

УДК 536.24

Определение теплофизических свойств строительных и теплоизоляционных материалов в зданиях для проведения энергоаудита методом неразрушающего контроля

Фокин В.М., Ковылин А.В.

В современных условиях энергосбережение является важнейшей задачей, связанной с рациональным использованием и сохранением природных ресурсов планеты. Проблемы энергосбережения и снижения потерь теплоты в окружающую среду существенно влияют на технико-экономические показатели и капитальные затраты эксплуатируемых зданий. Фактические свойства ограждений зданий могут изменяться в процессе эксплуатации и не соответствовать их сертификату. Так же теплофизические свойства (коэффициент теплопроводности – λ ; коэффициент температуропроводности – a ; объемная теплоемкость – c_p ; коэффициент теплоусвоения – B) ограждений существенно влияют на тепловой и воздушный режим эксплуатируемых зданий различного назначения, а также на работу систем отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха, потребляющих в настоящее время значительное количество тепловой энергии. Поэтому в настоящее время одной из наиболее актуальных проблем является поиск и создание энергосберегающих, точных, надежных и простых в реализации методов определения теплофизических свойств наружных ограждений эксплуатируемых зданий.

Ключевые слова: энергосберегающий метод, ограждение зданий, неразрушающий контроль, теплофизические свойства, коэффициент теплопроводности, коэффициент температуропроводности, объемная теплоемкость.

Determination of thermophysical properties of construction and insulation materials in buildings for energy audits by means of nondestructive control

Fokin V.M., Kovylin A.V.

Today energy saving has become an urgent issue connected with the rational usage and saving of global natural resources. Problems of energy saving and reduction of heat loss in the environment produce a significant effect on technical and economic performance, as well as on capital expenditures of operated buildings. Actual protection properties of buildings may change in the course of their operation and fail to meet the certification requirements. The same thermophysical protection properties (thermal conductivity coefficient – λ ; thermal diffusivity coefficient – a ; volumetric heat capacity – c_p ; heat absorption coefficient - B) significantly affect heat and air regime when exploiting different-purpose buildings, as well as energy-consuming heating, ventilation and air conditioning systems. Therefore, one of the most important current issues is to find and create methods that are energy-saving, accurate, reliable and easy to implement. They will help determine thermophysical properties of external protection of operated buildings.

Keywords: energy saving method, external building protection, non-destructive testing, thermal properties, thermal conductivity coefficient, thermal diffusivity coefficient, volumetric heat capacity.

Введение

В традиционных методах определения теплофизических свойств (ТФС) ограждений зданий, строительных материалов используемых в строительстве требуются установки со значительным расходом тепловой энергии.

Для определения ТФС ограждений зданий и сооружений предлагается энергосберегаю-

щий метод неразрушающего контроля. Для определения ТФС нет необходимости разрушать материал, создавать дополнительный нагрев или охлаждение ограждающей конструкции, создавать специальные условия на поверхности ограждающей конструкции (степень черноты, коэффициент теплоотдачи), что позволяет не использовать электрическую

и тепловую энергию и не требует создания экспериментальных установок требующих энергетических затрат. В предлагаемом методе достаточно естественных условий, в каких находится ограждение зданий [1].

Метод неразрушающего контроля позволяет проводить мониторинг ТФС, а также энергоаудит здания в процессе его эксплуатации. А полученная информация о свойствах материала позволит корректно проводить тепловые расчеты систем отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха, выбирать оптимальные варианты эксплуатации и контролировать энергосбережение в зданиях.

Цель работы — создание энергосберегающего, неразрушающего метода определения теплофизических свойств ограждений зданий без нарушения их целостности и эксплуатационных характеристик.

Экспериментальное определение теплофизических свойств ограждений зданий

Энергосберегающий метод определения теплофизических свойств заключается в следующем. В естественных условиях в разные периоды года происходит нагрев или охлаждение ограждения здания. Также в течение суток за счет солнечного излучения температура ограждения здания меняется. В результате этого через ограждение здания проходят тепловые потоки, которые меняются в течение суток (а также в течение года). В результате, в ограждении возникают температурные волны [2].

Для того чтобы определить комплекс ТФС требуется измерить только температуру на наружной и внутренней поверхности ограждения, а также тепловой поток, проходящий через неё.

На рис. 1 приведены экспериментальные распределения по часам в течение суток с интервалом в один час температуры поверхности внутренней $T_{вн}$ и наружной стенки $T_{нар}$,

температуры внутреннего $T_{вн.в}$ и наружного воздуха $T_{нар.в}$, °С, теплового потока на наружной $q_{нар}$ поверхности стенки, Вт/м².

