

# Инженерное оборудование зданий и сооружений

УДК 536.24

DOI: 10.14529/build170207

## СПОСОБ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ОБЪЕКТОВ

**С.А. Панфилов, О.В. Кабанов**

*Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарёва, г. Саранск*

В настоящей статье обсуждается важная роль экспериментального исследования в определении теплофизических свойств (ТФС) исследуемого объекта. Произведён анализ ограничений, существующих методов определения по определению ТФС. Представлена блок-схема разработанного алгоритма для определения ТФС исследуемого объекта. Описан принцип работы установки, разработанной для определения ТФС (коэффициент теплопередачи, сопротивление теплопередаче и удельной тепловой характеристики) исследуемого объекта. Приведены необходимые формулы, требуемые для проведения расчёта ТФС исследуемого объекта. Описаны основные достоинства разработанной установки, по сравнению с известными прототипами.

*Ключевые слова: теплопередача, коэффициент теплопередачи, сопротивление теплопередаче, энергоэффективность.*

**Введение.** Одной из существующих проблем настоящего времени в повышении энергоэффективности является применение простых и надёжных способов (методов) определения потерь теплоты через ограждающие конструкции объекта в окружающую среду и анализ теплофизических свойств (ТФС) – коэффициент теплопередачи, сопротивление теплопередаче и удельной тепловой характеристики, которые влияют существенно образом на тепловой режим. В настоящее время существуют различные методы и устройства по определению ТФС (коэффициента теплопередачи и сопротивления теплопередаче) исследуемого объекта [1–16, 24–31].

Методы, используемые для определения ТФС объектов, делят на три основных вида: нестационарные, стационарные и комплексные [32, 33]. Нестационарные методы по определению ТФС объекта являются наиболее перспективными, за счёт простоты, небольшого времени проведения исследования и т. п. При определении ТФС, в отличие от стационарных, они требуют меньших затрат времени и тепловой энергии. Из вышеперечисленных ведущее место занимают ТМНК (температурные методы неразрушающего контроля). ТМНК имеют широкий функционал возможностей, высокую результативность, достоверность. Комплексные методы позволяют определять ТФС объекта в широком интервале температур. При проведении экспериментов комплексные методы позволяют получить более полную информацию о теплофизических свойствах исследуемого объекта.

В то же время, существующие методы имеют

ограничения, к которым можно отнести: сложные уравнения для расчёта теплофизических свойств; сложность определения реальных граничных условий в процессе исследования; большую длительность процедуры определения ТФС (не менее двух суток); возможное начало экспериментов только после достижения стационарного режима и другие.

**Основная часть.** Существующие способы определения сопротивления теплопередаче и коэффициента теплопередачи устанавливают данные коэффициенты только определённого участка исследуемой конструкции, для того чтобы определить данные теплофизические свойства всего объекта в целом, потребуется большое количество времени. Затраты времени существенно образом влияют на стоимость проводимых работ. В ходе проведения исследования также необходимо обеспечивать создание специальных условий (стабильную температуру на внутренней и наружной поверхности исследуемого объекта) в течение всего времени исследования, что как следствие, определяет высокую энергоёмкость проводимого исследования.

Анализ существующих методов определения ТФС исследуемого объекта показал, что возможна разработка установки, которая будет определять ТФС объекта МНК с использованием современных средств управления и обработки информации за более короткий промежуток времени – нестационарным способом. В литературе [17–31] отмечается, что нестационарные способы определения ТФС являются наиболее перспективными, за счёт

простоты и сокращения времени проведения исследования. Основываясь на проведённом анализе, был разработан алгоритм для энергоэффективного исследования ТФС объекта МНК представленный на рис. 1.

Блок-схема алгоритма содержит 16 блоков. В 1 определяются значения, требующиеся для даль-

нейшего проведения исследования по определению ТФС, а именно, мощность источника теплоснабжения, общая площадь исследуемого объекта по внешнему обмеру, объём исследуемого объекта по внешнему обмеру, поддерживаемая температура внутри исследуемого объекта во время проведения исследования, диапазон изменения темпера-

