретические расчеты позволили определить комбинации дефектных параметров, соответствующие пределу обнаружения дефектов в конкретных ситуациях. Например, в описываемой модели возможно обнаруживать дефекты размером 5×5 мм и толщиной $1,5 \dots 3$ мм при нагреве тепловым потоком 575 Вт/м^2 в течение 60 с.

Результаты эксперимента

Экспериментальные исследования проводили на образцах с искусственными дефектами, имитирующими дефекты покрытий строительных конструкций.

Образец представляет собой деревянную основу размером 310×140 мм и толщиной 18 мм с нанесенным слоем гипса толщиной 6 мм (общая толщина образца 24 мм). Теплотехнические характеристики такого образца соответствуют теплотехническим характеристикам большинства тонкостенных покрытий строительных конструкций. Между деревянной основой и слоем гипса были смоделированы 3 дефекта в виде воздушных промежутков (рис. 7).

Геометрические и теплофизические характеристики экспериментального образца приведены в табл. 2, 3. Температура окружающего воздуха при проведении экспериментов составляла $+22 \text{ }^\circ\text{C}$, плотность мощности поглощенного образцом теплового потока – на уровне $500 \dots 800 \text{ Вт/м}^2$.

Результаты теоретического анализа теплового контроля стандартного образца приведены на рис. 8, 9.

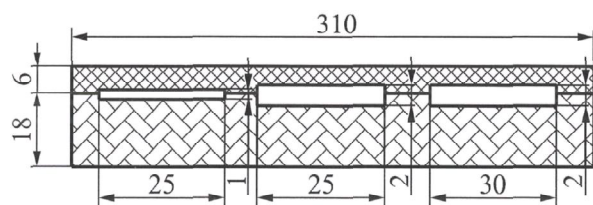


Рис. 7. Схема стандартного образца покрытия с искусственными дефектами

2. Геометрические характеристики дефектов в стандартном образце

Размеры дефектов	Номер дефекта		
	1	2	3
Длина, мм	70	70	70
Ширина, мм	25	25	30
Раскрытие, мм	1,3	2	2
Глубина залегания, мм	6,0	6,0	6,0

(Продолжение статьи на стр. 13)

(Продолжение. Начало на стр. 6)

3. Теплофизические характеристики дефектов в стандартном образце

Характеристики слоев	Слой 1 (гипс)	Слой 2 (дерево)
Теплопроводность, Вт/(м·°С)	0,47	0,18
Теплоемкость, Дж/(кг·°С)	840	2300
Плотность, кг/м ³	1200	500
Толщина слоя, м	0,006	0,018

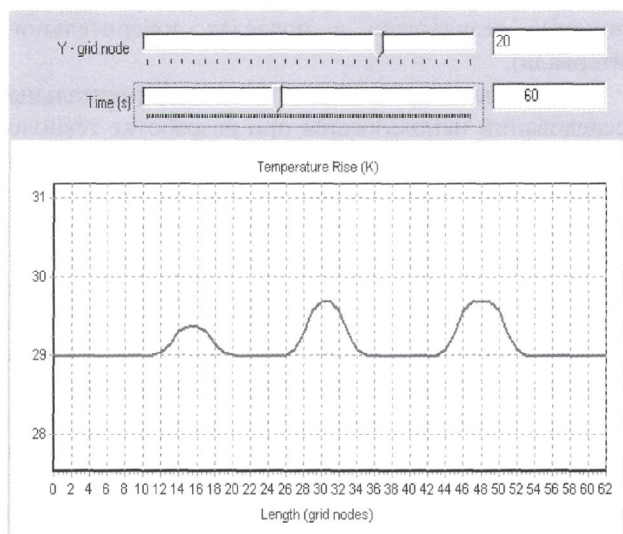


Рис. 8. График температуры в дефектной зоне стандартного образца (60 с после начала нагрева, ThermoCalc-6L)

На графике температуры в дефектной зоне (рис. 8) видно, что максимальная температура в ней составляет +29 °С, т.е. повышается на 8 °С (начальная температура изделия +22 °С). Максимальные значения температурного сигнала составили 1,72; 2,64 и 2,83 °С и наблюдались соответственно при 92; 87 и 91 с соответственно (рис. 9). Сделан вывод, что искусственные дефекты достаточно точно имитируют реальные дефекты и могут быть использованы для экспериментальных исследований.

