

УДК 628.87:658.3:697.1

ИССЛЕДОВАНИЕ ИЗМЕНЕНИЯ УСЛОВИЙ МИКРОКЛИМАТА В ПОМЕЩЕНИЯХ ПРИ АВАРИЙНОМ ОТКЛЮЧЕНИИ СИСТЕМЫ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ

БЕЛИКОВ А. С.¹, *д. т. н., проф.*,
КОЛЕСНИК И. А.^{2*}, *соискатель,*

¹ Кафедра безопасности жизнедеятельности, Государственного высшего учебного заведения «Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры», ул. Чернышевского, 24-а, 49005, Днепропетровск, Украина, тел. +38 (0562) 46-98-73, e-mail: bgd@mail.pgasa.dp.ua, ORCID ID: 0000-0001-5822-9682

^{2*} Кафедра безопасности жизнедеятельности, Государственного высшего учебного заведения «Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры», ул. Чернышевского, 24-а, 49005, Днепропетровск, Украина, тел. +38 (0562) 46-98-73, e-mail: inna-vlada@i.ua, ORCID ID: 0000-0002-5852-2392

Аннотация. *Цель.* При оценке условий микроклимата на соответствие ДСН 3.3.6.042-99 «Санитарные нормы микроклимата производственных помещений» одним из требований к параметрам микроклимата является температура внутренней поверхности ограждения. Для обеспечения нормативных параметров микроклимата в зданиях и сооружениях в холодный период года работает система отопления. В то же время, как показывает мировой опыт в Украине до настоящего времени не решен вопрос экономии энергоресурсов, что ведет к необоснованному использованию теплоносителей без учета температурного режима в помещениях и потери тепла через ограждающие конструкции. Поэтому возникла необходимость провести исследования изменения температуры на внутренних поверхностях помещений при охлаждении вследствие отключения системы отопления, что позволяет оценить соответствие микроклимата в помещении санитарным нормам и при необходимости управлять процессом обеспечения и поддержания его параметров. *Методика.* Теоретические и экспериментальные исследования проводились на основе фундаментальных знаний в области тепловых процессов и методик решения задач теплообмена, моделирования динамических процессов, метода и анализа случайных процессов, методов математической статистики и прогноза. *Результаты.* На основе проведенных исследований полученные значения и зависимости температуры внутренней поверхности ограждающих конструкций положены в основу оценки охлаждения внутренней поверхности стен, которые могут быть использованы для оценки микроклимата помещений при нестационарном режиме эксплуатации. *Научная новизна.* В результате проведенных исследований установлено, что в процессе воздействия окружающей среды и климатических условий при длительной эксплуатации в строительных конструкциях вследствие структурных изменений (уплотнение, перестройка минералогического состава, карбонизации, миграции влаги и т.д.) происходят значительные изменения теплотехнических характеристик от первоначальных, что снижает их термическое сопротивление и существенно влияет на обеспечение нормальных условий микроклимата в помещении (изменение коэффициента теплопроводности в сторону увеличения от 20,7% до 48,6%). *Практическая значимость.* Проведенные исследования изменения теплотехнических свойств строительных материалов ограждающих конструкций расчетным и экспериментальным методами показали высокую их сходимость (погрешность не превышает 5%), что позволяет применять предложенный экспериментальный метод для экспресс оценки теплотехнических свойств строительных материалов ограждающих конструкций.

Ключевые слова: микроклимат; строительные материалы; ограждающие конструкции; теплотехнические характеристики

ДОСЛІДЖЕННЯ ЗМІНИ УМОВ МІКРОКЛІМАТУ В ПРИМІЩЕННЯХ ПРИ АВАРІЙНОМУ ВІДКЛЮЧЕННІ СИСТЕМИ ТЕПЛОПОСТАЧАННЯ

БЕЛІКОВ А. С.¹, *д. т. н., проф.*,
КОЛЕСНИК І.О.^{2*}, *здобувач,*

¹ Кафедра безпеки життєдіяльності, Державного вищого навчального закладу «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури», вул. Чернишевського, 24-а, 49005, Дніпропетровськ, Україна, тел. +38 (0562) 46-98-73, e-mail: bgd@mail.pgasa.dp.ua, ORCID ID: 0000-0001-5822-9682

^{2*} Кафедра безпеки життєдіяльності, Державного вищого навчального закладу «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури», вул. Чернишевського, 24-а, 49005, Дніпропетровськ, Україна, тел. +38 (0562) 46-98-73, e-mail: inna-vlada@i.ua, ORCID ID: 0000-0002-5852-2392

Анотація. *Мета.* При оцінці умов мікроклімату на відповідність ДСН 3.3.6.042-99 «Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень» однією з вимог до параметрів мікроклімату є температура внутрішньої поверхні огороження. Для забезпечення нормативних параметрів мікроклімату в будівлях і спорудах в холодний період року працює система опалення. У той же час, як показує світовий досвід в Україні до цього часу не вирішено питання економії енергоресурсів,

що веде до необґрунтованого використання теплоносіїв без урахування температурного режиму в приміщеннях і втрати тепла через огорожувальні конструкції. Тому виникла необхідність провести дослідження зміни температури на внутрішніх поверхнях приміщень при охолодженні внаслідок відключення системи опалення, що дозволить оцінити відповідність мікроклімату в приміщенні санітарним нормам і при необхідності керувати процесом забезпечення і підтримки його параметрів. **Методика.** Теоретичні та експериментальні дослідження проводилися на основі фундаментальних знань в області теплових процесів і методик вирішення завдань теплообміну, моделювання динамічних процесів, методу та аналізу випадкових процесів, методів математичної статистики і прогнозу. **Результати.** На основі проведених досліджень отримані значення і залежності температури внутрішньої поверхні огорожувальних конструкцій покладені в основу оцінки охолодження внутрішньої поверхні стін, які можуть бути використані для оцінки мікроклімату приміщень при нестационарному режимі експлуатації. **Наукова новизна.** В результаті проведених досліджень встановлено, що в процесі впливу навколишнього середовища і кліматичних умов при тривалій експлуатації в будівельних конструкціях внаслідок структурних змін (ущільнення, перебудова мінералогічного складу, карбонізації, міграції вологи і т.д.) відбуваються значні зміни теплотехнічних характеристик від первісних, що знижує їх термічний опір і суттєво впливає на забезпечення нормальних умов мікроклімату в приміщенні (зміна коефіцієнта теплопровідності в бік збільшення від 20,7% до 48,6%). **Практична значимість.** Проведені дослідження зміни теплотехнічних властивостей будівельних матеріалів огорожувальних конструкцій розрахунковим і експериментальним методами показали високу їх збіжність (похибка не перевищує 5%), що дозволяє застосовувати запропонований експериментальний метод для експрес оцінки теплотехнічних властивостей будівельних матеріалів огорожувальних конструкцій.