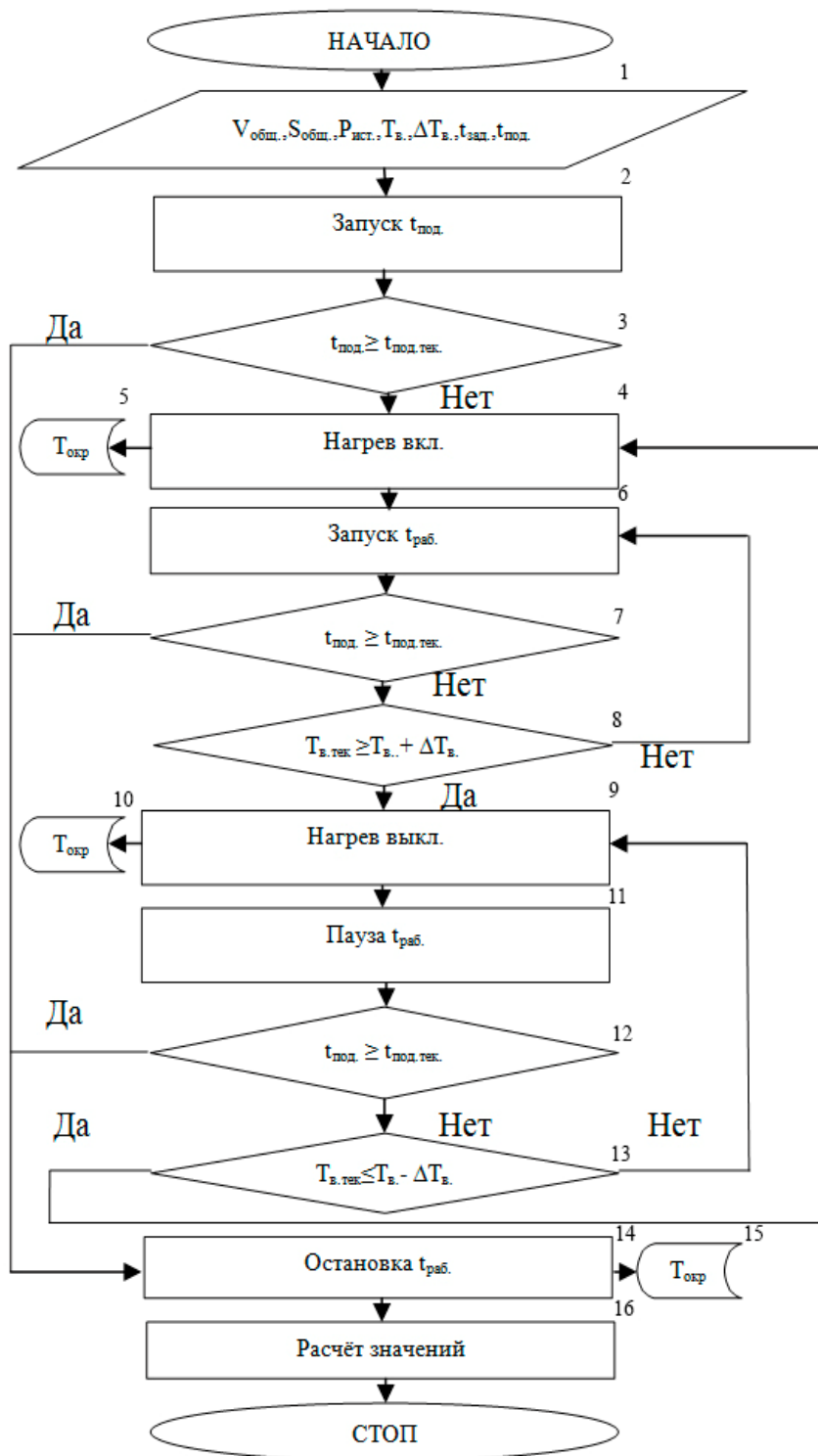


Рис. 1. Блок-схема алгоритма определения ТФС объекта

## Инженерное оборудование зданий и сооружений

туры внутри исследуемого объекта, время проведения исследования, время задержки до момента включения установки. В 2 происходит запуск таймера отсчёта времени проведения исследования. В 3 происходит проверка условия «время проведения исследования больше или равно текущему времени проведения исследования», при выполнении условия управление передаётся блоку 4, в котором производится включение подачи теплоснабжения на разогрев исследуемого объекта; далее в 5 производится регистрация окружающей температуры вне исследуемого объекта. Затем в 6 производится запуск подсчёта времени работы установки в активном режиме. Блок 7 осуществляет анализ условия «время проведения исследования больше или равно текущему времени проведения исследования»; при выполнении условия в 8 осуществляется проверка условия «текущая температура внутри объекта больше или равна заданной температуре с заданным диапазоном поддержания температуры»; если условие не выполняется, происходит возврат в 6, при выполнении условия в 9 производится остановка подачи теплоснабжения; в 10 производится запись значения окружающей температуры вне исследуемого объекта, далее в 11 производится подсчёт работы установки в активном режиме в течение заданного времени. В 12 производится проверка условия «время проведения исследования больше или равно заданному времени проведения исследования»; если условие выполняется, в 13 проверяется условие «текущая температура внутри исследуемого объекта меньше или равна заданной температуре»; при выполнении возврат в 4, иначе переход в блок 14, где производится завершение подсчёта време-

ни работы установки в активном режиме. В 15 регистрируется температура вне исследуемого объекта, в 16 расчёт значений ТФС (коэффициента теплопередачи, сопротивления теплопередаче и удельной тепловой характеристики) исследуемого объекта в целом.

На рис. 2 представлена блок-схема разработанной авторами [23] переносной автоматизированной установки для определения ТФС исследуемого объекта.

