

УДК 728.8:697.001.57

к.т.н. Симонов С. І.,
к.т.н. Симонова І. М.,
к.т.н. Овчаренко В. О.
(ДонДТУ, м. Лисичанськ, Україна)

МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕМПЕРАТУРНИХ ПОЛІВ ОГОРОДЖУВАЛЬНИХ КОНСТРУКЦІЙ

У статті наведено результати розрахунку температурних полів зовнішніх огорожень на прикладі досліджень конструкцій житлового будинку серії І-480А в умовах проведення натурних експериментів.

Ключові слова: енергоаудит, опір теплопередачі, тепловізійне вимірювання, температурні поля, теплопровідні включення, тепловтрати.

Постановка проблеми у загальному вигляді та її зв'язок з важливими науковими та практичними завданнями.

Одним із головних завдань, яке необхідно вирішувати в процесі реформування житлово-комунального господарства України, є підвищення ефективності енергозбереження до рівня, коли воно стане інноваційно-привабливим і здатним забезпечити не менше 20 – 30 % реальної економії паливно-енергетичних ресурсів у цілому по ЖКГ [1].

Для контролю енергозбереження, аналізу та підвищення енергоефективності житлових будинків необхідно проводити їх енергоаудит. Енергоаудит – це комплексне обстеження житлового фонду на предмет витрати теплової енергії, виявлення нераціональних втрат тепла, розрахунку тепловтрат зовнішніми огороженнями, розробка енергозберігаючих заходів, а також видача рекомендацій та визначення ефекту від їх впровадження.

Розрахунок тепловтрат огорожувальними конструкціями будівлі є найважливішим етапом проведення енергоаудиту, а також найважливішою частиною розрахунку при проектуванні систем опалення будинку.

У комплексі енергозберігаючих заходів, особлива увага приділяється підвищенню теплового захисту будівель. Застосування ефективних зовнішніх огорожувальних конструкцій і скорочення тепловтрат у

вузлах сполучень з іншими конструкціями дозволить знизити енергоспоживання будівель на 20 ... 30 %. На думку авторів [2], зниження до мінімуму тепловтрат через стіни будинків дає змогу на 30 % і більше зменшити витрати на опалення й, отже, знизити викиди в атмосферу продуктів горіння, що дуже важливо в сучасній непростій екологічній ситуації.

Конструкції сучасних багат шарових огорожень характеризуються поділом функцій між окремими матеріальними шарами. У загальному випадку огороження складається з конструктивного (несучого) шару, теплоізоляційного шару, а також паро- або гідроізоляційного шару, внутрішнього та зовнішнього фактурних шарів. Відносно режиму теплопередачі основними є конструктивний та теплоізоляційний шари. Конструктивним, як правило, є шар із щільного матеріалу зі значною теплопровідністю та стійкого для проникнення водяної пари й повітря. Матеріал теплоізоляційного шару звичайно пористий, пухкий, а, отже, з малою теплопровідністю, такий що добре пропускає водяну пару й повітря.

В якості сучасних систем утеплення фасадів будівлі застосовують штукатурні системи (з тонкошаровими штукатурками

© Симонов С. І., 2018

© Симонова І. М., 2018

© Овчаренко В. О., 2018

завтовшки до 10 мм і з обробкою толстослойними штукатурками), вентилявані фасади і інші системи утеплення відмітною особливістю яких є наявність великої кількості елементів кріплення, вузлів сполучення і тому подібне.

Використання металевих елементів при кріпленні сучасних систем утеплення фасадів будівлі створюють в таких системах містки холоди, які істотно знижують сумарний приведений опір теплопередачі термічно неоднорідній конструкції.

Такі системи вимагають ретельного обстеження, а ще краще, на стадії проектування зовнішніх огороджень необхідно виконувати розрахунки температурних полів з метою прогнозування температурного режиму та режиму вологості конструкції впродовж всього процесу експлуатації будівлі.

Аналіз останніх досягнень і публікацій.

Проведення обстежень будівель найчастіше зараз проводять за допомогою тепловізійної зйомки, яка вимагає від організації наявності необхідного спеціального устаткування й групи висококваліфікованих у тепловізійній зйомці та будівельній справі фахівців.

Сучасна конструкція тепловізора являє собою цифровий прилад, принцип роботи якого засновано на здатності вловлювати ІЧ-випромінювання від обстежуваних об'єктів і визначати температуру або перетворювати його у візуальну картинку розподілу теплових полів по поверхні об'єкта.

Температурні поля поверхонь огорожувальних конструкцій утворюються на екрані тепловізора у вигляді кольорового зображення, градації кольору якого відповідають різним температурам. За допомогою тепловізора можливо проводити тепловізійну діагностику (обстеження) – тобто огляд об'єктів в інфрачервоному діапазоні спектра ("теплова картинка"), вимір температури в будь-якій їхній точці, спостереження динаміки теплових процесів, а також створення банку даних теплового стану по кожному зі спостережуваних об'єктів.

