

ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ – ОТ НАУЧНЫХ РАЗРАБОТОК ДО ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИХ КОНСТРУКЦИЙ И ТЕХНОЛОГИЙ

Наружные стеновые трехслойные панели жилых домов серии КТ(111-161) представляют собой сложную трехмерную пространственную конструкцию, имеющую, с теплофизической точки зрения, участки одномерного процесса теплопередачи «поле панели», и участки двух- и трехмерной теплопередачи «мостики холода», которыми являются ребра жесткости по периметру панели, оконные откосы, стыки панелей и др. Теплотехнический расчет панелей проводился аналитическим методом конечных интегральных преобразований с учетом фактора формы. При этом метод конечных интегральных преобразований для однослойных сред был развит для случая трехслойных стеновых панелей применительно к стационарным и нестационарным тепловым режимам.

Алгоритм решения контактных задач теплопроводности продемонстрирован на примере двухслойной стены (рис. 2) путем разбивки ее на 2 однослойные с использованием условия непрерывности удельного теплового потока в месте контакта (1). Используя второе условие неидеального теплового контакта (2), выраженное через контактное сопротивление и разницу температур контактных поверхностей, получено для искомого теплового потока $\Psi(t)$ интегральное уравнение Вольтера II-го рода (3) типа свертки с разностным $(t - \tau)$ ядром $K(t - \tau)$, решение которого известно.

Аналогичное сведение задачи теплопередачи через трехслойную наружную стену к трем однослойным представлено на рис. 3. Здесь искомые тепловые потоки $y_1(t)$ и $y_2(t)$ в 2-х местах контакта трехслойных стен определены из векторного двумерного интегрального уравнения Вольтера II-го рода типа свертки (4), где $K^*(t - \tau)$ - двумерное ядро-матрица имеет особенность в конечный момент времени $\tau = t$ превращаться в ∞ . Для устранения этой особенности разработан численный метод решения, алгоритм которого заключается в замене полученных интегралов конечными суммами по специальным квадратурным формулам Ньютона-Котеса с весовой экспоненциальной функцией, обеспечивающей высокую сходимость рядов, которые входят в состав ядер.

Учет наличия в трехслойных панелях таких элементов как ребра жесткости, оконные откосы, стыки проводится путем решения двумерных и

одномерных задач теплопроводности с учетом фактора формы. Величина фактора формы показывает, во сколько раз больше теплотери через указанный элемент, чем через поле панели.

Постановка двухслойной задачи

$$\begin{aligned} \frac{\partial t_k}{\partial \tau} &= a_k \frac{\partial^2 t_k}{\partial x^2}; k=1,2; \\ t_k(x,0) &= F_k(x); \\ t_1(-\delta_1, \tau) &= f_1(\tau); \\ t_2(\delta_2, \tau) &= f_2(\tau); \\ \lambda_1 \frac{\partial t_1(0, \tau)}{\partial x} &= \lambda_2 \frac{\partial t_2(0, \tau)}{\partial x} = \psi(\tau); \quad (1) \\ \lambda_1 \frac{\partial t_1(0, \tau)}{\partial x} &= \frac{1}{R} [t_2(0, \tau) - t_1(0, \tau)] \end{aligned}$$

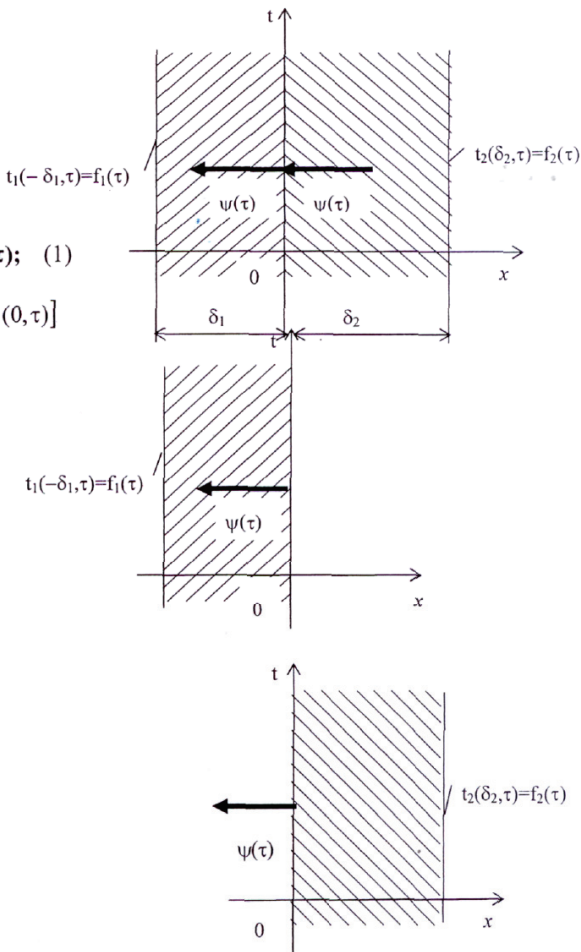
Разбивка на две задачи:

