

Контроль. Диагностика

TESTING. DIAGNOSTICS



8(110) 2007
август

КРОПУС[®]
Научно-Производственный Центр

<http://www.kropus.ru>
email: sales@kropus.ru

Certified ISO 9001-2000 by

EVQi

Профессиональное оборудование
для неразрушающего контроля



Ультразвуковые
дефектоскопы
для металлов
и пластиков



Ультразвуковые
толщиномеры
и толщиномеры
покрытий



Динамические и
ультразвуковые
твердомеры



Магнитные
коэрцитиметры



Оптические и видео-
эндоскопы



Вихретоковые
дефектоскопы



Ферритометры и
измерители
электропроводности



Промышленные
системы
контроля

**3 года гарантии на
все оборудование !!!**

Производственно-технический центр: 142400, г. Ногинск, МО, ул. 200-летия города, 2
тел.: (495) 500-21-15, (49651) 5-50-56, факс (49651) 5-83-89
г. Москва: ул. Шарикоподшипниковская, 4, тел./факс: (495) 786-69-53, 786-69-54
г. Санкт-Петербург: ул. Магнитогорская, 51, тел./факс: (812) 923-77-45, 441-38-64

Контроль. Диагностика



№ 8(110) август 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. СУХОРОУКОВ

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 издательство.
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

Авраменко В.Г., Лебедев О.В., Будадин О.Н., Абрамова Е.В. Использование метода эталонного слоя для определения сопротивления теплопередаче наружных ограждающих конструкций зданий 6

Баранов С.В., Будадин О.Н., Лебедев О.В., Слитков М.Н. Тепловой контроль и диагностика технического состояния плоских нагревательных элементов при эксплуатации с оценкой остаточного ресурса 15

Авраменко В.Г., Лебедев О.В., Будадин О.Н., Абрамова Е.В. Метод корректного определения плотности теплового потока 23

Крюков А.В., Закарюкин В.П., Степанов А.Д., Астахин С.М. Тепловизионное диагностирование в системах тягового электроснабжения 27

Нагулин Н.Е., Нагулин С.Н. Применение алгоритма итерационного поворота вектора для построения приемного тракта ультразвукового сканера 31

Завойчинский Б.И., Завойчинская Э.Б. Методика оценки остаточного срока службы и периодичности проведения диагностики технического состояния трубопроводов (Часть 4) 36

Каргапольцев В.П., Симахин И.Я. Энергосбережение с применением защитного мониторинга электродвигателей 46

Бочаров В.М., Головаш А.Н., Шахов В.Г. Математические алгоритмы технического диагностирования 48

Ксенофонтов В.Е. Разработка алгоритмов диагностирования навигационного комплекса летательного аппарата на основе его многоуровневой декомпозиции 52

Кольцов В.Н., Захаров М.А. Диагностика силовых кабельных линий 59

Волков С.П., Никоненко В.А. Метрологическое обеспечение неконтактных средств измерения температуры 63

Ковалевский В.В., Фролов А.В. Оценка экологической безопасности автомобильных дизелей термохимически-резистивным методом 71

Павлов И.В., Гордиенко В.Е. К вопросу совершенствования методов диагностики технического состояния конструкций 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.

В.Г. Авраменко, О.В. Лебедев, О.Н. Будадин, Е.В. Абрамова (Технологический институт энергетических исследований, диагностики и неразрушающего контроля "ВЕМО", Москва)

Использование метода эталонного слоя для определения сопротивления теплопередаче наружных ограждающих конструкций зданий

Предложен метод определения сопротивления теплопередаче наружных ограждающих конструкций, основанный на использовании эталонного слоя — дополнительной структуры с заданными теплофизическими характеристиками. Оценена погрешность, связанная с конечными размерами эталонного слоя. Разработан способ существенного упрощения процедуры определения сопротивления теплопередаче по сравнению с методами решения обратных задач, основанными на численном интегрировании уравнения теплопроводности. Предложена возможная конструкция эталонного слоя.