Ключові слова: мікроклімат; будівельні матеріали; огорожувальні конструкції; теплотехнічні характеристики

STUDY OF CHANGES INDOOR CLIMATE DURING A POWER FAILURE HEATING SYSTEM

BELIKOV A.¹, *Dr. Sc. (Tech.), Prof.*
KOLESNIK I.^{2*}, *competitor,*

¹ Department of life safety, State Higher Education Establishment "Pridneprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture", 24-A, Chernishevskogo st., Dnepropetrovsk 49005, Ukraine, tel. +38 (0562) 46-98-73, e-mail: bgd@mail.pgasa.dp.ua, ORCID ID: 0000-0001-5822-9682

^{2*} Department of life safety, State Higher Education Establishment "Pridneprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture", 24-A, Chernishevskogo st., Dnepropetrovsk 49005, Ukraine, tel. +38 (0562) 46-98-73, e-mail: inna-vlada@i.ua, ORCID ID: 0000-0002-5852-2392

Abstract. Purpose. In assessing the conditions for compliance with climate SDS 3.3.6.042-99 "Sanitary norms of microclimate of production rooms" one of the requirements to the parameters of a microclimate temperature of the inner surface of the enclosure. To ensure the regulatory parameters of the microclimate in buildings in the cold season running the heating system. At the same time, as international experience shows in Ukraine has not yet resolved the issue of energy savings that lead to unnecessary use of coolants without temperature indoors and the heat loss through the building envelope. Therefore, it became necessary to carry out studies of temperature changes on the inner surfaces of the premises upon cooling due to the shutdown of the heating system, which allows to assess the compliance of the microclimate in the room with sanitary norms and, if necessary, manage the process and ensure the maintenance of its parameters. **Methodology.** Theoretical and experimental studies were carried out on the basis of fundamental knowledge in the field of thermal processes and techniques for solving problems of heat transfer, modeling of dynamic processes, methods and analysis of random processes, methods of mathematical statistics and forecasting. **Findings.** Based on these studies and the obtained values of the temperature dependence of the internal surfaces of enclosures form the basis of assessment of cooling the inner surface of the walls, which can be used to estimate the indoor climate in unsteady operation. **Originality.** The studies found that in the process of environmental influences and climatic conditions for long term use in structures due to structural changes (compaction, alteration mineralogical composition, carbonation, moisture migration, etc.) there are significant changes in thermal characteristics of the original, which reduces their thermal resistance and significantly affect the provision of normal conditions of indoor climate (change of thermal conductivity in the direction of increasing from 20.7% to 48.6%). **Practical value.** Studies changing thermal properties of building materials walling calculation and experimental methods showed a high convergence of their (the error does not exceed 5%), which allows the use of the proposed experimental method for rapid assessment of thermal properties of building materials walling.

Keywords: microclimate; construction materials; walling; thermal performance

Введение

При оценке условий микроклимата на соответствие ДСН 3.3.6.042-99 «Санитарные нормы микроклимата производственных помещений» одним

из требований к параметрам микроклимата является температура внутренней поверхности ограждения. Для обеспечения нормативных параметров микроклимата в зданиях и сооружениях в холодный период года работает система отопления. В то же время, как показывает мировой опыт в Украине до

настоящего времени не решен вопрос экономии энергоресурсов, что ведет к необоснованному использованию теплоносителей без учета температурного режима в помещениях и потери тепла через ограждающие конструкции.

Цель

Целью данной работы является проведение исследования изменения температуры на внутренних поверхностях помещений при охлаждении вследствие отключения отопления, что позволит оценить соответствие микроклимата в помещении санитарным нормам и при необходимости управлять процессом.

Методика

В общем виде распространение тепла в 3-х мерной стенке описывается дифференциальным уравнением [13]:

$$\text{где } \tau - \text{ время; } \frac{\partial t}{\partial \tau} = a \left(\frac{\partial^2 t}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 t}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 t}{\partial z^2} \right) \quad (1)$$

температура;

c - удельная теплоёмкость;

a - коэффициент температуропроводности:

$$a = \frac{\lambda}{0,278c\gamma}$$

При одномерном распространении тепла выражение (1) будет иметь вид (вместо τ будем применять Z):

$$\frac{\partial t}{\partial Z} = a \frac{\partial^2 t}{\partial x^2} \quad (2)$$

При решении данного уравнения были приняты краевые условия: начальные условия - тепловые условия в стенке в начальный момент ($Z = 0$) и граничные условия - тепловые условия на границах стенки во время рассматриваемого процесса. Нами рассмотрено решение данного уравнения для случая падения температуры на внутренней поверхности ограждения, когда $X = 0$.

Так как охлаждение конструкций начнётся с внутренней поверхности и дойдёт до наружной лишь по прошествии более или менее длительного времени, то для начальной стадии охлаждения стенки можно принять температуру наружной поверхности постоянной, считая её равной температуре наружного воздуха. Уравнение для падения температур на внутренней поверхности стенки будет иметь вид [3, 6, 13]:

$$\frac{v_{X=0}}{v_0} = \frac{8}{\pi^2} \left(e^{-\left(\frac{\pi}{2}\right)^2 \frac{aZ}{X^2}} + \frac{1}{3^2} e^{-\left(\frac{3\pi}{2}\right)^2 \frac{aZ}{X^2}} + \frac{1}{5^2} e^{-\left(\frac{5\pi}{2}\right)^2 \frac{aZ}{X^2}} + \dots \right) \quad (3)$$

где $v_0 = t_{нач} - t_c$, °C ($t_{нач} - t_c$ -

соответственно заранее заданные начальная температура и температура среды);

$v = t - t_c$ (t - текущая температура, меняющаяся с течением времени);

$v_{X=0} = t_{X=0} - t_c$, ($t_{X=0}$ - текущая температура на внутренней поверхности стенки);

X - толщина стенки, м.

Определив $\frac{v_{X=0}}{v_0}$ можно установить фактическое значение температуры $t_{X=0}$ при заданном времени Z , час.

$$t_{X=0} = \frac{v}{v_0} (t_{нач} - t_c) + t_c \quad (4)$$

Следует отметить, что решение уравнения (2) в форме (3) связано с предположением, что при отключении отопления с момента $Z = 0$ поступление тепла на внутреннюю поверхность ограждения полностью прекращается. Однако, как показал проведенный нами анализ, на практике это не всегда осуществимо. Лишь при паровом или воздушном отоплении может быть почти сразу прекращена подача тепла в помещение, кроме того, внутренние стенки и оборудование помещения будут по мере падения температуры воздуха со своей стороны выделять тепло. Таким образом, расчёт даёт несколько преувеличенный результат в отношении охлаждения стенки и является оценочным.

В [15] приведено решение этой задачи для 2-х охлаждающихся стенок из различных материалов:

- из силикатного кирпича ($\lambda = 0,82$ Вт/м°C; $c = 0,88$ кДж/кг°C; $\rho = 1800$ кг/м³; $X = 0,64$ м);
- из железобетона ($\lambda = 1,92$ Вт/м°C; $c = 0,84$ кДж/кг°C; $\rho = 2500$ кг/м³; $X = 0,64$ м).