I-я задача

$$\begin{aligned} \frac{\partial t_1}{\partial \tau} &= a_1 \frac{\partial^2 t_1}{\partial x^2}; \\ t_1(x,0) &= F_1(x); \\ t_1(-\delta_1, \tau) &= f_1(\tau); \\ \lambda_1 \frac{\partial t_1(0, \tau)}{\partial x} &= \psi(\tau). \end{aligned}$$

II-я задача

$$\begin{aligned} \frac{\partial t_2}{\partial \tau} &= a_2 \frac{\partial^2 t_2}{\partial x^2}; \\ t_2(x,0) &= F_2(x); \\ \lambda_2 \frac{\partial t_2(0, \tau)}{\partial x} &= \psi(\tau); \\ t_2(\delta_2, \tau) &= f_2(\tau) \end{aligned}$$



Определение теплового потока

$$\psi(\tau) = \frac{1}{R} [t_2(0, \tau) - t_1(0, \tau)] \quad (2)$$

$$\psi(\tau) = G(\tau) + \int_0^\tau K(\tau - \omega) \psi(\omega) d\omega \quad (3)$$

Рис. 1. Принцип решения контактных линейных задач теплопроводности.

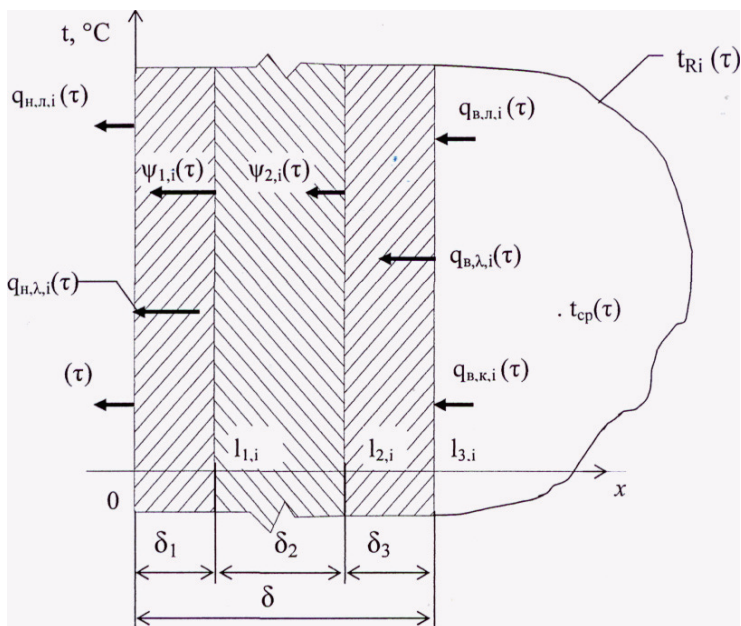


Рис.2. Расчетная схема теплопередачи через трехслойную наружную стену помещения при граничных условиях III-го рода.

Теплотехнический расчет трехслойных панелей аналитическим методом с учетом фактора формы сравнивался с численными расчетами методом сеток, проведенными в отделе малой энергетики ИТТФ НАН Украины под руководством член-кор. НАН Украины, д.т.н., проф., заслуженного деятеля науки и техники Украины Фиалко Н.М. [2...4]. Его большой опыт по применению численного метода сеток при решении трехмерных задач теплопередачи через конструкции позволил учесть сложность конфигурации областей в трехслойных панелях как в стационарных, так и нестационарных условиях эксплуатации. Сотрудничество КиевЗНИИЭП и ИТТФ НАН Украины на протяжении многих лет позволило сочетать аналитические и численные методы теплотехнического расчета наружных трехслойных стеновых панелей жилых домов серии КТ.