Проте прогнозування температурного режиму і режиму вологості зовнішніх огороджень виконується на підставу вживання теорії тепло- і масопереносу. У будівельній фізиці теоретичні основи методів розрахунку температурного режиму і режимів вологості закладені працями багатьох учених, зокрема Богословського В.Н., Власова О.Е., Гагаріна В.Г., Ликова А.В., Ушкова Ф.В., Фокіна К.Ф., Франчука А.У., Шкловера А.М. і багато інших.

Основною методикою, використовуваною для вирішення завдань будівельної теплофізики, служить їх чисельне рішення в кінцевих різницях.

Процес передачі тепла через огородження, усі параметри якого залишаються незмінними в часі, називається стаціонарним і є найбільш простим випадком теплопередачі.

Прикладом одномірного температурного поля є плоска стінка необмеженого протягу, у якій зміна температури відбувається в одному напрямку. Однак, в огородженнях з теплопровідними включеннями або в кутових зонах зміна температури відбувається у двох або в трьох напрямках. Тоді доводиться мати справу із двомірним (плоским) або тривимірним (просторовим) температурним полем.

Для правильного проектування теплозахисту огорожувальних конструкцій експлуатованих житлових будинків необхідно досліджувати температурні поля різних ділянок зовнішніх стін, тобто розрахувати розподіл температур або по окремих перетинах, або в усьому обсязі конструкції.

У реальних конструкціях зовнішніх огорожень, особливо в стінових панелях будівель, фактично не можна виділити площу, у межах якої забезпечувалася б одномірність температурного поля. Наявність у конструкції огороження різних теплопровідних включень у вигляді ребер, обрамлень віконних прорізів, внутрішніх і зовнішніх виступаючих частин, примикань внутрішніх конструкцій

приводить до утворення в них складних двох- і тривимірних температурних полів.

У загальному вигляді температурне поле зовнішніх огорожень конструкцій описується наступним рівнянням [3, 4]:

$$\frac{\partial}{\partial x} \left[\lambda(x, y) \frac{\partial t}{\partial x} \right] + \frac{\partial}{\partial y} \left[\lambda(x, y) \frac{\partial t}{\partial y} \right] = 0. \quad (1)$$

Одним з методів теоретичного дослідження температурних полів є метод аналогового моделювання процесу теплопередачі через огороження, описаний в [4], а для дослідження нестационарних температурних полів запропонований метод гідравлічних аналогій, розроблений В.С. Лук'яновим [4]. В основу методу покладена аналогія між тепловим і гідравлічним процесом.

Однак, при розрахунках температурних полів складних конструкцій методом аналогій виявляються недоліки цього методу, такі як значна трудомісткість, недостатня точність тощо, що робить такі дослідження нераціональними.

Для масових розрахунків температурних полів зовнішніх огорожень використовують теоретичні дослідження, які передбачають заміну дійсного фізичного процесу математичною моделлю. Чисельне рішення рівняння 1 зводиться до обчислення значень температур в вузлових точках сітки, на яку розбивається досліджуваній вузол огорожувальної конструкції, за допомогою рішення системи рівнянь.

В даний час для реалізації чисельних методів розрахунку температурних полів розроблені комп'ютерні програми, що дозволяють з високою точністю будувати температурні поля в неоднорідних конструкціях різної складності як у двох-, так і тримірному просторі [6]. Вихідні дані визначають конфігурацію і розміри досліджуваної області, обриси її ділянок та умови теплообміну на межах.

Постановка завдань. Метою досліджень є визначення температурного поля існуючої конструкції зовнішнього обгоро-

джування за допомогою сучасних програмних комплексів.

Представлення основного матеріалу дослідження з повним обґрунтуванням отриманих результатів.

При виборі розрахункової програми для вивчення температурних полів зовнішніх стін необхідно враховувати конструктивне рішення стін, що характеризуються застосуванням теплотехнічних неоднорідних матеріалів, складною формою стиків, сполучень зовнішніх стін з іншими конструкціями, наявністю теплопровідних включень та ін. Разом з тим, перетини таких огорож по висоті та довжині є, як правило, незмінними, що дозволяє виділити типові ділянки, в межах яких формуються двомірні температурні поля.

Провівши аналіз програм розрахунку температурних полів, для наших досліджень була обрана програма моделювання двовимірних температурних полів ELCUT [6].

ELCUT – це інтегрована діалогова система, яка дозволяє виконати розрахунки стаціонарних і нестационарних двомірних температурних полів огорожувальних конструкцій будівель.