На основе проведенных исследований авторами [15], полученные значения температуры внутренней поверхности ограждающих конструкций положены в основу оценки охлаждения внутренней поверхности стен, которые могут быть использованы для оценки микроклимата помещений.

Результаты

Нами экспериментально было установлено, что во время эксплуатации зданий с течением времени под воздействием переменных климатических условий, увеличивается плотность материала, а с ней такие важные теплотехнические характеристики как коэффициент теплопроводности и коэффициент температуропроводности, влияющие в свою очередь на уменьшение общего термического сопротивления конструкций, что влечет за собой увеличение теплопотерь.

Учитывая, что охлаждение строительных конструкций зависит от их общего термического сопротивления, на основе проведенных нами исследований были определены температуры внутренней поверхности ограждения для шести типов зданий в момент отключения системы отопления с заданными теплотехническими характеристиками при

вводе в эксплуатацию и с учетом их изменения в процессе длительной (более 10 лет) эксплуатации. При этом, температура наружного воздуха принята постоянной и равной температуре холодной пятидневки для г. Днепропетровска -24°C . Исследования проводились для наиболее широко эксплуатируемых типов зданий города.

1 тип. Жилые дома из керамзитобетона, которые эксплуатируются в течение 10 лет (ж/м Тополь - 3, дом № 4 серии 1-464-Д83; ж/м Победа - 6 ул. Добровольцев, дом №6 серии 90 со следующими теплотехническими характеристиками:

$$\rho = 800 \div 1800 \text{ кг/м}^3; c = 0,84 \text{ кДж/кг}^{\circ}\text{C};$$

$$\lambda_o = 0,21 \div 0,66 \text{ Вт/м}^{\circ}\text{C}; X = 0,38 \text{ м.}$$

2 тип. Жилые дома из керамического пустотелого кирпича (ул. Исполкомовская, 27а) со следующими теплотехническими характеристиками:

$$\rho = 1000 \div 1600 \text{ кг/м}^3; c = 0,88 \text{ кДж/кг}^{\circ}\text{C};$$

$$\lambda_o = 0,35 \div 0,47 \text{ Вт/м}^{\circ}\text{C}; X = 0,25 \times 2,5 = 0,625 \text{ м.}$$

3 тип. Здания из тяжелого бетона (ул. Наб. Победы, 26 «Дом природы») со следующими теплотехническими характеристиками:

$$\rho = 2500 \text{ кг/м}^3; c = 0,84 \text{ кДж/кг}^{\circ}\text{C};$$

$$\lambda_o = 1,69 \text{ Вт/м}^{\circ}\text{C}; X = 0,3 \text{ м.}$$

4 тип. Жилые дома из полнотелого глиняного обыкновенного кирпича на цементно-песчаном растворе (ул. Артема, 23) со следующими теплотехническими характеристиками:

$$\rho = 1800 \text{ кг/м}^3; c = 0,88 \text{ кДж/кг}^{\circ}\text{C};$$

$$\lambda_o = 0,56 \text{ Вт/м}^{\circ}\text{C}; X = 0,25 \times 2,5 = 0,625 \text{ м.}$$

5 тип. Жилые дома из силикатного кирпича на цементно-песчаном растворе (ул. К. Цеткин, 5 общежитие ПГАСА) со следующими теплотехническими характеристиками:

$$\rho = 1800 \text{ кг/м}^3; c = 0,88 \text{ кДж/кг}^{\circ}\text{C};$$

$$\lambda_o = 0,7 \text{ Вт/м}^{\circ}\text{C}; X = 0,25 \times 2,5 = 0,625 \text{ м.}$$

6 тип. Здания из тяжелого бетона на гравии из природного камня (ул. Наб. Победы, 5 «Дом пионеров») со следующими теплотехническими характеристиками:

$$\rho = 2400 \text{ кг/м}^3; c = 0,84 \text{ кДж/кг}^{\circ}\text{C};$$

$$\lambda_o = 1,51 \text{ Вт/м}^{\circ}\text{C}; X = 0,3 \text{ м.}$$

Приведенные начальные теплотехнические характеристики строительных материалов для всех шести типов зданий приняты согласно паспортным данным на применяемые материалы в период строительства.

На рис. 1 – 8 приведены установленные зависимости охлаждения внутренней поверхности ограждающих конструкций для каждого из шести типов зданий при отключении системы теплоснабжения для периодов:

ввода в эксплуатацию (λ_o) и при длительной эксплуатации (более 10 лет) (λ_s), полученные на основании произведенных расчетов, используя выше приведенную методику, а также зависимости, полученные

экспериментальным путем (λ_s) на основе разработанных нами приборов и методического обеспечения.

Проведенные нами исследования (рис. 1) изменения температуры внутренней поверхности ограждающей конструкции при отключении системы теплоснабжения для I типа здания (керамзитобетон $\rho = 800 \text{ кг/м}^3$) показали, что в процессе длительной эксплуатации в керамзитобетоне происходят структурные изменения, которые существенно влияют на теплотехнические характеристики ограждающих строительных конструкций. Паспортные характеристики на период ввода в эксплуатацию зданий данного типа составили $\lambda_o = 0,21 \text{ Вт/м}^{\circ}\text{C}$, $\rho_o = 800 \text{ кг/м}^3$, а в дальнейшем по истечении 10 лет и более $\lambda_s = 0,32 \text{ Вт/м}^{\circ}\text{C}$, $\rho_s = 864 \text{ кг/м}^3$. Указанные изменения теплотехнических свойств в сторону увеличения теплопроводности составили 47,6%. Разработанная ранее нами методика экспериментального определения теплотехнических характеристик строительных материалов конструкций показала, что полученные экспериментальные и расчетные значения коэффициента теплопроводности практически совпадают, расхождение значений не превышает 3,2%.

Исследования показали, что в процессе эксплуатации увеличивается коэффициент теплопроводности, изменение которого влечет за собой уменьшение на 28% общее термическое сопротивление ограждающих конструкций на основе керамзитобетона, что в свою очередь увеличивает теплопотери здания и уменьшает такой параметр микроклимата, как температура внутренней поверхности ограждения в среднем на $4 \div 5^{\circ}\text{C}$.

Приведенные выше изменения теплотехнических свойств строительных материалов ограждения для I типа зданий, как показали нами проведенные исследования, значительное влияние оказали на работу ограждающих конструкций. Так, динамика охлаждения внутренней поверхности стены при отключении системы теплоснабжения в течении только первых 3 часов приблизительно одинакова, а в дальнейшем градиент температуры увеличивается в среднем на $4 \div 5^{\circ}\text{C}$. На основании обработки полученных данных с помощью пакета программ NUMER1 нами были получены закономерности интенсивности охлаждения внутренней поверхности стенки из керамзитобетона, которые позволяют производить оценку условий микроклимата помещений при отключении системы теплоснабжения.