Приведем описание работы установки. Перед началом проведения исследования по определению ТФС объекта устанавливаются датчики температуры 3 и 4 по внутреннему и внешнему периметру объекта на равноудалённом расстоянии друг от друга. Определяют значения, необходимые для дальнейшего проведения исследования, а именно: мощность источника теплоснабжения  $P_{ист}$ , общую площадь исследуемого объекта  $S_{общ}$  по внешнему обмеру, объём  $V$  исследуемого объекта по внешнему обмеру, время проведения исследования  $t$ , заданную температуру  $T_v$  и интервал температуры  $\Delta T_v$ . После достижения температуры  $T_v$  программируемым реле 1 фиксируется время активной работы источника теплоснабжения 2 в течение всего времени проведения исследования. С датчиков через установленный интервал времени снимаются показания температуры окружающей среды. По окончании эксперимента производится расчёт искомым коэффициентов исследуемого объекта (коэффициента теплопередачи, сопротивления теплопередаче и удельной тепловой характеристики) по следующим формулам [22, 23]:

Определяют среднюю окружающую температуру за время исследования:

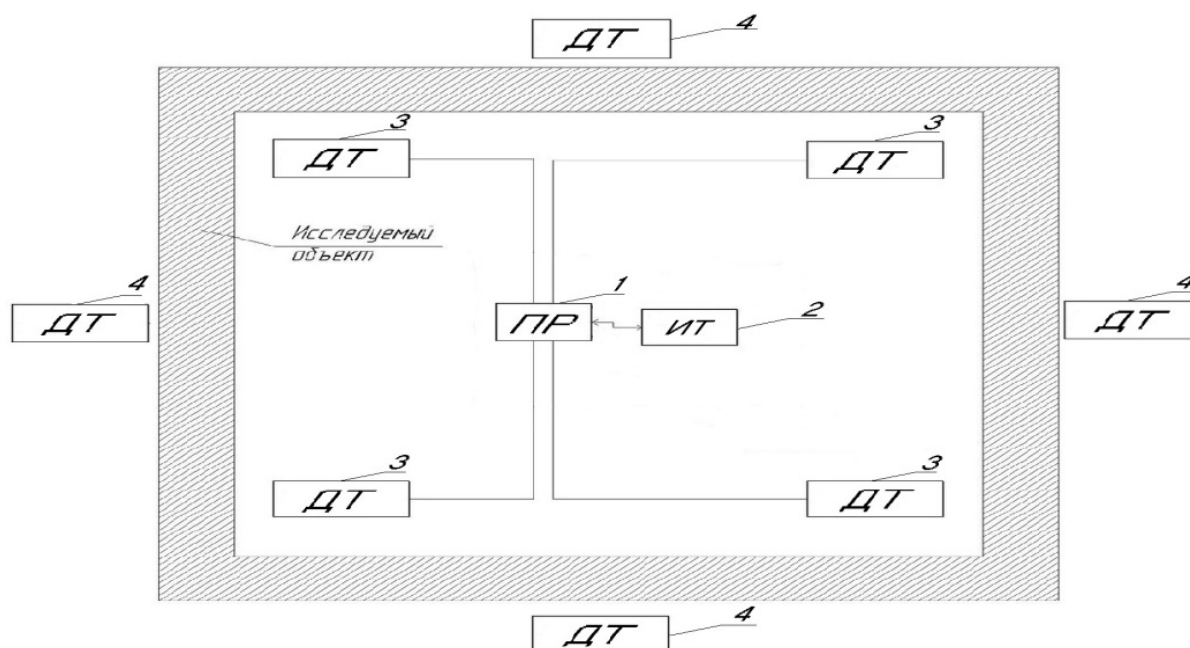


Рис. 2. Блок-схема переносной автоматизированной установки для определения ТФС объекта

$$\bar{T}_{\text{окр}} = \frac{\sum T_{\text{окр}i}}{n}, \quad (1)$$

где  $T_{\text{окр}i}$  – температура окружающей среды в  $i$ -й момент исследования;  $n$  – количество снятых показаний  $T_{\text{окр}i}$  во время исследования.

Определяем среднюю расходуемую мощность необходимую для поддержания установленной температуры за время эксперимента:

$$P_{\text{рас}} = P_{\text{уст}} \frac{t_{\text{раб}}}{t_{\text{под}}}, \quad (2)$$

где  $P_{\text{уст}}$  – номинальная мощность источника теплоснабжения,  $t_{\text{раб}}$  – время активной работы источника теплоснабжения,  $t_{\text{под}}$  – заданное время поддержания установленной температуры  $T_{\text{в}}$ .

Определяют коэффициент теплопередачи объекта в целом  $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})$ :

$$k = \frac{P_{\text{рас}}}{S_{\text{общ}}(T_{\text{в}} - \bar{T}_{\text{окр}})}. \quad (3)$$

Определяют сопротивление теплопередаче всего объекта ( $\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{Вт}$ ):

$$R = \frac{1}{k}. \quad (4)$$

Из литературных источников известно соотношение [21]:

$$q_0 V (T_{\text{в}} - T_{\text{окр}}) = P_{\text{рас}}, \quad (5)$$

согласно которому определяют удельную тепловую характеристику объекта –  $q_0$ ,  $\text{Вт}/(\text{м}^3 \cdot ^\circ\text{C})$ .

Были проведены исследования по апробации данной установки с предустановленным в неё алгоритмом действий [22, 23] на модели объекта.

Используя экспериментальные данные, были определены  $q_0 \text{ эксп} = 33,45 \text{ Вт}/(\text{м}^3 \cdot ^\circ\text{C})$  и  $k_{\text{эксп}} = 2,48 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})$ .

Расходуемая мощность, требуемая для поддержания температуры внутри исследуемого объекта в зависимости от температуры окружающего воздуха, определяется по формуле (3) и (5). Были проведены исследования по определению ТФС (коэффициента теплопередачи и удельной тепловой характеристики объекта) при изменении окружающей температуры. Эксперимент проводился при различных температурах окружающего воздуха 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12  $^\circ\text{C}$ . Также проводился расчёт сопротивления теплопередаче и коэффициента теплопередачи исследуемого объекта [23].