Как известно, учет температурной зависимости теплофизических характеристик материала стен (коэффициента теплопроводности λ и удельной теплоемкости c) приводит к необходимости решения нелинейных задач. Метод решения нелинейных задач нестационарной теплопередачи через наружные ограждающие конструкции зданий нами опубликован в монографии [5] и в других работах.

Исходное условие разбивки трехслойной задачи

$$\lambda_{k,i} \frac{\partial t_{k,i}(l_{k,i}, \tau)}{\partial x} = \lambda_{(k+1),i} \frac{\partial t_{(k+1),i}(l_{k,i}, \tau)}{\partial x} = \psi_{k,i}(\tau);$$

а) 1-я задача

$$\frac{\partial t_{1,i}(x, \tau)}{\partial \tau} = a_{1,i} \frac{\partial^2 t_{1,i}(x, \tau)}{\partial x^2}; \tau > 0; 0 < x < l_{1,i};$$

$$t_{1,i}(x, 0) = M_{1,i}x + M_{4,i};$$

$$\begin{cases} -\frac{\partial t_{1,i}(0, \tau)}{\partial x} + h_{H,1,i} t_{1,i}(0, \tau) = h_{H,1,i} t_H(\tau); \\ \lambda_{1,i} \frac{\partial t_{1,i}(l_{1,i}, \tau)}{\partial x} = \psi_{1,i}(\tau) \end{cases}$$

б) 2-я задача

$$\frac{\partial t_{2,i}(x, \tau)}{\partial \tau} = a_{2,i} \frac{\partial^2 t_{2,i}(x, \tau)}{\partial x^2}; \tau > 0; l_{1,i} < x < l_{2,i};$$

$$t_{2,i}(x, 0) = M_{2,i}x + M_{5,i};$$

$$\begin{cases} \lambda_{2,i} \frac{\partial t_{2,i}(l_{1,i}, \tau)}{\partial x} = \psi_{1,i}(\tau); \\ \lambda_{2,i} \frac{\partial t_{2,i}(l_{2,i}, \tau)}{\partial x} = \psi_{2,i}(\tau); \end{cases}$$

в) 3-я задача

$$\frac{\partial t_{3,i}(x, \tau)}{\partial \tau} = a_{3,i} \frac{\partial^2 t_{3,i}(x, \tau)}{\partial x^2}; \tau > 0; l_{2,i} < x < l_{3,i};$$

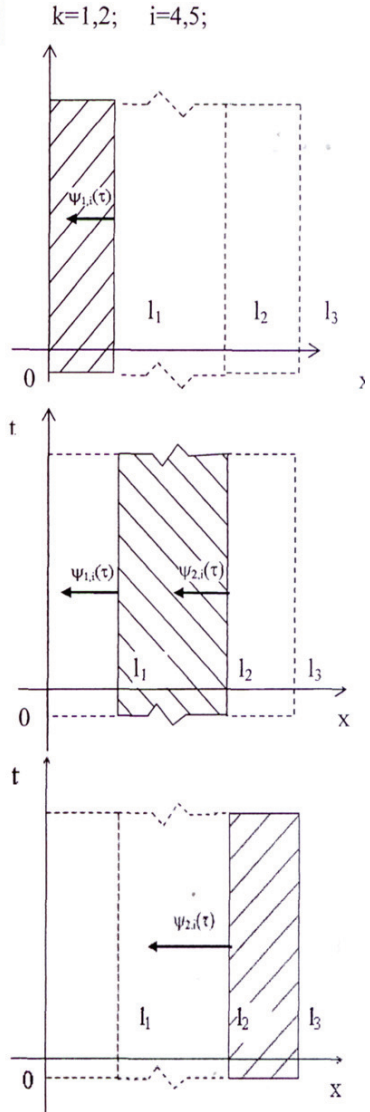
$$t_{3,i}(x, 0) = M_{3,i}x + M_{6,i};$$

$$\begin{cases} \lambda_{3,i} \frac{\partial t_{3,i}(l_{2,i}, \tau)}{\partial x} = \psi_{2,i}(\tau); \\ \frac{\partial t_{3,i}(l_{3,i}, \tau)}{\partial x} + h_{B,3,i} t_{3,i}(l_{3,i}, \tau) = \\ = h_{B,K,3,i}(\tau) t_{cp}(\tau) + h_{B,\Pi,3,i} t_{R_{3,i}}(\tau) \end{cases}$$