На начало эксплуатации:

$$y_1 = 17,5 - 2,385x + 0,185625x^2 - 0,00875x^3 + 0,0001563x^4 \quad (5)$$

Сумма квадратов отклонений = 5,55130E-0027
После эксплуатации в течение 10 лет и более:

$$y_2 = 16,2 - 3,0271111x + 0,2087037x^2 - 0,0075617x^3 + 0,0001008x^4 \quad (6)$$

Сумма квадратов отклонений = 1,41836E-0025

Коэффициенты квадратичных отклонений составляют $5,55130\text{E-}0027$ и $1,41836\text{E-}0025$, что говорит о том, что полученные зависимости хорошо описывают динамику охлаждения ограждающих конструкций.

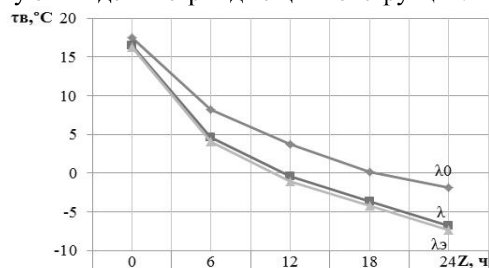


Рис. 1. Зависимость изменения температуры внутренней поверхности стенки при отключении системы теплоснабжения для I типа здания ($\rho = 800 \text{ кг/м}^3$)

Условные обозначения:

λ_0 - при вводе в эксплуатацию; λ_{∞} - при длительной эксплуатации (более 10 лет) (теоретические значения); λ_{∞} - при длительной эксплуатации (более 10 лет) (экспериментальные значения)

Проведенные нами исследования (рис. 2) изменения температуры внутренней поверхности ограждающей конструкции при отключении системы теплоснабжения для I типа здания (керамзитобетон $\rho = 1800 \text{ кг/м}^3$) показали, что в процессе длительной эксплуатации в керамзитобетоне с более высокой плотностью также происходят структурные изменения, которые существенно влияют на теплотехнические характеристики ограждающих строительных конструкций. Паспортные характеристики на период ввода в эксплуатацию зданий данного типа составили $\lambda_0 = 0,66 \text{ Вт/м}^2\text{C}$, $\rho_0 = 1800 \text{ кг/м}^3$, а в дальнейшем по истечении 10 лет и более $\lambda_{\infty} = 0,96 \text{ Вт/м}^2\text{C}$, $\rho_{\infty} = 2124 \text{ кг/м}^3$. Указанные изменения теплотехнических свойств в сторону увеличения теплопроводности составили 71,7%. Разработанная ранее нами методика экспериментального определения теплотехнических характеристик строительных материалов конструкций показала, что полученные экспериментальные и расчетные значения коэффициента теплопроводности практически совпадают, расхождение значений не превышает 4,3%.

Исследования показали, что в процессе эксплуатации увеличивается коэффициент теплопроводности, изменение которого влечет за собой уменьшение на 22% общее термическое сопротивление ограждающих конструкций на основе керамзитобетона, что в свою очередь увеличивает теплопотери здания и уменьшает такой параметр микроклимата, как температура внутренней поверхности ограждения в среднем на $3\div 4^{\circ}\text{C}$.

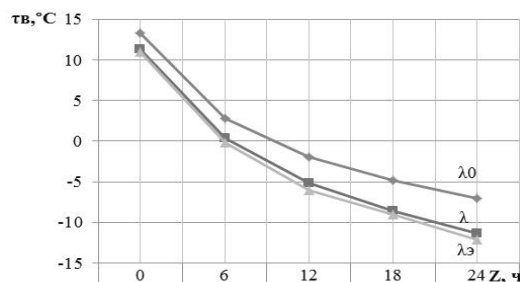


Рис. 2. Зависимость изменения температуры внутренней поверхности стенки при отключении системы теплоснабжения для I типа здания ($\rho = 1800 \text{ кг/м}^3$)

Приведенные выше изменения теплотехнических свойств строительных материалов ограждения для I типа зданий из керамзитобетона показали, что динамика охлаждения внутренней поверхности стен при отключении системы теплоснабжения в течении первых часов примерно одинакова, а в дальнейшем перепад температур увеличивается и к 24 часам с момента отключения системы теплоснабжения достигает $4,3^{\circ}\text{C}$, а в среднем $-3\div 4^{\circ}\text{C}$. На основании обработки полученных данных с помощью пакета программ NUMERI нами были получены закономерности интенсивности охлаждения внутренней поверхности стенки из керамзитобетона.

На начало эксплуатации:

$$y_3 = 13,3 - 2,5813333x + 0,1730972x^2 - 0,0064421x^3 + 0,000934x^4 \quad (7)$$

Сумма квадратов отклонений = $6,59269\text{E-}0026$

После эксплуатации в течение 10 лет и более:

$$y_4 = 11 - 2,4744444x + 0,1133333x^2 - 0,0020988x^3 + 2,30141 \cdot 10^{-17}x^4 \quad (8)$$

Сумма квадратов отклонений = $9,73162\text{E-}0027$

Коэффициенты квадратичных отклонений составляют $6,59269\text{E-}0026$ и $9,73162\text{E-}0027$, подтверждающие, что полученные зависимости хорошо описывают динамику охлаждения ограждающих конструкций.

Проведенные нами исследования (рис. 3) изменения температуры внутренней поверхности ограждающей конструкции при отключении системы теплоснабжения для II типа здания (керамический пустотелый кирпич $\rho = 1000 \text{ кг/м}^3$) показали, что в процессе длительной эксплуатации в данном строительном материале происходят структурные изменения, которые существенно влияют на теплотехнические характеристики ограждающих строительных конструкций. Паспортные характеристики на период ввода в эксплуатацию зданий данного типа составили $\lambda_0 = 0,35 \text{ Вт/м}^2\text{C}$, $\rho_0 = 1000 \text{ кг/м}^3$, а в дальнейшем по истечении 10 лет и более $\lambda_{\infty} = 0,54 \text{ Вт/м}^2\text{C}$, $\rho_{\infty} = 1020 \text{ кг/м}^3$. Указанные изменения теплотехнических свойств в сторону увеличения теплопроводности составили 48,6%. Как показали исследования, полученные экспериментальные и расчетные значения

коэффициента теплопроводности практически совпадают, расхождение значений не превышает 3,8%.

Исследования показали, что в процессе эксплуатации увеличивается коэффициент теплопроводности, изменение которого влечет за собой уменьшение на 30% общее термическое сопротивление ограждающих конструкций из керамического пустотелого кирпича, что в свою очередь увеличивает теплопотери здания и уменьшает такой параметр микроклимата, как температура внутренней поверхности ограждения в среднем на $2 \div 3,5^\circ\text{C}$.