Основной задачей теплового неразрушающего контроля зданий и сооружений является определение теплофизических характеристик материалов наружных ограждающих конструкций исследуемых объектов [1, 2, 3]. К наиболее важным характеристикам конструкций относится сопротивление теплопередаче, которое определяет теплоизоляционные свойства фрагмента конструкции и связывает плотность теплового потока через выбранный фрагмент конструкций с разностью температур воздуха внутри и снаружи помещения, т.е. показывает, насколько эффективно в здании сохраняется тепло зимой и насколько медленно оно прогревается летом.

Большинство существующих методик определения сопротивления теплопередаче многослойных объектов в реальных условиях эксплуатации основаны на непосредственном измерении плотности теплового потока, проходящего через поверхность фрагмента исследуемой конструкции [4, 5]. Однако современные методики приводят к существенной ошибке, что связано с различием теплофизических характеристик поверхности ограждающих конструкций и материала датчика [6].

Большая погрешность обуславливает некорректность определения величины сопротивления теплопередаче наружных ограждающих конструкций.

Целью настоящей работы является разработка альтернативного метода определения сопротивления теплопередаче наружных ограждающих конструкций. В этом методе, с одной стороны, должны быть устранены ошибки, вызванные некорректной регистрацией плотности теплового потока, а с другой стороны,

для достоверного определения теплофизических характеристик исследуемого объекта должна максимально полно использоваться информация о плотностях тепловых потоков, проходящих через поверхности объекта. Метод должен быть применим как в стационарном (т.е. при постоянных во времени температурах воздуха вблизи поверхностей исследуемого фрагмента), так и в нестационарном температурных режимах. Метод должен обеспечивать приемлемую с практической точки зрения точность определения искомых характеристик объекта [7].

Основная идея предлагаемого метода заключается в существенном увеличении размеров датчика в плоскости, параллельной поверхности исследуемого фрагмента (рис. 1). Если линейные размеры "датчика" в этой плоскости в несколько раз превышают толщину исследуемого фрагмента, можно пренебречь влияни-

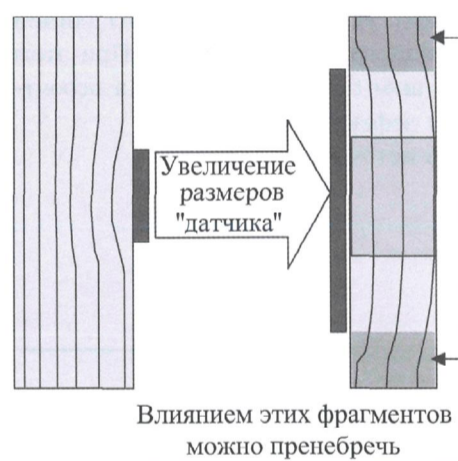
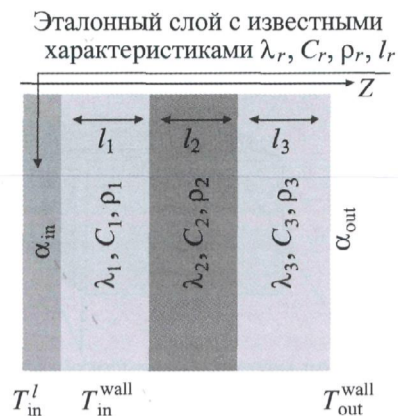


Рис. 1. Основная идея метода эталонного слоя

Рис. 2. Схема слоев материалов фрагмента наружных ограждающих конструкций здания



ем других фрагментов ограждающих конструкций и работать в так называемом одномерном приближении, пренебрегая неоднородностью пространственного распределения температурного поля в направлении, параллельном поверхности фрагмента. При этом к фрагменту фактически добавляется еще один слой с известными характеристиками. Назовем добавляемую структуру эталонным слоем.