Рис. 10. Термограмма и график температуры стандартного образца (тепловизор "ИРТИС-200")

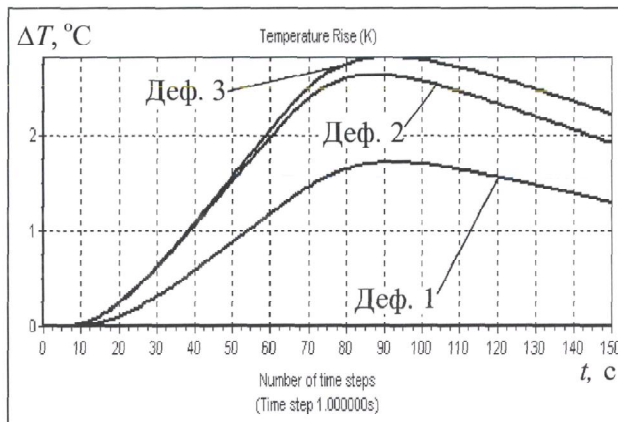
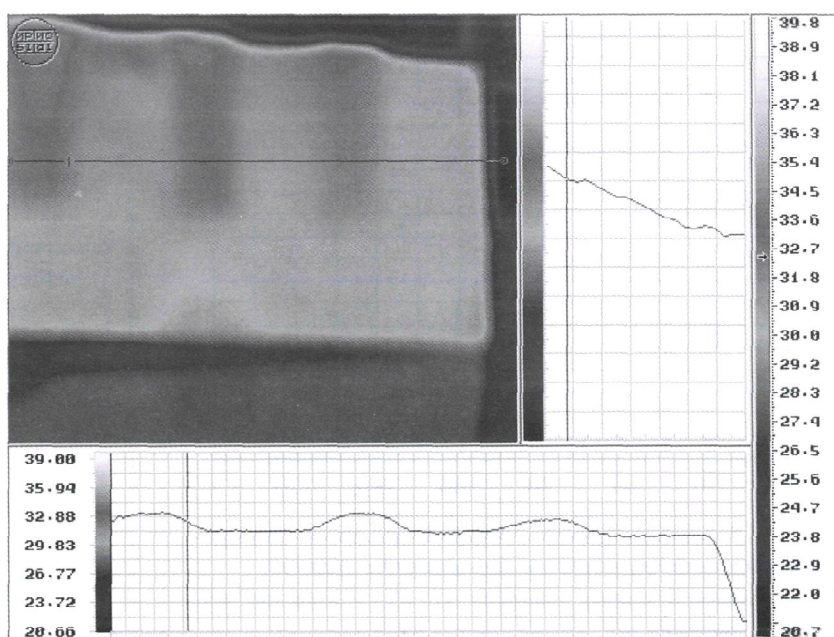


Рис. 9. Изменение дифференциального температурного сигнала во времени для стандартного образца (ThermoCalc-6L)

В соответствии с результатами теоретического анализа образец нагревали в течение $t_{нагр} = 60$ с, после чего регистрировали термограммы портативным компьютерным тепловизором "ИРТИС-200". На рис. 10 в качестве примера приведена одна из экспериментальных термограмм, а также профиль температуры в дефектной зоне, схожий с расчетным профилем, представленным на рис. 9.

По результатам экспериментальных исследований построены зависимости изменения разницы температур между дефектными и бездефектными областями во времени (рис. 11).

Из графиков видно, что максимальные значения температурного сигнала составляют 1,6; 2,4 и 2,5 °С и наблюдаются соответственно при 93; 89 и 93 с.