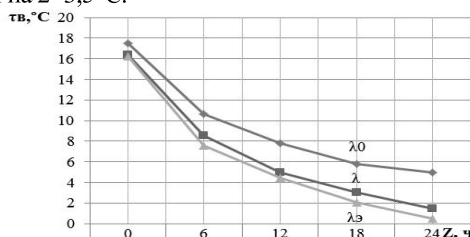


Рис. 3. Зависимость изменения температуры внутренней поверхности стенки при отключении системы теплоснабжения для II типа здания ($\rho = 1000 \text{ кг/м}^3$)

Приведенные выше изменения теплотехнических свойств строительных материалов ограждения для II типа зданий показали, что динамика охлаждения внутренней поверхности стены при отключении системы теплоснабжения в течении первых часов примерно одинакова, а в дальнейшем перепад температур увеличивается и к 24 часам с момента отключения системы теплоснабжения достигает $3,5^\circ\text{C}$, а в среднем – $2 \div 3,5^\circ\text{C}$. На основании обработки полученных данных с помощью пакета программ NUMERI нами были получены закономерности интенсивности охлаждения внутренней поверхности стенки из керамического пустотелого кирпича.

На начало эксплуатации:

$$y_5 = 17,5 - 1,816875x + 0,147656x^2 - 0,0067187x^3 + 0,0001172x^4 \quad (9)$$

Сумма квадратов отклонений = $1,51154\text{E}-0026$

После эксплуатации в течение 10 лет и более:

$$y_6 = 16,2 - 2,352x + 0,201444x^2 - 0,0090741x^3 + 0,0001512x^4 \quad (10)$$

Сумма квадратов отклонений = $1,53207\text{E}-0026$

Коэффициенты квадратичных отклонений составляют $1,51154\text{E}-0026$ и $1,53207\text{E}-0026$, что говорит о том, что полученные зависимости хорошо описывают динамику охлаждения ограждающих конструкций.

Проведенные нами исследования (рис. 4) изменения температуры внутренней поверхности ограждающей конструкции при отключении системы теплоснабжения для II типа здания (керамический пустотелый кирпич $\rho = 1600 \text{ кг/м}^3$) показали, что в процессе длительной эксплуатации в данном строительном материале происходят структурные изменения, которые существенно влияют на теплотехнические характеристики ограждающих строительных конструкций. Паспортные характеристики на период

ввода в эксплуатацию зданий данного типа составили $\lambda_0 = 0,47 \text{ Вт/м}^\circ\text{C}$, $\rho_0 = 1600 \text{ кг/м}^3$, а в дальнейшем по истечении 10 лет и более $\lambda_9 = 0,66 \text{ Вт/м}^\circ\text{C}$, $\rho_9 = 1651 \text{ кг/м}^3$. Указанные изменения теплотехнических свойств в сторону увеличения теплопроводности составили 36,2%. Как показали исследования, полученные экспериментальные и расчетные значения коэффициента теплопроводности практически совпадают, расхождение значений не превышает 3,1%.

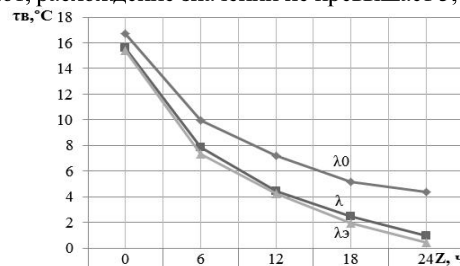


Рис. 4. Зависимость изменения температуры внутренней поверхности стенки при отключении системы теплоснабжения для II типа здания ($\rho = 1600 \text{ кг/м}^3$)

Исследования показали, что в процессе эксплуатации увеличивается коэффициент теплопроводности, изменение которого влечет за собой уменьшение на 24% общее термическое сопротивление ограждающих конструкций из керамического пустотелого кирпича, что в свою очередь увеличивает теплопотери здания и уменьшает такой параметр микроклимата, как температура внутренней поверхности ограждения в среднем на $2 \div 4^\circ\text{C}$.

Приведенные выше изменения теплотехнических свойств строительных материалов ограждения для II типа зданий показали, что динамика охлаждения внутренней поверхности стены при отключении системы теплоснабжения в течении первых 6 часов примерно одинакова, а в дальнейшем перепад температур увеличивается и к 24 часам с момента отключения системы теплоснабжения достигает 4°C , а в среднем – $2 \div 4^\circ\text{C}$. На основании обработки полученных данных с помощью пакета программ NUMERI нами были получены закономерности интенсивности охлаждения внутренней поверхности стенки из керамического пустотелого кирпича.

На начало эксплуатации:

$$y_7 = 15,6 - 1,854944x + 0,1161574x^2 - 0,0038719x^3 + 0,0000496x^4 \quad (11)$$

Сумма квадратов отклонений = $1,63883\text{E}-0026$

После эксплуатации в течение 10 лет и более:

$$y_8 = 15,4 - 2,1706667x + 0,1817778x^2 - 0,0081481x^3 + 0,0001358x^4 \quad (12)$$

Сумма квадратов отклонений = $1,14268\text{E}-0026$

Коэффициенты квадратичных отклонений составляют $1,63883\text{E}-0026$ и $1,14268\text{E}-0026$, что говорит о том, что полученные зависимости хорошо описывают динамику охлаждения ограждающих конструкций.

Проведенные нами исследования (рис. 5) изменения температуры внутренней поверхности ограждающей конструкции при отключении системы теплоснабжения для III типа здания (тяжелый бетон $\rho = 2500 \text{ кг/м}^3$) показали, что в процессе длительной эксплуатации в данном строительном материале происходят структурные изменения, которые существенно влияют на теплотехнические характеристики ограждающих строительных конструкций. Паспортные характеристики на период ввода в эксплуатацию зданий данного типа составили $\lambda_0 = 1,69 \text{ Вт/м}^\circ\text{C}$, $\rho_0 = 2500 \text{ кг/м}^3$, а в дальнейшем по истечении 10 лет и более $\lambda_9 = 2,14 \text{ Вт/м}^\circ\text{C}$, $\rho_9 = 2688 \text{ кг/м}^3$. Указанные изменения теплотехнических свойств в сторону увеличения теплопроводности составили 20,7%. Проведенные исследования показали, что полученные экспериментальные и расчетные значения коэффициента теплопроводности практически совпадают, расхождение значений не превышает 4,9%.

Исследования показали, что в процессе эксплуатации увеличивается коэффициент теплопроводности, изменение которого влечет за собой уменьшение на 8,8% общее термическое сопротивление ограждающих конструкций на основе тяжелого бетона, что в свою очередь увеличивает теплопотери здания и уменьшает такой параметр микроклимата, как температура внутренней поверхности ограждения в среднем на $1 \div 1,7^\circ\text{C}$.

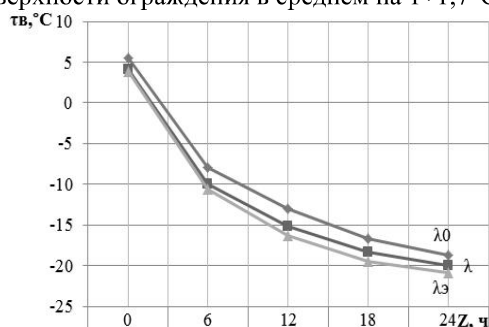


Рис. 5. Зависимость изменения температуры внутренней поверхности стенки при отключении системы теплоснабжения для III типа здания ($\rho = 2500 \text{ кг/м}^3$)

Приведенные выше изменения теплотехнических свойств строительных материалов ограждения для III типа зданий показали, что динамика охлаждения внутренней поверхности стены при отключении системы теплоснабжения в течении первых часов примерно одинакова, а в дальнейшем перепад температур увеличивается и к 24 часам с момента отключения системы теплоснабжения достигает $1,7^\circ\text{C}$, а в среднем – $1 \div 1,7^\circ\text{C}$. На основании обработки полученных данных нами были получены закономерности интенсивности охлаждения внутренней поверхности стенки на основе тяжелого бетона.