Рассмотрим фрагмент наружной ограждающей конструкции здания (рис. 2), состоящий из нескольких слоев. Материалы слоев характеризуются: толщинами l_i , коэффициентами теплопроводности λ_i , удельными теплоемкостями C_i и плотностями ρ_i . Для определения этих величин, а также коэффициентов теплоотдачи поверхностей граничных слоев прикрепим к внутренней поверхности фрагмента дополнительный слой известной толщины l_r с заданными теплофизическими характеристиками λ_r , C_r и ρ_r . Эту структуру в дальнейшем будем называть эталонным слоем. Для упрощения расчетов предположим, что и фрагмент, и эталонный слой имеют бесконечные размеры в плоскости XU (плоскость, перпендикулярная оси Z на рис. 2).

Для определения искомых теплофизических параметров фрагмента необходимо измерить температуры поверхностей исследуемого фрагмента T_{in}^{wall} и T_{out}^{wall} , а также температуру поверхности эталонного слоя T_{in}^l , граничащую с воздухом внутри помещения.

Сопrotивление теплопередаче фрагмента рассчитывают по нестационарному одномерному уравнению теплопроводности [8]

$$\rho_r C_r \frac{\partial T}{\partial t} = \lambda_r \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \quad (1)$$

с известными значениями удельной теплоемкости C_r , плотности ρ_r и коэффициента теплопроводности λ_r

эталонного слоя и заданными граничными условиями:

$$\begin{aligned} T(z = z_{in}, t) &= T_{in}^l(t); \\ T(z = z_{out}, t) &= T_{in}^{wall}(t). \end{aligned} \quad (2)$$

Решением уравнения (1) [9] получают величину плотности теплового потока через внутреннюю поверхность фрагмента как функцию времени $I_{in}^m(t)$.

Плотность теплового потока можно рассчитать и другим способом. Для этого необходимо решить нестационарное уравнение теплопроводности

$$\rho(z)C(z) \frac{\partial T}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial z} \left(\lambda(z) \frac{\partial T}{\partial z} \right) \quad (3)$$

с кусочно-постоянными величинами плотности $\rho(z)$, удельной теплоемкости $C(z)$ и коэффициента теплопроводности $\lambda(z)$, описывающими теплофизические свойства слоев исследуемого фрагмента.

Для решения этой задачи нужно задать граничные условия первого рода на поверхностях фрагмента:

$$\begin{aligned} T(z = z_{in}, t) &= T_{in}^{wall}(t); \\ T(z = z_{out}, t) &= T_{out}^{wall}(t). \end{aligned} \quad (4)$$

Для расчета по уравнению (3) необходимо использовать стандартные условия непрерывности для плотности теплового потока и температуры на границе каких-либо двух слоев, составляющих фрагмент:

$$\begin{aligned} T(0^-, t) &= T(0^+, t); \\ \lambda(0^-) \frac{\partial T}{\partial z} \Big|_{0^-} &= \lambda(0^+) \frac{\partial T}{\partial z} \Big|_{0^+}. \end{aligned} \quad (5)$$

Символ 0^{\pm} обозначает точку, соответственно, слева либо справа от границы слоев в непосредственной близости к границе.

В результате решения уравнения теплопроводности можно получить значение плотности потока, проходящего через внутреннюю поверхность фрагмента $I_{in}^c(t, \{p\})$ как функцию времени, набора теплофизических параметров и толщин слоев, составляющих фрагмент, обозначенных здесь через $\{p\}$.

Заметим, что плотность потока, проходящего через внутреннюю поверхность фрагмента, уже рассчитана с помощью эталонного слоя. Следовательно, при "правильных" значениях параметров $\{p\}$ достигается совпадение плотностей тепловых потоков $I_{in}^c(t, \{p\})$ и $I_{in}^m(t)$. На практике из-за ошибок измерения температуры и из-за различных неучтенных факторов невозможно добиться идеального совпадения этих

зависимостей, можно достичь лишь их максимальной близости.