Определение тепловых потоков

$$\psi_{k,i}(\tau) = \frac{1}{R_{k,i}} [t_{(k+1),i}(l_{k,i}, \tau) - t_{k,i}(l_{k,i}, \tau)]$$

$$\psi_{k,i}(\tau) = G_{k,i}(\tau) + \int_0^\tau K_{k,i}(\tau - \omega) \psi_{k,i}(\omega) d\omega \quad (4)$$



Исходное условие разбивки трехслойной задачи

$$\lambda_{k,i} \frac{\partial t_{k,i}(l_{k,i}, \tau)}{\partial x} = \lambda_{(k+1),i} \frac{\partial t_{(k+1),i}(l_{k,i}, \tau)}{\partial x} = \psi_{k,i}(\tau);$$

а) 1-я задача

$$\frac{\partial t_{1,i}(x, \tau)}{\partial \tau} = a_{1,i} \frac{\partial^2 t_{1,i}(x, \tau)}{\partial x^2}; \quad \tau > 0; \quad 0 < x < l_{1,i};$$

$$t_{1,i}(x, 0) = M_{1,i}x + M_{4,i};$$

$$\begin{cases} -\frac{\partial t_{1,i}(0, \tau)}{\partial x} + h_{n,1,i} t_{1,i}(0, \tau) = h_{n,1,i} t_n(\tau); \\ \lambda_{1,i} \frac{\partial t_{1,i}(l_{1,i}, \tau)}{\partial x} = \psi_{1,i}(\tau) \end{cases}$$

б) 2-я задача

$$\frac{\partial t_{2,i}(x, \tau)}{\partial \tau} = a_{2,i} \frac{\partial^2 t_{2,i}(x, \tau)}{\partial x^2}; \quad \tau > 0; \quad l_{1,i} < x < l_{2,i};$$

$$t_{2,i}(x, 0) = M_{2,i}x + M_{5,i};$$

$$\begin{cases} \lambda_{2,i} \frac{\partial t_{2,i}(l_{1,i}, \tau)}{\partial x} = \psi_{1,i}(\tau); \\ \lambda_{2,i} \frac{\partial t_{2,i}(l_{2,i}, \tau)}{\partial x} = \psi_{2,i}(\tau); \end{cases}$$

в) 3-я задача

$$\frac{\partial t_{3,i}(x, \tau)}{\partial \tau} = a_{3,i} \frac{\partial^2 t_{3,i}(x, \tau)}{\partial x^2}; \quad \tau > 0; \quad l_{2,i} < x < l_{3,i};$$

$$t_{3,i}(x, 0) = M_{3,i}x + M_{6,i};$$

$$\begin{cases} \lambda_{3,i} \frac{\partial t_{3,i}(l_{2,i}, \tau)}{\partial x} = \psi_{2,i}(\tau); \\ \frac{\partial t_{3,i}(l_{3,i}, \tau)}{\partial x} + h_{в,3,i} t_{3,i}(l_{3,i}, \tau) = \\ = h_{в,к,3,i}(\tau) t_{ср}(\tau) + h_{в,л,3,i} t_{R_{3,i}}(\tau) \end{cases}$$

Определение тепловых потоков

$$\psi_{k,i}(\tau) = \frac{1}{R_{k,i}} [t_{(k+1),i}(l_{k,i}, \tau) - t_{k,i}(l_{k,i}, \tau)]$$

$$\psi_{k,i}(\tau) = G_{k,i}(\tau) + \int_0^\tau K_{k,i}(\tau - \omega) \psi_{k,i}(\omega) d\omega \quad (4)$$