При максимальной плотности теплового потока в ночное время $q_n^{max} = 33$ Вт/м², температура наружной стены составляла: $t_{нар} = -4,7$ °С, температура внутренней стены: $t_{вн} = 18,3$ °С, разность температур наружной и внутренней стенки: $\Delta t = 18,3 - (-4,7) = 23$ °С, толщина однородной стены здания: $\delta = 0,6$ м. Минимальная плотность теплового потока наблюдалась в дневные часы и составила $q_n^{min} = 5$ Вт/м².

Используя методику [2] и полученные экспериментальные данные выполняется расчет коэффициента теплопроводности λ , Вт/(м·К), объемной теплоемкости (c_p), кДж/(м³·К), коэффициента температуропроводности a , м²/с. Для определения λ используются температура поверхности внутренней $T_{вн}$ и наружной стенки $T_{нар}$, °С, максимальный тепловой поток на наружной поверхности стенки $q_{нар}$, Вт/м². Коэффициент теплопроводности λ определяется по формуле:

$$\lambda = (q_n^{max} \delta) / (t_{вн} - t_{нар}) = (33 \cdot 0,6) / 23 = 0,86 \text{ Вт/(м·К)}. \quad (1)$$

Максимальная амплитуда колебаний температурной волны ϑ_n^{max} на наружной поверхности ограждения здания между 3 и 14 ч. составляет [2]:

$$\vartheta_n^{max} = 0,5(t_1 - t_2) = 0,5(2,2 + 4,8) = 3,5 \text{ °С}, \quad (2)$$

где $t_1 = 2,2$ °С – температура наружной стенки в 14 часов; $t_2 = -4,8$ °С – температура наружной стенки в 3 часов.

Коэффициент теплоусвоения ограждения определяется по формуле:

$$B = q_n^{max} / \vartheta_n^{max} = 33 / 3,5 = 9,4 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{К)}.$$

Для определения объемной теплоемкости использовался коэффициент теплопроводности λ , Вт/(м·К) рассчитанный по формуле (1) и максимальная амплитуда колебаний температурной волны ϑ_n^{max} , °С, рассчитанная по