Степень близости определяется так называемым функционалом правдоподобия, который представляет собой нормированную на полное время измерения τ_m и квадрат средней плотности потока $(\bar{I}_m^{\text{in}})^2$ квадратичную невязку плотностей потоков $I_{\text{in}}^c(t, \{p\})$ и $I_{\text{in}}^m(t)$, проинтегрированную по всему интервалу времени измерения:

$$D(\{p\}) = \frac{1}{\tau_m (\bar{I}_m^{\text{in}})^2} \int_0^{\tau_m} (I_{\text{in}}^c(t, \{p\}) - I_{\text{in}}^m(t))^2 dt;$$

$$\bar{I}_m^{\text{in}} = \frac{1}{\tau_m} \int_0^{\tau_m} I_{\text{in}}^m(t) dt, \quad (6)$$

где τ_m — полное время измерения температурных серий.

Чем меньше значение функционала правдоподобия, тем ближе кривые находятся друг к другу. Следовательно, вычислив глобальный минимум функционала правдоподобия, можно рассчитать истинные значения параметров $\{p\}$.

Для определения коэффициентов теплоотдачи поверхностей фрагмента нужно убрать эталонный слой. Далее необходимо измерить температурные истории воздуха внутри $T_{\text{in}}^{\text{air}}(t)$ и снаружи фрагмента $T_{\text{out}}^{\text{air}}(t)$, а также температурные истории поверхностей фрагмента $T_{\text{in}}^{\text{wall}}(t)$ и $T_{\text{out}}^{\text{wall}}(t)$. Под температурными историями здесь понимается ряд значений температур, измеренных в последовательные моменты времени. Используя температуры поверхностей фрагмента и зная параметры слоев $\{p\}$, можно проинтегрировать уравнение теплопроводности (3) с граничными условиями (4) и найти величины плотностей тепловых потоков через обе поверхности фрагмента $I_{\text{in}}(t)$ и $I_{\text{out}}(t)$ как функции времени. Для нахождения значений коэффициентов теплоотдачи (α_{in} и α_{out}) достаточно разделить среднюю плотность теплового потока $\bar{I}_m^{\text{in, out}}$ на среднюю разность температур воздуха и поверхности фрагмента:

$$\alpha_{\text{in}} = \frac{\tau_m \bar{I}_m^{\text{in}}}{\int_0^{\tau_m} (T_{\text{in}}^{\text{air}}(t) - T_{\text{in}}^{\text{wall}}(t)) dt};$$

$$\alpha_{\text{out}} = \frac{\tau_m \bar{I}_m^{\text{out}}}{\int_0^{\tau_m} (T_{\text{in}}^{\text{air}}(t) - T_{\text{in}}^{\text{wall}}(t)) dt}; \quad (7)$$

$$\bar{I}_m^{\text{in, out}} = \frac{1}{\tau_m} \int_0^{\tau_m} I_{\text{in, out}}^m(t) dt.$$

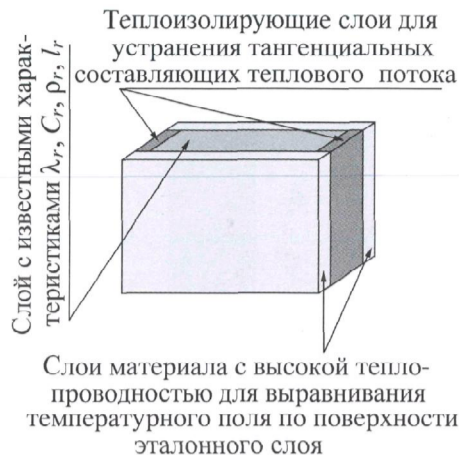


Рис. 3. Конструкция эталонного слоя

Рассмотрим более подробно внутреннюю структуру эталонного слоя (рис. 3). Следует заметить, что здесь представлена лишь рекомендуемая структура эталонного слоя. Реальная структура определяется возможностями изготовителя и объектами, для исследования которых используется эталонный слой.