Расчётное сопротивление теплопередаче для исследуемого объекта определялось согласно зависимости:

$$R_{\text{расч}} = \frac{1}{\alpha_B} + \sum \frac{\delta_i}{\lambda_i} + \frac{1}{\alpha_H}, \quad (6)$$

где  $\alpha_B$  – коэффициент теплоотдачи внутренней поверхности ограждающей конструкции,  $\alpha_H$  – ко-

эффициент теплоотдачи наружной поверхности ограждающей конструкции,  $\lambda_i$  – теплопроводность  $i$ -го слоя ограждающей конструкции,  $\delta_i$  – толщина  $i$ -го слоя ограждающей конструкции.

$$\alpha_B = 7,6 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C}), \quad \alpha_H = 6 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C}),$$

$$\lambda_i = 0,12 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot ^\circ\text{C}), \quad \lambda_i = 0,0,0698 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot ^\circ\text{C}),$$

$$\delta_i = 0,010 \text{ м}, \quad \delta_i = 0,002 \text{ м}.$$

$$R_{\text{расч}} = \frac{1}{7,6} + \frac{0,01}{0,12} + \frac{0,002}{0,0698} + \frac{1}{6} = 0,4170 \text{ (м}^2 \cdot ^\circ\text{C)/Вт}.$$

Расчётный коэффициент теплопередачи вычисляется из формулы (3).

$$k_{\text{расч}} = \frac{1}{R_{\text{расч}}} = \frac{1}{0,4170} = 2,40 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C}).$$

В таблице представлены значения коэффициента теплопередачи и удельной тепловой характеристики.

**Значения коэффициента теплопередачи и удельной тепловой характеристики, полученные расчётным путём и экспериментально**

| $T_{\text{окр}}, ^\circ\text{C}$ | $k_{\text{эксп}}, (\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})/\text{Вт}$ | $k_{\text{расч}}, \text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{Вт}$ | $q_0 \text{ расч}, \text{Вт}/(\text{м}^3 \cdot ^\circ\text{C})$ | $q_0 \text{ эксп}, \text{Вт}/(\text{м}^3 \cdot ^\circ\text{C})$ |
|----------------------------------|--|--|---|---|
| 6                                | 2,492  | 2,40   | 32,43   | 33,442  |
| 7                                | 2,466  |  |   | 33,463  |
| 8                                | 2,494  |  |   | 33,445  |
| 9                                | 2,468  |  |   | 33,458  |
| 10                               | 2,491  |  |   | 33,436  |
| 11                               | 2,493  |  |   | 33,461  |
| 12                               | 2,469  |  |   | 33,447  |

На рис. 3 приведена графическая иллюстрация соотношения коэффициентов теплопередачи, полученных экспериментальным и расчётным путём.

На рис. 4 приведены аналогичные зависимости для удельных тепловых характеристик.

Анализ результатов проведённых исследований позволяет сделать вывод о применимости предложенной переносной автоматизированной установки для определения ТФС объектов.

### Выводы

На основании экспериментальных исследований, разработанная установка для определения ТФС объекта по сравнению с известными прототипами позволяет определить коэффициент теплопередачи, сопротивление теплопередаче и удельную тепловую характеристику всего исследуемого объекта в целом, с учетом всех неоднородностей строительных конструкций. По сравнению с известными аналогами разработанная установка с предустановленным алгоритмом работы даёт возможность уменьшить длительность проведения эксперимента, повысить мобильность при прове-

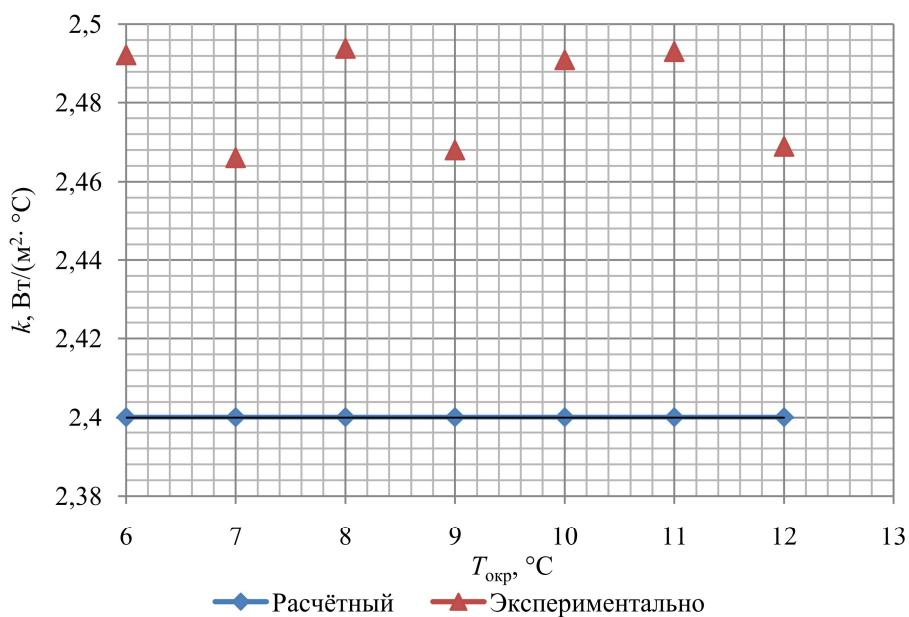


Рис. 3. Графическая иллюстрация соотношения коэффициентов теплопередачи, полученных экспериментальным и расчетным путем