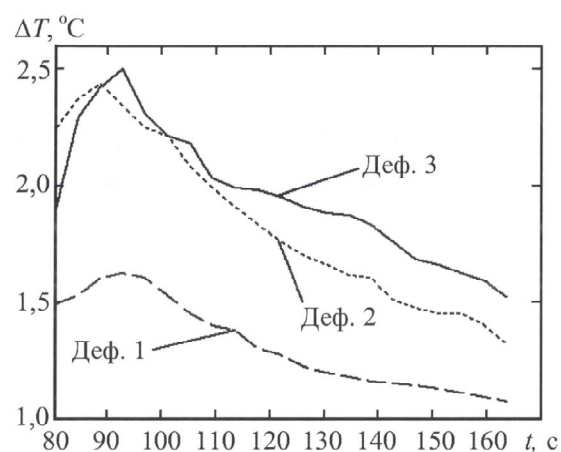


Рис. 11. Экспериментальные зависимости дифференциального температурного сигнала от времени

Полученные данные достаточно хорошо согласуются с результатами теоретических исследований и доказывают возможность теплового контроля исследуемых конструкций.

Результаты дефектометрии и погрешность экспериментальных результатов

На рис. 12 показан экспериментальный коридор возможных значений ΔT на временном интервале 60...120 с после окончания нагрева.

Статистический анализ результатов показал, что при допустимой суммарной погрешности всех измерений не более $0,5^\circ\text{C}$ вероятность выявления дефекта

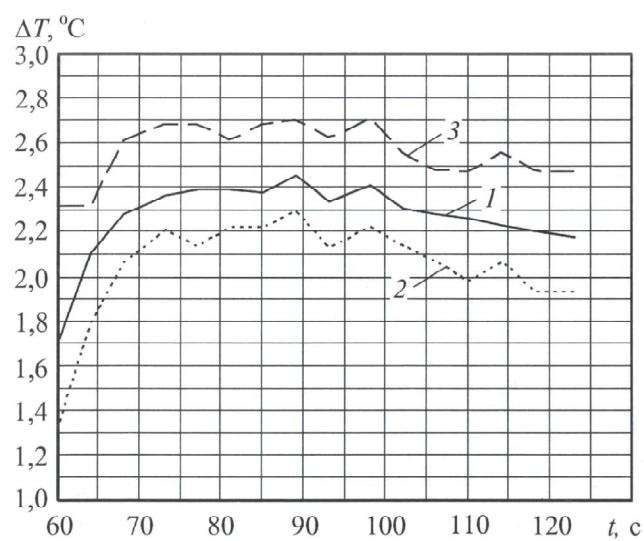


Рис. 12. Возможные значения дифференциального температурного сигнала при контроле стандартного образца: 1 – экспериментальные значения ΔT ; 2, 3 – коридор возможных значений ΔT : 2 – ΔT_{\min} ; 3 – ΔT_{\max}

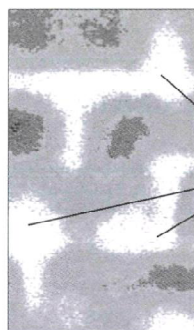


Рис. 13. Экспериментальная термограмма штукатурного покрытия стены жилого дома

составляет около 98 % для неблагоприятных условий контроля (максимальная инструментальная погрешность, влияние окружающей среды, максимальное отклонение результатов в пределах доверительного интервала).

Результаты теоретических и экспериментальных исследований использованы при разработке технологии (методики) активного теплового контроля покрытий строительных сооружений. Апробация методики проведена при диагностике штукатурного покрытия ограждающей конструкции жилого дома, имевшего дефекты типа отслоений от основания. Пример экспериментальной термограммы участка покрытия с дефектами (после компьютерной обработки изображения) приведен на рис. 13. Применение данной методики для контроля настенных фресок требует дополнительных исследований по идентификации полезных температурных сигналов на фоне существенных структурных помех, обусловленных оптической неоднородностью фресок (см. пример такого анализа в [3]).

Результаты обработки полученных данных в соответствии с методикой, изложенной в [1], приведены в табл. 4. Видно, что погрешность определения характеристик дефектов не превышает 14 %, что удовлетворяет

4. Сравнение результатов теплового контроля и препарации

Характеристики дефектов	Результаты теплового контроля	Результаты препарации (прямого измерения характеристик дефектов)	Погрешность контроля, %
Характерная протяженность, мм	18	20,5	12
Раскрытие, мм	1,2	1,3	8
Глубина залегания, мм	5,5	6,2	11,3
Теплопроводность, Вт/(м·°C)	0,025	0,022	13,6



практическим потребностям и согласуется с результатами теоретических и экспериментальных исследований.