Основой эталонного слоя является материал с известными толщиной и теплофизическими характеристиками. Слой этого материала должен быть достаточно тонким для возможности использования одномерного приближения.

Боковые поверхности слоя заключаются в обкладки из материала с большим сопротивлением теплопередаче. Это необходимо для того, чтобы исключить тангенциальные составляющие плотности теплового потока.

Для выравнивания пространственного распределения температурного поля по поверхности исследуемого фрагмента в области крепления эталонного слоя нормальные поверхности заключаются в обкладки из материала с высокой теплопроводностью.

К нормальным поверхностям ближе к центру крепятся два датчика (рис. 4). Первый представляет собой термопару, измеряющую разность температур поверхностей эталонного слоя. Второй датчик измеряет абсолютную температуру поверх-

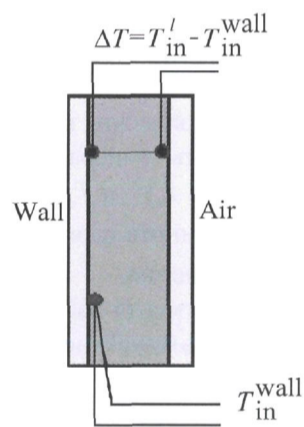
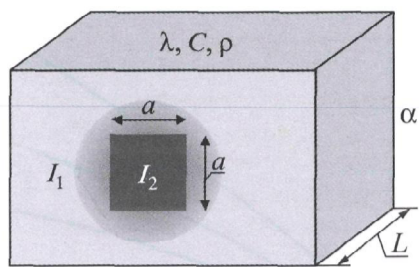


Рис. 4. Схема расположения датчиков внутри эталонного слоя

(Продолжение статьи на стр. 13)

(Продолжение. Начало на стр. 6)

Рис. 5. Принципиальная схема определения погрешности метода



ности эталонного слоя, которая крепится к исследуемому фрагменту.

Рассмотрим теперь ограничения на размеры эталонного слоя, обеспечивающие применимость предложенного метода. Пусть фрагмент ограждающей конструкции состоит из одного слоя с некоторыми теплофизическими характеристиками: теплоемкостью C , теплопроводностью λ , плотностью ρ и коэффициентом теплоотдачи α на дальней поверхности (т.е. поверхности, противоположной той, на которой закреплен эталонный слой). На ближней поверхности фрагмента закреплен эталонный слой в форме квадрата со стороной a (рис. 5). Будем считать, что плотность теплового потока, проходящего через поверхность объекта в области крепления эталонного слоя, равна I_2 , а вне эталонного слоя — I_1 . Необходимо определить толщину фрагмента, при которой будет справедливо одномерное приближение.

В идеальном случае эталонного слоя бесконечных размеров поле плотностей тепловых потоков одномерно и линии теплового потока (т.е. кривые, касательные к которым сонаправлены с вектором плотности теплового потока) направлены перпендикулярно поверхности фрагмента (рис. 6, а). Если размеры эталонного слоя конечны, то однородность поля тепловых потоков нарушается (рис. 6, б). При этом линии теплового потока огибают эталонный слой.

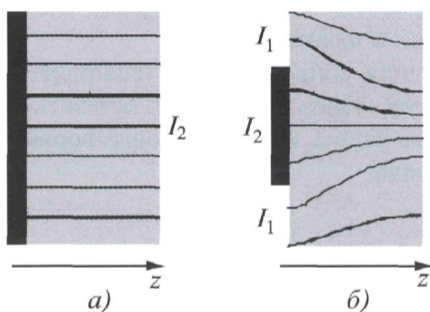


Рис. 6. Поле плотностей тепловых потоков:

а — идеальный случай эталонного слоя бесконечных размеров; б — случай эталонного слоя конечных размеров