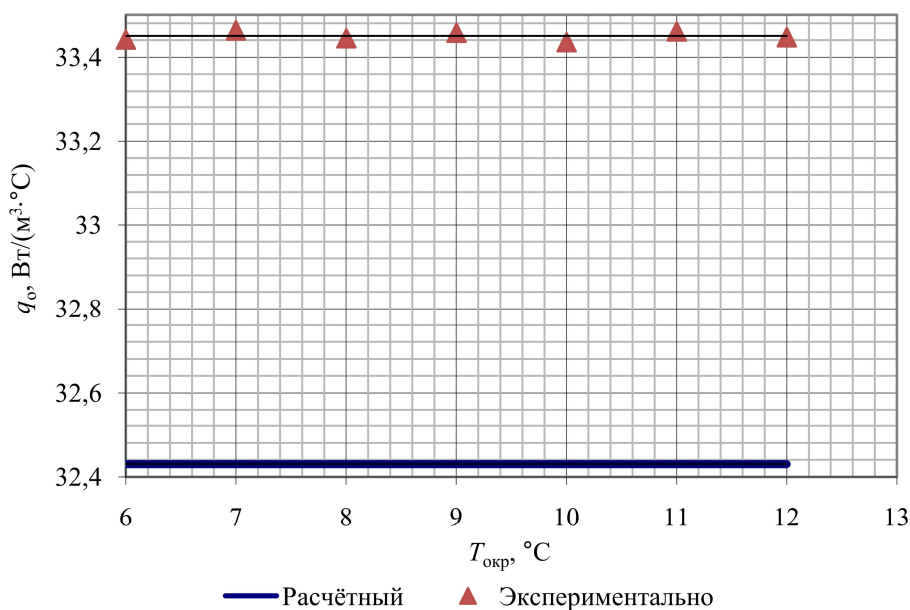


Рис. 4. Соотношение удельных тепловых характеристик, полученных экспериментальным и расчетным путем

дении исследований различных объектов, а оптимизация оборудования используемого для определения ТФС, способствует упрощению конструкции по сравнению с существующими аналогами.

### Литература

1. Патент № 2468359. РФ. МПК G01N 25/18. Способ определения сопротивления теплопередаче ограждающих конструкций строительных сооружений / В.П. Вавилов, А.В. Григорьев,

А.И. Иванов, Д.А. Нестерук. Заявл. 09.06.2011; опубл. 27.11.2012. Бюл. № 33.

2. Патент № 146590 РФ. МПК G01N 25/28. Устройство определения приведенного сопротивления теплопередаче наружных ограждающих конструкций в летний период / С.Г. Головнев, К.М. Мозгалева, А.Е. Русанов. – Заявл. 16.06.2014; опубл. 10.10.2014, Бюл. № 28.

3. Патент № 105998 РФ. МПК G01N 25/58. Стенд для измерения сопротивления теплопере-

даче строительных ограждающих конструкций, оснащенный передвижной кассетой для установки образца / А.А. Верховский, И.Л. Шубин, А.В. Шеховцов, И.М. Нанасов, К.С. Крымов. – Заявл. 15.12.2010; опублик. 27.06.2011, Бюл. № 18.

4. Патент № 2480739. РФ. МПК G01N 25/72. Способ теплового неразрушающего контроля сопротивления теплопередаче строительной конструкции / А.И. Походун, А.Н. Соколов, Н.А. Соколов. – Заявл. 23.08.2011; опублик. 27.04.2013, Бюл. № 12.

5. Патент № 2478938. РФ. МПК G01N 25/18. Способ измерения удельного сопротивления теплопередаче через объект (варианты) и устройство для его осуществления / А.И. Богоявленский, С.В. Иванов, Е.В. Лаповок, А.С. Платонов, С.И. Ханков, К.В. Югов. – Заявл. 04.02.2008; опублик. 10.04.2013, Бюл. № 10.

8. Патент № 2476866. РФ. МПК G01N 25/18. Устройство измерения сопротивления теплопередаче строительной конструкции / С.С. Сергеев. – Заявл. 20.04.2011; опублик. 27.02.2013, Бюл. № 6.

7. ГОСТ 26254–84. Здания и сооружения. Методы определения сопротивления теплопередаче ограждающих конструкций.

8. ГОСТ 31166–2003. Конструкции ограждающие зданий и сооружений. Метод калориметрического определения коэффициента теплопередачи.

9. Патент № 2308710. РФ. МПК G01N 25/18. Способ измерения теплового сопротивления (варианты) и устройство для его осуществления / Т.А. Дацюк, П.Г. Исаков, Е.В. Лаповок, С.А. Платонов, Н.А. Соколов, С.И. Ханков. – Заявл. 27.05.2005; опублик. 20.10.2007, Бюл. № 29.

10. Патент № 2285915. РФ. МПК G01N 25/00. Способ контроля теплозащитных свойств ограждающей конструкции / В.Н. Лавров, В.А. Гитаев, Ю.Д. Сосин. – Заявл. 20.10.2004; опублик. 20.10.2006, Бюл. № 29.