Выводы

1. Теоретически и экспериментально доказана возможность применения теплового (тепловизионного) неразрушающего контроля для обнаружения отслоений тонких строительных покрытий от основания, определены области применения и возможности теплового метода.

2. Разработана и апробирована методика теплового контроля для практических обследований тонких строительных покрытий, в частности штукатурных покрытий ограждающих конструкций жилых домов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Будагин О.Н., Потапов А.И., Колганов В.И. и др. Тепловой неразрушающий контроль изделий. М.: Наука, 2002. 476 с.

2. Вавилов В.П. Тепловой контроль. М.: Машиностроение, 2004. 678 с. (Неразрушающий контроль: справ: 8 т. / под ред. В.В. Клюева. Т. 5.).

3. Вавилов В.П., Гринцато Э., Бизон П., Маринетти С. Тепловой контроль воздушных расслоений под фресками // Дефектоскопия. 1994. № 7. С. 3–83.

4. Grinzato E. Applications of infrared thermography to works of art: Preconference short course notes // 8th Inter. Conf. on Quantitative Infrared Thermography QIRT'06, 28–30 June 2006. 80 p.

5. Лебедев О.В., Будагин О.Н., Авраменко В.Г. и др. Разработка метода тепловой дефектометрии на основе решения обратных задач нестационарной теплопроводности // Всерос. науч.-техн. конф. "Неразрушающий контроль и техническая диагностика при производстве и эксплуатации авиационной и космической техники", Санкт-Петербург, 5–7 октября 2005 г. СПб.: ВЦ Северо-Запада РФ, 2005.

В.Г. Авраменко, О.Н. Будагин, О.В. Лебедев, Д.В. Киржанов
(Технологический институт энергетических исследований,
диагностики и неразрушающего контроля "ВЕМО",
Институт машиноведения им. А.А. Благонравова РАН, Москва)

Обработка тепловизионного изображения

при использовании дефектометрии качества строительных сооружений

В настоящее время много внимания уделяется решению проблем строительства и реконструкции зданий для обеспечения комфортного пребывания в них людей при эффективном использовании энергоносителей. Это связано с тем, что значительная часть основных фондов производственных строительных конструкций превысила допустимый ресурс эксплуатации, что привело к увеличению расхода энергоносителей. Нормальной практикой на территории России являются показатели удельного потребления условного топлива на человека, превышающие в несколько раз аналогичные западные [1]. В этом виноваты не только климатические условия, но и состояние жилищного фонда. По экспертным оценкам Госстроя РФ, только в зданиях массовых серий сверх нормы теряется до 40 % поступающих в них энергоресурсов. В целях экономии топливно-энергетических ресурсов издан указ Президента РФ [2]. Ужесточение требований к энергосбережению на территории России регламентируется СНиП и ГОСТ [4], а в Москве – московскими городскими строительными нормами [5]. Энергетической стратегией России на период до 2020 г. определено, что до 3/4 необходимого прироста

энергопотребления страны должно быть обеспечено за счет энергосберегающих мероприятий. Таким образом, энергоэффективность и энергосбережение являются приоритетами энергетической стратегии России.

Актуальность данной работы подтверждается рекомендациями и нормативными документами, а именно протоколом совместного заседания Совета Безопасности Российской Федерации и президиума Государственного совета Российской Федерации [6]. Согласно этому документу следует "сконцентрировать усилия и ресурсы на реализации конкурентоспособных технологий, направленных на повышение эффективности использования энергетических и природных ресурсов и других перспективных технологий". Перспективность метода теплового неразрушающего контроля подтверждается указом Президента Российской Федерации [7], за разработку которого была присуждена Государственная премия в области науки и техники за 2003 г. Правительством Москвы принято постановление [8], направленное на развитие инновационных научно-исследовательских программ в сфере