Створення математичної моделі в програмі відбувається в три етапи:

- введення геометричних об'єктів і маніпулювання ними;
- завдання властивостей, джерел поля і граничних умов;
- побудова сітки кінцевих елементів.

Типова послідовність кроків при вирішенні нового завдання представлена на блок-схемі, рисунок 1.

Результатом розрахунку по програмі ELCUT є значення температур в кожному вузлі розрахункової сітки кінцевих елементів. На підставі цих величин програма будує температурні поля у вигляді ізоліній температур. Крім того, в нашому дослідженні визначаються температури в різних точках на внутрішній поверхні огороження (τ_{ϵ} , $^{\circ}\text{C}$), а також розподіл температур по горизонтальних і вертикальних

перерізах у місцях теплопровідних включень та сполучення зовнішніх стін з іншими будівельними конструкціями.

Результатом розрахунку по програмі ELCUT є значення температур в кожному вузлі розрахункової сітки кінцевих елементів. На підставі цих величин програма будує температурні поля у вигляді ізоліній температур. Крім того, в нашому

дослідженні визначаються температури в різних точках на внутрішній поверхні огороження (τ_{θ} , $^{\circ}\text{C}$), а також розподіл температур по горизонтальних і вертикальних перерізах у місцях теплопровідних включень та сполучення зовнішніх стін з іншими будівельними конструкціями.

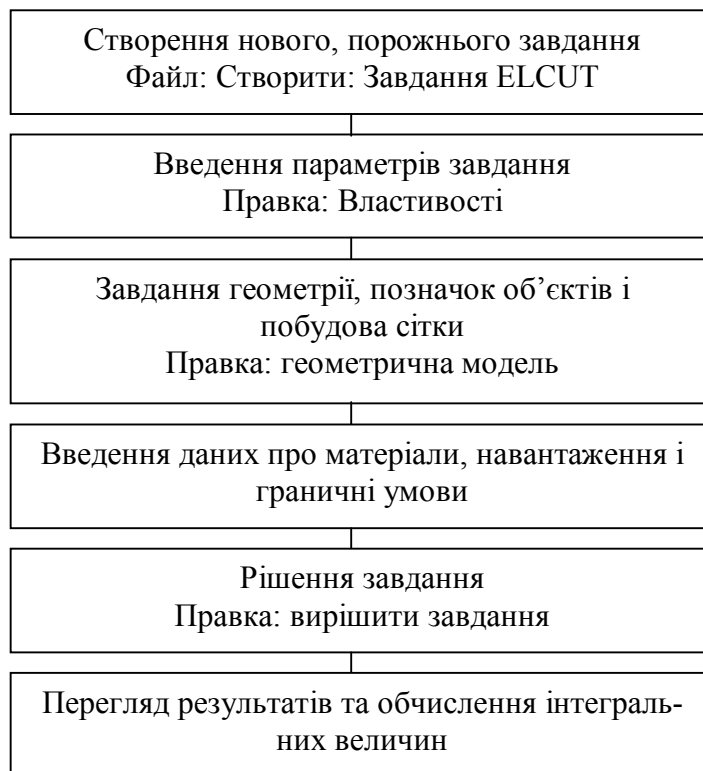


Рисунок 1 – Блок-схема послідовності кроків програми ELCUT

На рисунках 2, 4, 5 наводимо результати розрахунку розподілу температурних полів в стіновій панелі будинків серії 1-480А, в сполученні двох стінових панелей та у вузлі обпирання плити перекриття на стінові панелі при різних параметрах температур.

Температурні поля дають наочне уявлення про особливості теплопередачі на ділянках стіни.

Для огорожувальних конструкцій, що розглядаються, за допомогою програми ELCUT виконувався розрахунок двовимірних стаціонарних температурних

полів при температурі зовнішнього повітря: $t_n = -1^{\circ}\text{C}$; $t_n = -7^{\circ}\text{C}$; $t_n = -25^{\circ}\text{C}$. Перші два параметри температур вибиралися з умов проведення експерименту, а третій параметр – це температура зовнішньої п'ятиденки для даного району будівництва.

За заданою частиною огорожувальної конструкції будувалися графіки розподілу температур на поверхні контуру, рисунок 3.

Результати розрахунку можна наводити в табличній формі, наводимо деякі значення для температури $t_n = -7^{\circ}\text{C}$.