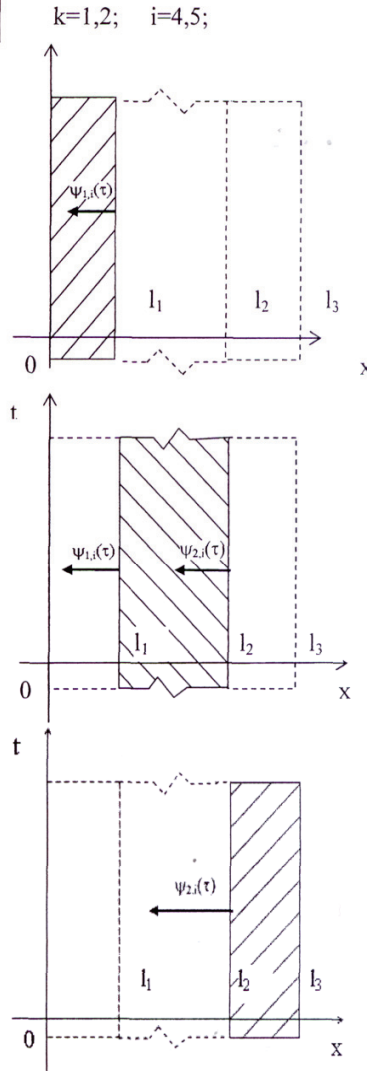


Рис. 3. Схема разбивки задачи теплопередачи через трехслойную стену на три задачи.

Новым этапом в повышении теплозащитных свойств наружных конструкций является использование энергосберегающего метода утепления – метода наружного утепления зданий. К преимуществам этого метода (по сравнению с внутренним утеплением) можно отнести:

1. Основная часть перепада температур внутри конструкции происходит в наружной изоляции (шуба одевается снаружи), а несущая часть конструкции находится в области положительных температур, что уменьшает вероятность появления температурно-влажностных деформаций, а, значит, увеличивает долговечность конструкции.

2. Положительная температура несущей конструкции способствует ее высыханию, особенно при наличии вентиляционной прослойки.

3. Увеличивается теплоустойчивость конструкции по отношению к изменениям температур – зимой в периоды резких похолоданий или при аварийном отключении отопления; летом – в периоды усиленной солнечной радиации. Это объясняется тем, что основной массивный слой конструкции, выполненный из оптимально усваиваемого материала – тяжелого бетона с коэффициентом теплоусвоения 0,101 м (по теории теплоустойчивости конструкций акад. Лыкова А.В.), который равен толщине слоя резких колебаний этого материала и который практически полностью аккумулирует тепло при прерывистом отоплении, а затем постепенно отдает тепло в помещение.

4. Снижаются перетоки тепла, в первую очередь, через стыки панелей, что важно для панельных зданий, и др.

Принципиально наружное утепление делится на два вида – утепление с наружной штукатуркой «мокрый фасад» и утепление с навесным вентилируемым фасадом. Последний является наиболее эффективным. Одним из его дополнительных важных преимуществ является то, что он работает по типу аэродинамической трубы и уносит влагу с утеплителя и со всей конструкции.

Внедрение вентилируемого фасада в Украине совпало с деятельностью Европейского Союза в области энергосбережения по специально разработанной программе Тазтз. В соответствии с этой программой в Украине были проведены анализ проектной документации строящихся жилых зданий-представителей и реконструкция построенных домов. Примером такой реконструкции является демонстрационный проект, который был осуществлен в период строительства 10-этажного жилого дома серии КТ по ул. Семиренко в г. Киеве, строительство которого осуществлял ДСК-3.

Эффективно велось сотрудничество с фирмами «Альцест», «Сканрок» и другими по материалам фасадных систем и способами крепления утеплителя и фасадного камня. В настоящее время на объектах Позняки ж/д 16, 16-А, 16-Б, Позняки ж/д 3,3-А внедрены вентилируемые фасады с утеплением $\delta = 150$ мм, что позволило достичь сопротивления теплопередачи $R=3,0 \text{ м}^2 \text{ К/Вт}$.