11. Патент № 2140070. РФ. МПК G01N 25/18. Способ определения теплофизических характеристик строительных материалов многослойных конструкций без нарушения их целостности / Б.Г. Варфоломеев, Л.П. Орлова, Ю.Л. Муромцев, В.М. Потапов. – Заявл. 26.02.1998; опублик. 20.10.1999.

12. Патент № 2287807. РФ. МПК G01N 25/00. Способ определения теплофизических свойств многослойных строительных конструкций и изделий / А.В. Чернышов, А.С. Слонова. – Заявл. 09.03.2005; опублик. 20.11.2006, Бюл. № 32.

13. Патент № 2323435. РФ. МПК G01N 25/72. Способ теплового неразрушающего контроля сопротивления теплопередаче строительных конструкций / О.Н. Будадин, Е.В. Абрамова, В.И. Сучков, Т.Е. Марков. – Заявл. 22.09.2005; опублик. 27.04.2008, Бюл. № 12.

14. Кабанов, О.В. Обзор современных методов определения теплофизических свойств материалов и объектов с использованием электротехнических устройств / О.В. Кабанов, С.А. Панфи-

лов, В.И. Барычев // Развитие технических наук в современном мире: сб. науч. трудов. – Воронеж, 2015. – Вып. II. – С. 178–180.

15. Кабанов, О.В. Современные методы определения теплофизических свойств объектов / О.В. Кабанов, С.А. Панфилов // XLIV Огаревские чтения. Материалы научной конференции: в 3 ч. / Отв. за вып. П.В. Сенин. – Саранск: Мордов. гос. ун-т, 2016. – С. 156–160.

16. Разработка метода определения теплофизических свойств объектов / О.В. Кабанов, С.А. Панфилов, А.С. Хрёмкин, М.А. Бобров // Научно-технический вестник Поволжья. – 2015. – № 5. – С. 253–256.

17. Аметистов, Е.В. Основы теории теплообмена / Е.В. Аметистов. – М.: Изд. МЭИ, 2000. – 242 с.

18. Белов, Е.А. Цифровой экспресс-измеритель теплоограждающих конструкций с прямым отсчетом / Е.А. Белов, Г.Я. Соколов, Е.С. Платунов // Промышленная теплотехника. – 1986. – № 4. – С. 756–760.

19. Богословский, В.Н. Теплофизические основы отопления, вентиляции и кондиционирования / В.Н. Богословский. – М.: Высшая школа, 1982. – 415 с.

20. Вавилов, В.П. Тепловые методы неразрушающего контроля: справ. / В.П. Вавилов. – М.: Машиностроение, 1991. – 240 с.

21. Табуничиков, Ю.А. Тепловая защита ограждающих конструкций зданий и сооружений / Ю.А. Табуничиков, Д.Ю. Хромец. – М.: Стройиздат, 1986. – 381 с.

22. Свидетельство № 2016612034. РФ. Программа для системы автоматизированного определения теплофизических свойств исследуемого объекта / С.А. Панфилов, О.В. Кабанов, А.С. Хрёмкин. – Дата гос. регистрации: 17.02.2016.

23. Свод Правил 50.133330.2012. Тепловая защита зданий.

24. Kreith, F. Handbook of Thermal Engineering / F. Kreith. – CRC Press, 2000.

25. Welty James R. Fundamentals of Momentum, Heat and Mass transfer / James R. Welty, Charles E. Wicks, Robert E. Wilson, Gregory L. Rorrer. – 5th edition. – John Wiley and Sons. CRC Press, 2007.

26. Sukhatme, S.P. A Textbook on Heat Transfer / S.P. Sukhatme. – Fourth ed. – Universities Press, 2005.

27. Overall Heat Transfer Coefficient. – <http://www.tlv.com/global/TI/steam-theory/overall-heat-transfer-coefficient.html> (Date Views 07.06.2016)

28. Sidebotham, G. Heat Transfer Modeling: An Inductive Approach / G. Sidebotham. – Springer, 2015.

29. Applied Superconductivity: Handbook on Devices and Applications / P. Seidel (ed.). – Wiley Press, 2016.

30. Krarti, Moncef. Energy Audit of Building Systems: An Engineering Approach / Moncef Krarti. – CRC Press, 2016.

31. Yufeng, J. *Introduction to Microsystem Packaging Technology* / Yufeng J., Zhiping W., Jing C. – CRC Press, 2016.

32. Кабанов, О.В. *Способ определения теплофизических свойств строительных объектов* / О.В. Кабанов, С.А. Панфилов, А.С. Хрёмкин // *Вестник Восточно-Сибирского государственного*

*университета технологий и управления*. – 2016. – № 5 (62). – С. 49–57.

33. Фокин, В.М. *Энергоэффективные методы определения теплофизических свойств строительных материалов и изделий* / В.М. Фокин, А.В. Ковылин, В.Н. Чернышов. – М.: Издательский дом «Спектр», 2011. – 156 с.