Степень отклонения от одномерного приближения можно характеризовать параметром $\xi(z)$, который определяется следующим выражением:

$$\xi(z) = \left| \frac{I_z(z) - I_2}{I_2} \right|.$$

Чем меньше параметр $\xi(z)$, тем более оправдано одномерное приближение. Здесь $I_z(z)$ — z -компонента вектора плотности теплового потока. В идеальном случае датчика бесконечных размеров $I_z(z) = I_2$, поэтому $\xi(z) = 0$. В дальнейшем будем предполагать, что I_1 в 2 раза больше I_2 . При этом в области, где эталонный слой не влияет на температурное поле, $\xi(z) = \frac{I_1 - I_2}{I_2} = 1$. Вообще, величина ξ приблизительно

равна относительной ошибке определения сопротивления теплопередаче фрагмента в стационарном температурном режиме.

Результаты расчетов функции $\xi(z)$ представлены на рис. 7. Оказывается, если толщина объекта больше эталонного слоя, одномерное приближение неприменимо уже при $z \sim \frac{1}{3}a$. При этом ошибка определения сопротивления теплопередаче достигает 50%. На левом графике показаны зависимости $\xi(z)$ для разных толщин фрагмента ($L = 10a$ и $L = a$) и разных значениях приведенного коэффициента теплопроводности фрагмента $\tilde{\lambda}$.

Решение оказывается весьма чувствительным к толщине объекта L . На правом графике построены зависимости $\xi(z)$ для разных толщин объекта L . Из графиков видно, что ошибка, возникающая при использовании одномерного приближения на расстоянии $z = 0,2a$, уменьшается с 25 до 5% при уменьшении толщины объекта соответственно с $0,4a$ до $0,2a$. Из представленных зависимостей следует, что для расчета сопротивления теплопередаче с ошибкой меньше 10% необходимо использовать эталонный слой с линейными размерами, в 4–5 раз превышающими толщину стены.

В предыдущих расчетах предполагалось численное интегрирование уравнения теплопроводности [10] в объеме фрагмента ограждающей конструкции. Теперь рассмотрим альтернативный способ расчета и минимизации функционала правдоподобия.

Для простоты расчетов рассмотрим фрагмент конструкции, состоящий лишь из одного слоя толщины l , материал которого характеризуется коэффициентом

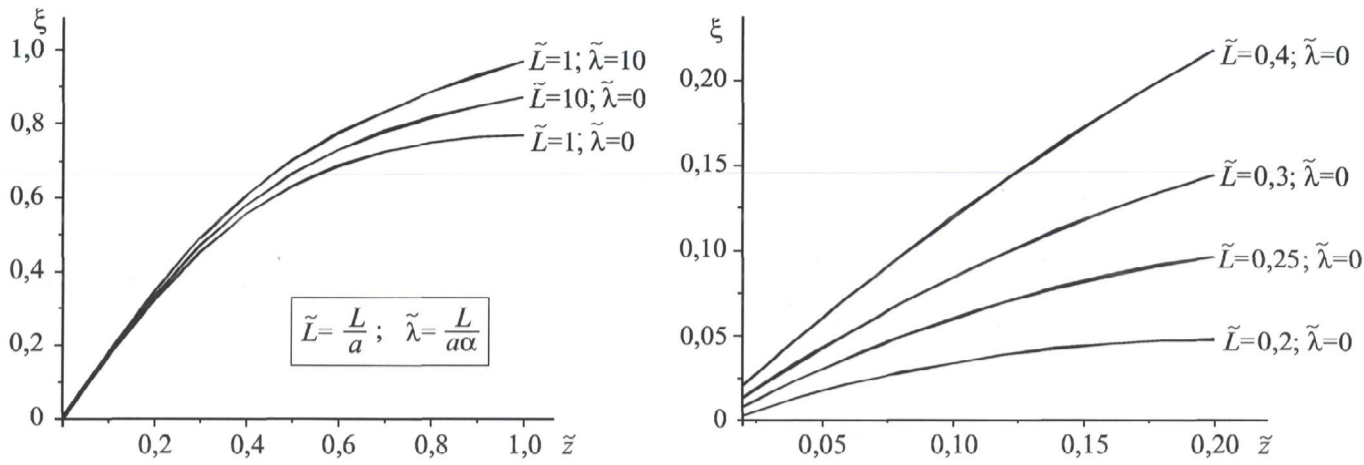


Рис. 7. График функции $\xi(z)$ при различных значениях параметров \tilde{L} и $\tilde{\lambda}$