На начало эксплуатации:

$$y_9 = 5,5 - 3,598125x + 0,3005035x^2 - 0,0135243x^3 + 0,0002291x^4 \quad (13)$$

Сумма квадратов отклонений = $2,43103\text{E}-0026$

После эксплуатации в течение 10 лет и более:

$$y_{10} = 3,9 - 3,766x + 0,2883032x^2 - 0,011831x^3 + 0,0001903x^4 \quad (14)$$

Сумма квадратов отклонений = $4,42032\text{E}-0026$

Коэффициенты квадратичных отклонений составляют $2,43103\text{E}-0026$ и $4,42032\text{E}-0026$. Полученные зависимости хорошо описывают динамику охлаждения ограждающих конструкций.

Проведенные нами исследования (рис. 6) изменения температуры внутренней поверхности ограждающей конструкции при отключении системы теплоснабжения для IV типа здания (полнотелый глиняный обыкновенный кирпич $\rho = 1800 \text{ кг/м}^3$) показали, что в процессе длительной эксплуатации в данном строительном материале происходят структурные изменения, которые существенно влияют на теплотехнические характеристики ограждающих строительных конструкций. Паспортные характеристики на период ввода в эксплуатацию зданий данного типа составили $\lambda_0 = 0,56 \text{ Вт/м}^\circ\text{C}$, $\rho_0 = 1800 \text{ кг/м}^3$, а в дальнейшем по истечении 10 лет и более $\lambda_9 = 0,83 \text{ Вт/м}^\circ\text{C}$, $\rho_9 = 1865 \text{ кг/м}^3$. Указанные изменения теплотехнических свойств в сторону увеличения теплопроводности составили 44,6%. Исследования показали, что полученные экспериментальные и расчетные значения коэффициента теплопроводности практически совпадают, расхождение значений не превышает 2,5%.

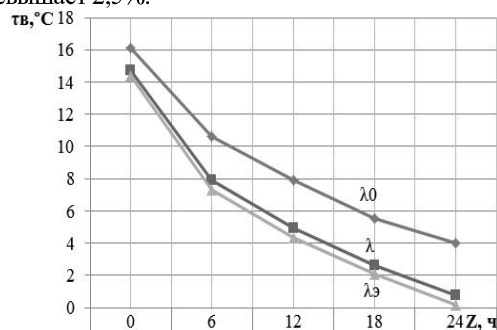


Рис. 6. Зависимость изменения температуры внутренней поверхности стенки при отключении системы теплоснабжения для IV типа здания ($\rho = 1800 \text{ кг/м}^3$)

Установлено, что в процессе эксплуатации увеличивается коэффициент теплопроводности, изменение которого влечет за собой уменьшение на 26% общее термическое сопротивление ограждающих конструкций из полнотелого глиняного обыкновенного кирпича, что в свою очередь увеличивает теплопотери здания и уменьшает такой параметр микроклимата, как температура внутренней поверхности ограждения в среднем на $2 \div 3^\circ\text{C}$. Приведенные выше изменения теплотехнических свойств строительных материалов ограждения для IV типа зданий показали, что динамика

охлаждения внутренней поверхности стены при отключении системы теплоснабжения в течение первых 3 часов примерно одинакова, а в дальнейшем перепад температур увеличивается и к 24 часам с момента отключения системы теплоснабжения достигает $3,2^{\circ}\text{C}$, а в среднем $-2\div 3^{\circ}\text{C}$. На основании обработки полученных данных с помощью пакета программ NUMERI нами были получены закономерности интенсивности охлаждения внутренней поверхности стенки из полнотелого глиняного обыкновенного кирпича.

На начало эксплуатации:

$$y_{11} = 16,1 - 1,3847917x + 0,1054433x^2 - 0,004978x^3 + 0,000088x^4 \quad (15)$$

Сумма квадратов отклонений = $9,78661\text{E}-0027$

После эксплуатации в течение 10 лет и более:

$$y_{12} = 14,4 - 1,8388333x + 0,1419815x^2 - 0,0060602x^3 + 0,0000962x^4 \quad (16)$$

Сумма квадратов отклонений = $9,05788\text{E}-0027$

Коэффициенты квадратичных отклонений составляют $9,78661\text{E}-0027$ и $9,05788\text{E}-0027$, что говорит о том, что полученные зависимости хорошо описывают динамику охлаждения ограждающих конструкций.

Проведенные нами исследования (рис. 7) изменения температуры внутренней поверхности ограждающей конструкции при отключении системы теплоснабжения для V типа здания (силикатный кирпич на цементно-песчаном растворе $\rho = 1800 \text{ кг/м}^3$) показали, что в процессе длительной эксплуатации в данном строительном материале происходят структурные изменения, которые существенно влияют на теплотехнические характеристики ограждающих строительных конструкций. Паспортные характеристики на период ввода в эксплуатацию зданий данного типа составили $\lambda_o = 0,70 \text{ Вт/м}^{\circ}\text{C}$, $\rho_o = 1800 \text{ кг/м}^3$, а в дальнейшем по истечении 10 лет и более $\lambda_s = 0,90 \text{ Вт/м}^{\circ}\text{C}$, $\rho_s = 1930 \text{ кг/м}^3$. Указанные изменения теплотехнических свойств в сторону увеличения теплопроводности составили $24,3\%$. Установлено, что полученные экспериментальные и расчетные значения коэффициента теплопроводности практически совпадают, расхождение значений не превышает $3,4\%$.

Исследования показали, что в процессе эксплуатации увеличивается коэффициент теплопроводности, изменение которого влечет за собой уменьшение на 20% общее термическое сопротивление ограждающих конструкций из силикатного кирпича на цементно-песчаном растворе, что в свою очередь увеличивает теплотери здания и уменьшает такой параметр микроклимата, как температура внутренней поверхности ограждения в среднем на 2°C .

Приведенные выше изменения теплотехнических свойств строительных материалов ограждения для V типа зданий показали, что динамика охлаждения внутренней поверхности стены при отключении системы теплоснабжения в течение первых часов примерно

одинакова, а в дальнейшем перепад температур увеличивается и к 24 часам с момента отключения системы теплоснабжения достигает $1,5^{\circ}\text{C}$, а в среднем $-1\div 2^{\circ}\text{C}$. На основании обработки полученных данных с помощью пакета программ NUMERI нами были получены закономерности интенсивности охлаждения внутренней поверхности стенки из силикатного кирпича на цементно-песчаном растворе.