**Панфилов Степан Александрович**, доктор технических наук, профессор кафедры теоретической и общей электротехники, Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарёва (Саранск), panphilovsa@gmail.com

**Кабанов Олег Владимирович**, аспирант кафедры теоретической и общей электротехники, Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарёва (Саранск), jhostmc@mail.ru

*Поступила в редакцию 28 октября 2016 г.*

---

DOI: 10.14529/build170207

## DETERMINATION METHOD OF THE THERMOPHYSICAL PROPERTIES OF BUILDINGS AND STRUCTURES

S.A. Panfilov, panphilovsa@gmail.com

O.V. Kabanov, jhostmc@mail.ru

Ogarev Mordovia State University, Saransk, Russian Federation

This article considers the importance of experimental research to determine the thermophysical properties (TPP) of the unit studied. The analytical review of modern methods of determination of the thermal-physical properties of building units is held. The constraint analysis of the methods of determination of TPP of the unit studied is conducted and described in the article. The principle of the facility operation designed to determine the TPP (heat transfer coefficient, heat transfer resistance and specific thermal performance) of the unit studied by the non-destructive testing method and its main components is described. The necessary formulas for calculating the TPP of the unit studied are introduced. The basic advantages of the developed facility in comparison with the well-known analogues are described.

*Keywords: heat transfer, heat transfer coefficient, resistance to heat transfer, energy efficiency.*

### References

1. Vavilov V. P., Grigor'ev A.V., Ivanov A.I., Nesteruk D.A. *Sposob opredelenija soprotivlenija teploperedache ograzhdajushhih konstrukcij stroitel'nyh sooruzhenij* [A Method for Determining the Heat Transfer Resistance of Building Envelopes of the Building Structures]. Patent RF, no. 2468359, 2012.

2. Golovnev S.G., Mozgalev K.M., Rusanov A.E. *Ustrojstvo opredelenija privedjonnogo soprotivlenija teploperedache naruzhnyh ograzhdajushhih konstrukcij* [The Device Determining the Given Heat Transfer Resistance of Outer Building Envelopes]. Golovnev S. G., Mozgalev K. M. Patent RF no. 146590, 2014.

3. Verhovskij A.A., Shubin I.L., Shekhovtsov A.V., Nanasov I.M., Krymov K.S. *Stend dlja izmerenija soprotivlenija teploperedache stroitel'nyh ograzhdajushhih konstrukcij* [Stand for Measuring the Heat Transfer Resistance of Building Envelopes]. Patent RF no. 105998, 2011.

4. Pohodun A.I., Sokolov A.N., Sokolov N.A. *Sposob teplovogo nerazrushajushhego kontrolja soprotivlenija teploperedache stroitel'noj konstrukcii* [The Non-Destructive Testing Method of Heat Transfer Resistance of Building Structure]. Patent RF no. 2480739, 2013.

5. Bogojavlenskij A.I., Ivanov S.V., Lapovok E.V., Platonov A.S., Khankov S.I., Yugov K.V. *Sposob izmerenija udel'nogo soprotivlenija teploperedache cherez ob'ekt i ustrojstvo dlja ego osushhestvlenija* [A Method for Measuring the Specific Heat Transfer Resistance Through the Object and the Device for its Implementation]. Patent RF no. 2478938, 2013.