теплопроводности λ , удельной теплоемкостью C и плотностью ρ . Прикрепим эталонный слой к внутренней поверхности фрагмента.

Зная температурные истории на границах эталонного слоя и решая нестационарное уравнение теплопроводности, можно рассчитать плотность теплового потока, проходящего через внутреннюю поверхность фрагмента исследуемого объекта, $I_{in}^m(t)$ как функцию времени. Разложим эту зависимость в ряд Фурье на отрезке τ_{av} , равном полному времени измерения:

$$I_{in}^m(t) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} I_{in}^m(\omega_n) \exp(-i\omega_n t); \quad (8)$$

$$\omega_n = \frac{2\pi}{\tau_{av}} n.$$

Далее, раскладывая в ряд Фурье временные зависимости температур поверхностей фрагмента,

$$T_{in, out}^{wall}(t) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} T_{in, out}^{wall}(\omega_n) \exp(-i\omega_n t), \quad (9)$$

можно рассчитать величину плотности теплового потока, проходящего через внутреннюю поверхность фрагмента как функцию времени и набора параметров $\{p\}$:

$$I_{in}^c(t) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} I_{in}^c(\omega_n, \{p\}, T_{in, out}^{wall}(\omega_n)) \exp(-i\omega_n t). \quad (10)$$

Заметим, что амплитуды Фурье-гармоник можно рассчитать аналитически. В частности, для фрагмента

однослойной ограждающей конструкции амплитуды Фурье-гармоник описываются следующей формулой:

$$I_{in}^c(\omega_n, \{p\}) = \frac{\lambda}{l} \left(T_{in}^{wall}(\omega_n) \frac{k_n l}{\operatorname{tg} k_n l} - T_{out}^{wall}(\omega_n) \frac{k_n l}{\sin k_n l} \right), \quad (11)$$

$$k_n = \frac{1-i}{\sqrt{2}} \sqrt{\frac{\omega_n C \rho}{\lambda}}.$$

Минимизация функционала правдоподобия при этом сводится к минимизации суммы квадратов разностей Фурье-гармоник:

$$D(\{p\}) = \frac{1}{(\bar{I}_{in}^m)^2} \sum_{n=-\infty}^{\infty} |I_{in}^c(\omega_n, \{p\}) - I_{in}^m(\omega_n)|^2. \quad (12)$$

Представление функционала правдоподобия в виде (12) дает достаточно широкие возможности для анализа. Действительно, как видно из формулы (10), высокочастотные слагаемые ($k_n l \gg 1$) зависят лишь от свойств малой области фрагмента вблизи его внутренней поверхности и не содержат интегральной информации о фрагменте.

Для расчета сопротивления теплопередаче фрагмента из всей суммы (12) следует оставить лишь низкочастотные члены, которые удовлетворяют следующему условию:

$$|1 - \operatorname{tg} k_n l| \ll 1. \quad (13)$$

Как следует из (11), единственным параметром структуры, от которого зависят низкочастотные Фурье-гармоники плотности теплового потока, является сопротивление теплопередаче объекта. Следовательно, минимизация низкочастотных членов функцио-



нала правдоподобия позволяет найти искомое сопротивление теплопередаче исследуемого объекта.