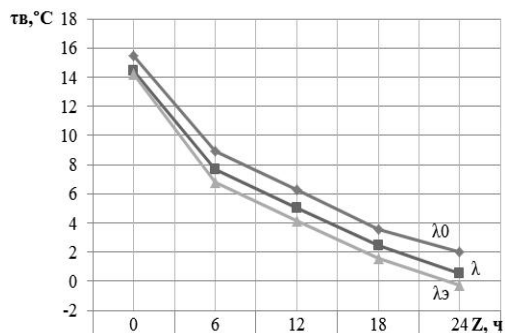


Рис. 7. Зависимость изменения температуры внутренней поверхности стенки при отключении системы теплоснабжения для V типа здания ($\rho = 1800 \text{ кг/м}^3$)

На начало эксплуатации:

$$y_{13} = 15,5 - 1,8340972x + 0,1706655x^2 - 0,0087635x^3 + 0,0001609x^4 \quad (17)$$

Сумма квадратов отклонений = $1,61214\text{E}-0026$

После эксплуатации в течение 10 лет и более:

$$y_{14} = 14,2 - 2,1441667x + 0,205375x^2 - 0,0101898x^3 + 0,0001794x^4 \quad (18)$$

Сумма квадратов отклонений = $1,65696\text{E}-0026$

Коэффициенты квадратичных отклонений составляют $1,61214\text{E}-0026$ и $1,65696\text{E}-0026$, что говорит о том, что полученные зависимости хорошо описывают динамику охлаждения ограждающих конструкций.

Проведенные нами исследования (рис. 8) изменения температуры внутренней поверхности ограждающей конструкции при отключении системы теплоснабжения для VI типа здания (тяжелый бетон на гравии из природного камня $\rho = 2400 \text{ кг/м}^3$) показали, что в процессе длительной эксплуатации в данном строительном материале происходят структурные изменения, которые существенно влияют на теплотехнические характеристики ограждающих строительных конструкций. Паспортные характеристики на период ввода в эксплуатацию зданий данного типа составили $\lambda_o = 1,51 \text{ Вт/м}^{\circ}\text{C}$, $\rho_o = 2400 \text{ кг/м}^3$, а в дальнейшем по истечении 10 лет и более $\lambda_s = 1,93 \text{ Вт/м}^{\circ}\text{C}$, $\rho_s = 2573 \text{ кг/м}^3$. Указанные изменения теплотехнических свойств в сторону увеличения теплопроводности составили $23,2\%$. В результате проведенных исследований установлено, что полученные экспериментальные и расчетные значения коэффициента теплопроводности практически совпадают, расхождение значений не превышает $3,8\%$.

Исследования показали, что в процессе эксплуатации увеличивается коэффициент теплопроводности, изменение которого влечет за собой уменьшение на 11% общее термическое сопротивление ограждающих конструкций из силикатного кирпича на цементно-песчаном растворе, что в свою очередь увеличивает теплотери здания и уменьшает такой параметр микроклимата, как температура внутренней поверхности ограждения в среднем на $1 \div 2,5^\circ\text{C}$.

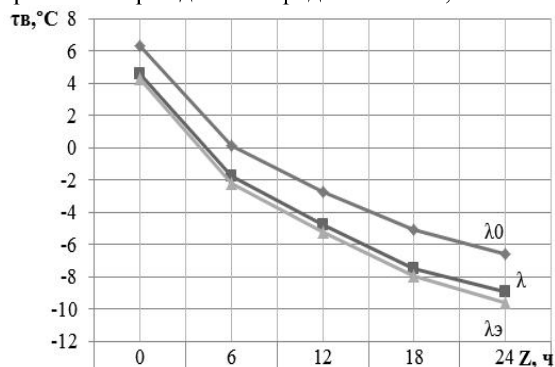


Рис. 8. Зависимость изменения температуры внутренней поверхности стенки при отключении системы теплоснабжения для VI типа здания ($\rho = 2400 \text{ кг/м}^3$)

Приведенные выше изменения теплотехнических свойств строительных материалов ограждения для VI типа зданий показали, что динамика охлаждения внутренней поверхности стены при отключении системы теплоснабжения в течении первых часов примерно одинакова, а в дальнейшем перепад температур увеличивается и к 24 часам с момента отключения системы теплоснабжения достигает $2,5^\circ\text{C}$, а в среднем — $1 \div 2,5^\circ\text{C}$. На основании обработки полученных данных с помощью пакета программ NUMERI нами были получены закономерности интенсивности охлаждения внутренней поверхности стенки на основе тяжелого бетона на гравии из природного камня.

На начало эксплуатации:

$$y_{15} = 6,3 - 1,562667x + 0,1186921x^2 - 0,0054259x^3 + 0,0000942x^4 \quad (19)$$

Сумма квадратов отклонений = $3,14602\text{E}-0027$

После эксплуатации в течение 10 лет и более:

$$y_{16} = 4,3 - 1,740375x + 0,1469271x^2 - 0,0072674x^3 + 0,0001317x^4 \quad (20)$$

Сумма квадратов отклонений = $3,56851\text{E}-0026$

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ / REFERENCES

1. Банхиди Л. Тепловой микроклимат помещений: Расчет комфортных параметров по теплоощущениям человека / Пер. с венг. В. М. Беляева; Под. ред. В. И. Прохорова и А. Л. Наумова. — Москва: Стройиздат, 1981. — 248 с.
- Banhidi L. Teplovoy mikroklimat pomeshcheniy: Raschet komfortnykh parametrov po teplooshchushcheniyam cheloveka [Thermal indoor climate: Calculation of comfort parameters Teploobmennik man] / Trans. with hung. V. M. Belyaev; Under.

Коэффициенты квадратичных отклонений составляют $3,14602\text{E}-0027$ и $3,56851\text{E}-0026$, что говорит о том, что полученные зависимости хорошо описывают динамику охлаждения ограждающих конструкций.

Научная новизна и практическая значимость

— в результате проведенных исследований установлено, что в процессе воздействия окружающей среды и климатических условий при длительной эксплуатации в строительных конструкциях вследствие структурных изменений (уплотнение, перестройка минералогического состава, карбонизации, миграции влаги и т.д.) происходят значительные изменения теплотехнических характеристик от первоначальных, что снижает их термическое сопротивление и существенно влияет на обеспечение нормальных условий микроклимата в помещении (изменение коэффициента теплопроводности в сторону увеличения от 20,7% до 48,6%);

— на основании проведенных исследований для 6 типов зданий установлено, что в процессе длительной эксплуатации строительных ограждающих конструкций возрастает динамика охлаждения температуры внутренней поверхности наружной стенки, при этом, градиент температуры увеличивается в среднем от 3°C до 5°C в зависимости от типа зданий. Установлены зависимости, которые позволяют прогнозировать изменения температуры внутренней поверхности стенки с учетом типа здания и применяемых строительных материалов ограждающих конструкций при отключении системы теплоснабжения, что позволяет управлять режимом теплоснабжения;

Выводы

Анализ проведенных нами исследований показал, что: 1) в момент отключения системы теплоснабжения колебания температуры внутренней поверхности ограждающей конструкции в зависимости от плотности для всех типов здания составляет $1 \div 1,5^\circ\text{C}$; 2) с течением времени колебания температуры внутренней поверхности стенки в процессе длительной эксплуатации зданий увеличиваются с увеличением коэффициента теплопроводности, так для зданий из керамзитобетона, керамического пустотелого кирпича и глиняного обыкновенного кирпича на цементно-песчаном растворе они составляют $3 \div 5^\circ\text{C}$, для остальных — $1,3 \div 2,5^\circ\text{C}$.

edited by V. I. Prokhorov and A. L. Naumov. — Moscow: Stroyizdat, 1981. — 248 p.