6. Sergeev S.S. *Ustrojstvo izmerenija soprotivlenija teploperedache stroitel'noj konstrukcii* [The Device for Measuring the Heat Transfer Resistance of Building Structure]. Patent RF no. 2476866, 2013.
7. GOST 26254–84 [Buildings and Structures. The Methods for Determining the Heat Transfer Resistance of Building Envelopes]. Moscow, Standartinform Publ., 1994.
8. GOST 31166–2003 [Building Envelopes of Buildings and Structures. The Method of Colorimetric Determination of the Heat Transfer Coefficient]. Moscow, Gosstroj Rossii Publ., 2003
9. Dacjuk T. A., Isakov P. G. *Sposob izmerenija teplovogo soprotivlenija (varianty) i ustrojstvo dlja ego osushhestvlenija* [A Method for Measuring the Heat Transfer Resistance (Options) and the Device for its Implementation]. Patent RF no. 2308710, 2007.
10. Lavrov V.N., Titaev V.A., Sosin Ju.D. *Sposob kontrolja teplozashhitnyh svojstv ograzhdajushhej konstrukcii* [A Method for Controlling the Heat Retention Properties of Building Envelope]. Patent RF no. 2285915, 2006.
11. Varfolomeev B.G., Orlova L.P. *Sposob opredelenija teplofizicheskikh harakteristik stroitel'nyh materialov mnogoslojnyh konstrukcij bez narushenija ih celostnosti* [A Method for Determining the Thermal-Physical Performance of the Construction Materials of Multi-Layer Structures without Violating their Integrity]. Patent RF no. 2140070, 1999.
12. Chernyshov A.V., Slonova A.S. *Sposob opredelenija teplofizicheskikh svojstv mnogoslojnyh stroitel'nyh konstrukcij i izdelij* [A Method of Determining the Thermal-Physical Properties of Multi-Layer Building Structures and Products]. Patent RF no. 2287807, 2006.
13. Budadin O.N., Abramova E.V. *Sposob teplovogo nerazrushajushhego kontrolja soprotivlenija teploperedache stroitel'nyh konstrukcij* [The Non-Destructive Testing Method of Heat Transfer Resistance of Building Structures]. Patent RF no. 2323435, 2008.
14. Kabanov O.V., Panfilov S.A., Barychev V.I. [An Overview of Modern Methods for the Determination of Thermal-Physical Properties of Materials and Objects Using the Electro Technical Devices]. *Sb. nauch.trudov. Razvitie tehniceskikh nauk v sovremennom mire. Vypusk II* [Collected Scientific Papers. Development of Technical Sciences in the Modern World. Edition II]. Voronezh, 2015. pp. 178–180 (in Russ.).
15. Kabanov O.V., Panfilov S.A. [Modern Methods for the Determination of Thermal-Physical Properties of the Objects]. *XLIV Ogarevskie chteniya. Materialy nauchnoj konferenci* [Proceedings of the Scientific Conference "XLIV Ogarevskie Chteniya"]. Saransk 2016, pp. 156–160 (in Russ.).
16. Kabanov O.V., Panfilov S.A., Hrjomkin A.S., Bobrov M.A. [Development of Method for the Determination of Thermal-Physical Properties of the Objects]. *Nauchno-tehnicheskij vestnik Povolzh'ja* ["Scientific and Technical Volga Region Bulletin"]. Kazan, 2015, no. 5, pp. 253–256 (in Russ.).
17. Ametistov E.V. *Osnovy teorii teploobmena* [Fundamentals of Heat Transfer Theory]. Moscow, MEI Publishing House, 2000. 242 p.
18. Belov E.A., Sokolov G.Ja., Platonov E.S. [Digital Express Meter of Heat Protection Structures with Direct Reading]. *Promyshlennaja teplotehnika* ["Industrial Thermal Engineering"]. Kiev, 1986, no. 4, pp. 756–760 (in Russ.).
19. Bogoslovskij V.N. *Teplofizicheskie osnovy otopenija, ventiljacii i kondicionirovanija* [Thermal-Physical Foundations of Heating, Ventilation and Air Conditioning]. Moscow, High School Publ., 1982. 415 p.
20. Vavilov V.P. *Teplovyje metody nerazrushajushhego kontrolja* [Thermal Methods of Non-Destructive Testing]. Moscow, Mashynostroenie Publ., 1991. 240 p.
21. Tabunshhikov Ju.A., Hromec D. Ju. *Teplovaja zashhita ograzhdajushhih – konstrukcij zdanij i sooruzhenij* [Thermal Protection of Building Envelopes of Buildings and Structures]. Moscow, "Sroizdat" Publ., 1986. 381 p.
22. Panfilov S.A., Kabanov O. V., Khremkin A. S. *Programma dlja sistemy avtomatizirovannogo opredelenija teplofizicheskikh svojstv issleduemogo ob#ekta*. [The Program for the System of Automated Determination of Thermal-Physical Properties of the Object Studied]. Certificate Russian Federation, no. 2016612034. Application 17.02.2016.
23. Code of Practice 50.133330.2012. [Thermal Protection of Buildings]. Moscow, Minregion Rossii Publ., 2012.
24. Kreith F. [Handbook of Thermal Engineering]. CRC Press Publ., 2000.
25. James R. Welty, Charles E. Wicks, Robert E. Wilson, Gregory L. Rorrer. [Fundamentals of Momentum, Heat and Mass transfer (5th Edition)]. John Wiley and Sons, CRC Press Publ., 2007.
26. Sukhatme S. P. [A Textbook on Heat Transfer (Fourth ed.)]. Universities Press Publ., 2005.
27. *Overall Heat Transfer Coefficient*. <http://www.tlv.com/global/TI/steam-theory/overall-heat-transfer-coefficient.html>. Available at: 07.06.2016
28. George Sidebotham. [Heat Transfer Modeling: An Inductive Approach]. Springer, 2015.
29. Paul Seidel (ed.). [Applied Superconductivity: Handbook on Devices and Applications]. Wiley Press Publ., 2016.



30. Moncef Krarti [Energy Audit of Building Systems: An Engineering Approach]. CRC Press Publ., 2016.
31. Yufeng J, Zhiping W, Jing C. [Introduction to Microsystem Packaging Technology]. CRC Press Publ., 2016.
32. Kabanov O.V., Panfilov S.A., Hrjomkin A.S. [Method of Determining the Thermophysical Properties of Construction Objects]. *Bulletin of the East Siberian state University of technologies and management*, 2016, no. 5 (62), pp. 49–57 (in Russ.).
- 33 Fokin V.M., Kovylin A.V., Chernyshov V.N. *Jenergojeffektivnye metody opredelenija teplofizicheskikh svoystv stroitel'nyh materialov i izdelij* [Energy-Efficient Methods for Determining the Thermal Properties of Building Materials and Products]. Moscow, Publishing house "Spektr" Publ., 2011. 156 p.

*Received 28 October 2016*

---

### ОБРАЗЕЦ ЦИТИРОВАНИЯ

Панфилов, С.А. Способ определения теплофизических свойств объектов / С.А. Панфилов, О.В. Кабанов // Вестник ЮУрГУ. Серия «Строительство и архитектура». – 2017. – Т. 17, № 2. – С. 50–58. DOI: 10.14529/build170207

### FOR CITATION

Panfilov S.A., Kabanov O.V. Determination Method of the Thermophysical Properties of Buildings and Structures. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Construction Engineering and Architecture*. 2017, vol. 17, no. 2, pp. 50–58 (in Russ.). DOI: 10.14529/build170207