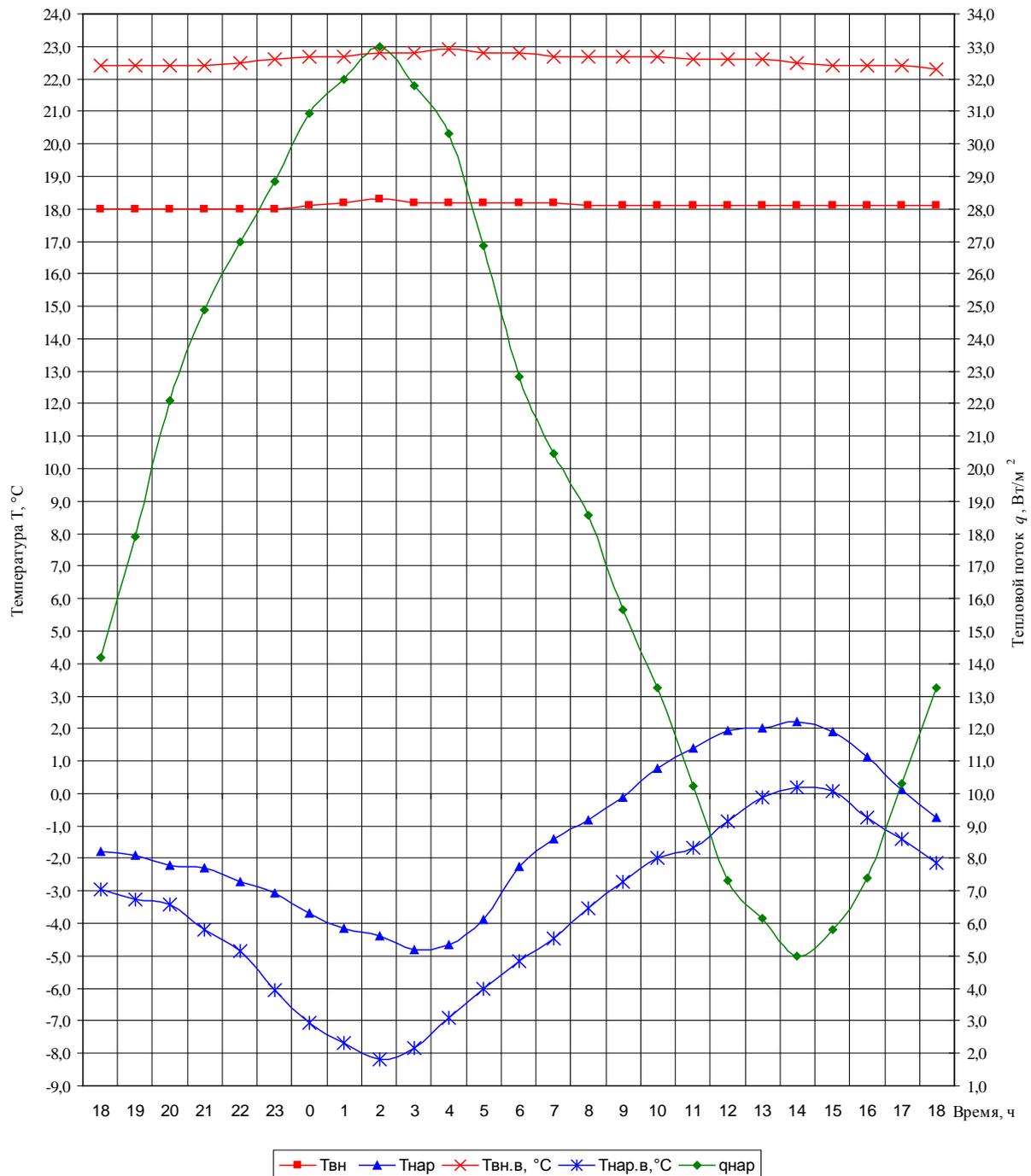


Рис. 1. Экспериментальные распределения температур и теплового потока ограждения здания (24...25 февраля 2012 г.).

формуле (2). Объемная теплоемкость ограждения определяется по формуле [2]:

$$(c\rho) = (B^2 z) / (\lambda \cdot 2\pi) =$$

$$(89 \cdot 86400) / (0,86 \cdot 2 \cdot 3,14) = 1424 \text{ Дж}/(\text{м}^3 \cdot \text{К}),$$

где $z = 86400$ с. – полный период колебаний температуры на наружной поверхности ограждения.

Коэффициент температуропроводности ограждения здания составляет:

$$a = \lambda / (c\rho) = 0,86 / 1568000 = 0,60 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}.$$

Заключение

Полученные значения коэффициента теплопроводности λ , объемной теплоемкости $(c\rho)$, коэффициента температуропроводности

a согласуются с табличными (литературными) значениями этих коэффициентов [3]. Расхождение рассчитанных значений с табличными не превышает 10 % [4].

Предложенный метод определения ТФС свойств ограждений зданий позволяет достаточно точно определить коэффициент теплопроводности λ , объемную теплоемкость ($c\rho$), коэффициент температуропроводности a методом неразрушающего контроля, что позволит правильно и корректно проводить энергосберегающие мероприятия в зданиях.

Литература

1. Способ неразрушающего контроля комплекса теплофизических характеристик твердых строительных материалов : пат. 2421711 Рос. федерация № 2009129316/28; заявл. 29.07.2009; опубл. 20.06.2011.
2. Фокин В.М. Научно-методологические основы определения теплофизических свойств материалов методом неразрушающего контроля: монография – М.: «Машиностроение-1», 2003. – 140 с.
3. Аметистов Е.В., Григорьев В.А., Емцев Б.Т. и др. Тепло- и массообмен. Теплотехнический эксперимент: Справочник / Под общ. ред. В.А. Григорьева и В.М. Зорина. – М.: Энергоиздат, 1982. – 512 с.
4. Усадский Д.Г., Фокин В.М. Экспериментальное определение теплотехнических свойств и параметров парокапельного нагревателя в стационарном тепловом режиме // Вестник ВолгГАСУ Сер.: Стр-во и архитектура. – Волгоград : Изд-во ВолгГАСУ, 2011. Вып. 21 (40). – С. 118-123.

References

1. The method of nondestructive testing of the complex thermal characteristics of solid building materials: Patent. 2421711 Russian Federation № 2009129316/28; appl. 29.07.2009, publ. 20.06.2011.
2. Fokin V.M. Scientific and methodological basis for determining the thermal properties of materials by non-destructive testing: monography – Moscow: Mashinostroenie, 2003. – 140 p.
3. Ametistov E.V., Grigoriev, V.A., Emtsev B.T. Heat and Mass Transfer. Thermal Engineering Experiment: A Handbook. – Moscow: Energoizdat, 1982. – 512 p.
4. Usadskiy D.G., Fokin V.M. Experimental determination of the thermal properties and parameters of the vapor-droplet heater in the steady-state thermal regime // Bulletin VolgGASU: Building and Architecture. – Volgograd: VolgGASU, 2011. Vol. 21 (40). – P. 118-123.

Статья поступила в редакцию 19 февраля 2013 г.

Фокин Владимир Михайлович – доктор технических наук, профессор, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Волгоградский государственный архитектурно-строительный университет». E-mail: Fokinvm@mail.ru

Ковылин Андрей Васильевич – кандидат технических наук, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Волгоградский государственный архитектурно-строительный университет». E-mail: Kovylin.andrei@mail.ru

Fokin Vladimir Mikhailovich – Professor, Volgograd State University of Architecture and Civil Engineering. E-mail: Fokinvm@mail.ru

Kovylin Andrey Vasiljevich – Ph.D., Volgograd State University of Architecture and Civil Engineering. E-mail: Kovylin.andrei@mail.ru