Заключение

Таким образом, разработан метод эталонного слоя, позволяющий определять теплофизические характеристики материалов наружных ограждающих конструкций зданий и строительных сооружений. Искомые характеристики исследуемого фрагмента ограждающих конструкций рассчитываются на основе процедуры минимизации функционала правдоподобия. Метод эталонного слоя существенно основывается на предположении об одномерном характере процесса теплопередачи внутри фрагмента, поэтому применим при условии, что линейные размеры эталонного слоя в плоскости, параллельной поверхности фрагмента, более чем в 4 раза превосходят толщину исследуемого фрагмента ограждающих конструкций. Использование частотного анализа функционала правдоподобия значительно уменьшает время расчетов и повышает достоверность определения сопротивления теплопередаче фрагмента. В статье предложена возможная конструкция эталонного слоя. Практическое использование метода эталонного слоя позволяет обеспечить высокую достоверность определения теплофизических характеристик материалов наружных ограждающих конструкций зданий и строительных сооружений.

ЛИТЕРАТУРА

1. Пат. 2151388. Способ неразрушающего контроля качества объекта / О.Н. Будадин, Т.Е. Троицкий-Марков, Е.В. Абрамова, В.И. Сучков.
2. Пат. 2162597. Устройство для неразрушающего контроля качества объекта / О.Н. Будадин, Т.Е. Троицкий-Марков, Е.В. Абрамова, В.И. Сучков.
3. Будадин О.Н., Потанов А.И., Колганов В.И. и др. Тепловой метод неразрушающего контроля изделий. М.: Наука, 2002. 476 с.
4. Будадин О.Н., Абрамова Е.В., Лебедев О.В., Родин М.А. Аппаратура теплового неразрушающего контроля и определения теплотехнических характеристик зданий и строительных сооружений // Строительные материалы, оборудование, технологии 21 века. 2002. № 9(44).
5. ГОСТ 25380-82. Здания и сооружения. Метод измерения плотности тепловых потоков, проходящих через ограждающие конструкции. Утв. и введ. пост. Гос. ком. СССР по делам строительства 14.07.1982. № 182. М., 1982.
6. Graaf F. van der. Heat Flux Sensors // A comprehensive series. Vol. 4. Ch. 8, Berlin: VCH Verlagsgesellschaft, 1989.
7. ГОСТ 26254-84. Здания и сооружения. Методы определения сопротивления теплопередаче ограждающих конструкций. Введ. пост. Гос. ком. СССР по делам строительства 2.08.1984. № 127. М., 1985.
8. Михеев М.А., Михеева И.М. Основы теплопередачи. 2-е изд. М.: Энергия, 1977.
9. Тихонов А.Н., Самарский А.А. Уравнения математической физики. М.: Наука, 1977.
10. Бахвалов Н.С., Жидков Н.П., Кобельков Г.М. Численные методы. М.: Лаборатория Базовых Знаний, 2002.

С.В. Баранов, О.Н. Будадин, О.В. Лебедев, М.Н. Слитков (Технологический институт энергетических исследований, диагностики и неразрушающего контроля "ВЕМО", Москва)

Тепловой контроль и диагностика технического состояния плоских нагревательных элементов при эксплуатации с оценкой остаточного ресурса

Для поддержания оптимального температурного режима функционирования электронного оборудования и комфортных условий для человека в различных климатических условиях на ряде ответственных объектов широко применяются плоские нагревательные элементы (НЭСТ). По отношению к другим устройствам аналогичного назначения они имеют ряд преимуществ: малый объем при большой теплоотдаче, простота управления, низкие напряжения эксплуатации, простота технологии изготовления (относительно низкие цены) и т.п., что и определило их широкое применение.

В последние годы изношенность оборудования производства, снижение качества сырья и другие аналогичные причины приводят к снижению качества изготавливаемой продукции, в том числе и НЭСТ. Поэтому, несмотря на достаточно высокую эксплуатационную надежность, неоднократно имели место случаи выхода из строя (иногда и с возгоранием) плоских нагревательных элементов на различных ответственных объектах. Это создавало реальную угрозу безопасности как для обслуживающего персонала, так и для весьма сложного и дорогостоящего оборудования.