За последние 20 лет в Украине построено около 131 «теплых» жилых домов общей площадью 3 млн.м² и получен экономический эффект, благодаря энергосбережению, свыше 300 млн. грн.



Рис. 4. Жилые дома серии 111-161, построенные ДСК-3 в г. Киеве на массиве Позняки, 5-А мкрн.

Література

1. Брусан А.А., Черных Л.Ф. Теплоэффективные наружные ограждающие конструкции зданий // Перспективні напрямки проектування житлових та громадських будівель. – К.: КиевЗНИИЭП, 2003. С. 65-74.
2. Фялко Н.М., Черных Л.Ф. Тепловое состояние трехслойных наружных стен помещения при напольном электротеплоаккумуляционном отоплении // Промышленная теплотехника. Прил. к журн., 2004, т. 26, №5 – С. 48-56.
3. Фялко Н.М., Черных Л.Ф., Постоленко А.М. Влияние внутреннего каркаса здания на его тепловой режим // Оконные технологии, 2005, № 20-21 – С.44-47.
4. Фялко Н.М., Черных Л.Ф. Энергоэффективное электротеплоаккумуляционное напольное отопление жилых и общественных зданий // Оконные технологии. – 2005. – № 22. – С. 50-56.

5. Богословский В.Н., Ферт А.Р., Черных Л.Ф. Экспериментальное подтверждение методики расчета наружных ограждающих конструкций. Теплоустойчивость наружных ограждающих конструкций зданий с учетом зависимости теплофизических характеристик от температуры // Вопросы повышения энергетической эффективности кондиционирования микроклимата. – М.: МИСИ им. В.В. Куйбышева, 1989. – С. 10-14.

6. Черных Л.Ф. Метод расчета нестационарной теплопередачи через наружные ограждающие конструкции с учетом зависимости их теплофизических характеристик от температуры: Дис. ... канд. тех. наук: 05.23.03. – М., 1984. – 134 с.

7. Савенко В.І., Сухоросов І.М., Полосенко О.В., Тарасов В.О., Фіалко Н.М. Енергозберігаючі технології в будівництві та система управління якістю «Будівельні матеріали, виробництво та санітарна техніка». – 2009. – №1(31). – С. 96-99.

ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ В БУДІВНИЦТВІ – ВІД НАУКОВИХ РОЗРОБОК ДО ЕНЕРГОЗБЕРІГАЮЧИХ КОНСТРУКЦІЙ І ТЕХНОЛОГІЙ

***В. Г. Прокопов, Н. М. Фіалко, Л. Ф. Черних, Л. Г. Ключ, І. М. Сухоросов,
В. І. Савенко, Г. Г. Фаренюк***

В роботі наводяться результати багаторічних досліджень зовнішніх огорожуючих конструкцій житлових будинків з різними типами утеплення, методи розрахунків, результати лабораторних та натурних випробувань. Показано удосконалення теплоізоляційних якостей зовнішніх огорожуючих конструкцій «тепліх» житлових будинків серії 111-161, збудованих ДБК-3 в м. Києві, які відповідають вимогам нині діючого ДБН В.2.6-31:2006 «Конструкція будівель і споруд. Теплова ізоляція будівель». Основні положення роботи широко впроваджено на об'єктах будівництва ВАТ «ДБК-3» АТ ХК Київміськбуд в житлових будинках.

THE ENERGY CONSERVATION IN CONSTRUCTIONS – FROM SCIENTIFIC IMPLEMENTATION TO THE ENERGY-EFFICIENT STRUCTURE AND TECHNOLOGYS

***V. G. Prokopov, N. M. Fialko, L. F. Chernih, L. G. Klus, I. M. Suhorosov,
V. I. Savenko, G. G. Farenuk***

In work results of long-term researches of external protecting designs of apartment houses with various types of warming, methods of calculations, results of laboratory and natural tests are resulted. It is shown the improvement of heat insulating qualities outward fenced constructions «warm» habitable buildings line 111-161, which were build «DBK-3» in Kyiv, which are conform to requirement of now acting ДБН В.2.6-31:2006 «Конструкція будівель і споруд. Теплова ізоляція будівель». Work substantive provisions are widely introduced on objects of building of OJSC «Hause building company №3» in apartment houses.