2. Богословский В. Н. Строительная теплофизика (теплофизические основы отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха): учеб. для вузов 2-е изд., перера. и доп. — Москва: Высшая школа, 1982. — 415 с.

Bogoslovsky V. N. Building thermal physics (thermal fundamentals of heating, ventilation and air conditioning): proc. for universities 2nd ed., Perera. and extra. — Moscow: Higher school, 1982. — 415 p.

3. Демин О. Б. Физико-технические основы проектирования зданий и сооружений: учеб. пособ. – Тамбов: Тамб. гос. техн. ун-та, 2004. – Ч. 2. – 84 с.
- Demin O. B. Fiziko-tehnicheskiye osnovy proyektirovaniya zdaniy i sooruzheniy: ucheb. posob. [Physical and technical bases of designing of buildings and structures: proc. p.] – Tambov: The Compromise. state technical. University press, 2004. – P. 2. – 84 p.
4. Захаренко И. М., Гончаренко Н. И. Воздействие окружающей среды на конструкции зданий и сооружений / Вісник КТУ. – Кривой Рог: ДВНЗ «Криворізький національний університет», 2011. – Вып. 28. – С. 3 – 7. – Режим доступа: http://knu.edu.ua/Files/V_28_2011/18.pdf.
- Zakharenko, I. M., Goncharenko N. I. Vozdeystviye okruzhayushchey sredy na konstruktzii zdaniy i sooruzheniy [The impact of environment on design of buildings and structures] / Bulletin KTU. - Krivoy Rog: SIHE "Krivorzhstal national University", 2011. – Vup. 28. – S. 3 – 7. – Access mode: http://knu.edu.ua/Files/V_28_2011/18.pdf.
5. Камья Ф. М. Импульсная теория теплопроводности. – Москва: Энергия, 1972. – 271 с.
- Kama F. M. Pulse theory of thermal conductivity. – Moscow: Energiya, 1972. – 271 p.
6. Козлов В. П., Станкевич А. В. Методы неразрушающего контроля при исследовании теплофизических характеристик твердых материалов // Инж. физ. журн. – 1984. – Т. 47. – № 2. – С. 250 – 252.
- Kozlov V. P., Stankevich A. V. Metody nerazrushayushchego kontrolya pri issledovanii teplofizicheskikh kharakteristik tverdykh materialov [NDT Methods in the study of thermophysical characteristics of solid materials] // Ing. Fiz. zhurn. – 1984. – T. 47. – №. 2. – P. 250 – 252.
7. Кондратьев Г. М. Регулярный тепловой режим. – Москва: Наука, 1964. – 487 с.
- Kondrat'ev G. M. Regular thermal mode. – Moscow: Nauka, 1964. – 487 p.
8. Кондратьев Г. М. Тепловые измерения. – Москва – Ленинград: Mashgiz, 1956. – 253 с.
- Kondrat'ev G. M. Thermal measurements. – Moscow – Leningrad: Mashgiz, 1956. – 253 p.
9. Коротков П. А., Лондон Г. Е. Динамические контактные измерения тепловых величин. – Ленинград: Машиностроение, 1974. – 222 с.
- Korotkov P. A., London, G. E. Dynamic contact measurement of thermal variables. – Leningrad: Mashinostroenie, 1974. – 222 p.
10. Мищенко С. В. Анализ и синтез измерительных систем / С. В. Мищенко, Ю. Л. Муромцев, Э. И. Цветков, В. Н. Чернышов. – Тамбов: Тамб. гос. техн. ун-т, 1995. – 238 с.
- Mishchenko S. V. Analysis and synthesis of the measurement systems / S. V. Mishchenko, Yu. L. Muromtsev, I. E. Tsvetkov, V. N. Chernyshov. – Tambov: The Compromise. state technical. University, 1995. – 238 p.
11. Платунов Е. С. и др. Теплофизические измерения и приборы. – Ленинград: Машиностроение, 1986. – 256 с.
- Platunov E. S., etc. Thermal measurements and instruments. – Leningrad: Mashinostroenie, 1986. – 256 p.
12. Платунов Е. С. Теплофизические измерения в монотонном режиме. – Ленинград: Энергия, 1973. – 143 с.
- Platunov E. S. Thermophysical measurements in the monotone mode. – Leningrad: Energiya, 1973. – 143 p.
13. Фокин К. Ф. Строительная теплотехника ограждающих частей зданий / Под ред. Ю. А. Табунщикова, В. Г. Гагарина, 5-е изд., пересмотр. – Москва: АВОК-ПРЕСС, 2006. – 256 с.
- Fokin K. F. Building heating equipment protecting parts of buildings / edited by J. A. Tabunshikova, V. G. Gagarin, 5th ed., revision. – Moscow: AVOK-PRESS, 2006. – 256 p.
14. Шашков А. Г. Методы определения теплопроводности и температуропроводности / А. Г. Шашков, Г. М. Волохов, Т. Н. Абраменко, В. П. Козлов. – Ленинград: Энергия, 1973. – 242 с.
- Shashkov A. G. Methods for determining thermal conductivity and thermal diffusivity / A. G. Shashkov, G. M. Volokhov, T. N. Abramenko, V. P. Kozlov. – Leningrad: Energiya, 1973. – 242 p.
15. Шлыков Ю. П., Гарин Е. А. Контактный теплообмен. – Москва – Ленинград: Энергия, 1963. – 144 с.
- Shlykov, Y. P., Garin, E. A. Contact heat exchange. – Moscow – Leningrad: Energiya, 1963. – 144 p.
16. Шнейдер П. Инженерные проблемы теплопроводности. – Москва: Изд-во литературы, 1960. – 478 с.
- Schneider P. Engineering problems of heat conduction. – Moscow: Publishing house of literature, 1960. – 478 p.
17. Ярышев Н. А. Теоретические основы измерения нестационарных температур. – Ленинград: Энергия, 1967. – 298 с.
- Yaryshev N. A. The theoretical basis for the measurement of transient temperatures. – Leningrad: Energiya, 1967. – 298 p.

Статья рекомендована к публикации д-ром. техн. наук, проф. С.З.Полищуком (Украина); д-ром. техн. наук, проф. В.Н. Деревянко (Украина)

Статья поступила в редколлегию 08.09.2015