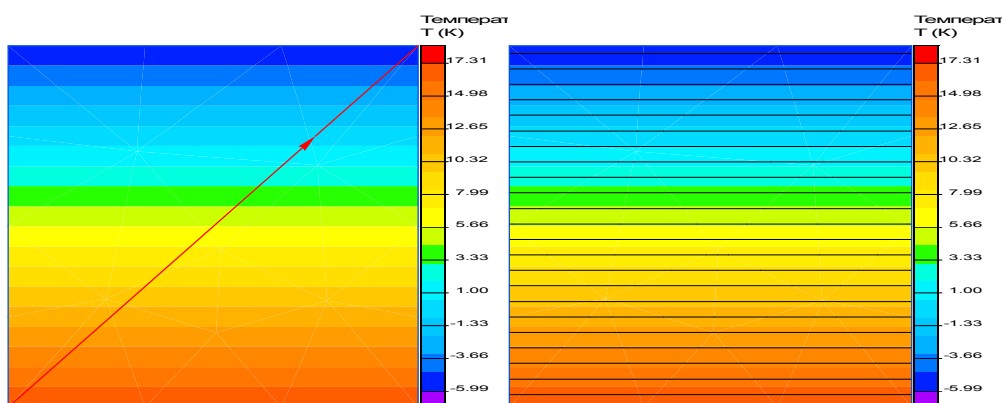


Рисунок 2 – Розрахунковий розподіл температурного поля та ізотерм на поверхні стінової панелі при $t_n = -7^{\circ}\text{C}$

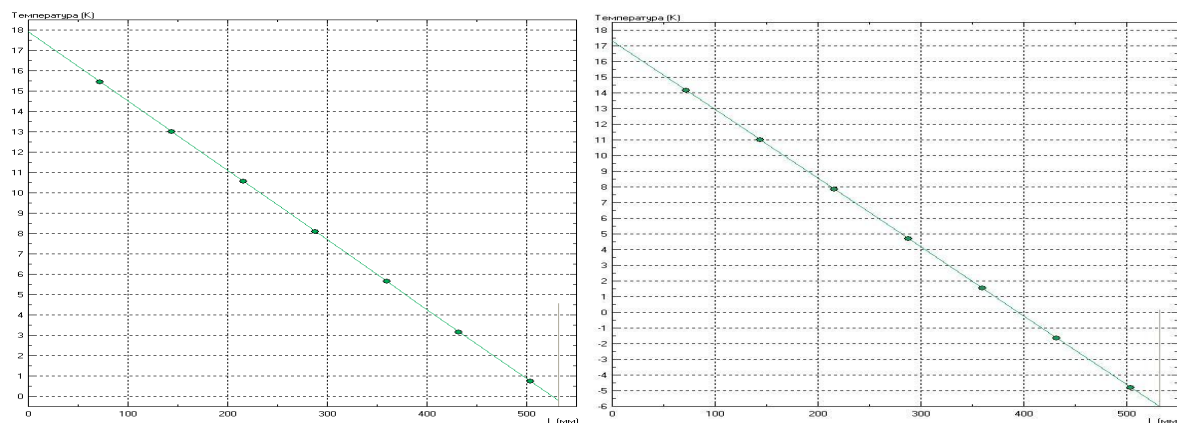


Рисунок 3 - Графіки розподілу температур за заданим контуром стіни при $t_n = -1^{\circ}\text{C}$ і $t_n = -7^{\circ}\text{C}$

Таблиця 1 – Результати розрахунку температурного поля стінової панелі

Відстань, L , мм	Координата x , мм	Координата y , мм	Температура, T , $^{\circ}\text{C}$	Тепловий потік, F_y , $\text{Вт}/\text{м}^2$	Тепловий потік, F_t , $\text{Вт}/\text{м}^2$	Теплопровідність, $\text{Вт}/^{\circ}\text{C}\cdot\text{м}$
0.00	0.0	0	17.32	23.31	17.54	0.40
26.58	17.5	20	16.16	23.31	17.54	0.40
53.15	35.0	40	14.99	23.31	17.54	0.40
79.73	52.5	60	13.82	23.31	17.54	0.40
106.30	70.0	80	12.66	23.31	17.54	0.40
132.88	87.5	100	11.49	23.31	17.54	0.40
159.45	105.0	120	10.33	23.31	17.54	0.40

БУДІВНИЦТВО

Продовження таблиці 1

Відстань, L , мм	Координата x , мм	Координата y , мм	Температура, T , $^{\circ}\text{K}$	Тепловий потік, F_y , $\text{Вт}/\text{м}^2$	Тепловий потік, F_t , $\text{Вт}/\text{м}^2$	Теплопровідність, $\text{Вт}/^{\circ}\text{K}\cdot\text{м}$
186.03	122.5	140	9.16	23.31	17.54	0.40
212.60	140.0	160	7.99	23.31	17.54	0.40
239.18	157.5	180	6.83	23.31	17.54	0.40
265.75	175.0	200	5.67	23.31	17.54	0.40
292.33	192.5	220	4.50	23.31	17.54	0.40
318.90	210.0	240	3.34	23.31	17.54	0.40
345.48	227.5	260	2.17	23.31	17.54	0.40
372.06	245.0	280	1.01	23.31	17.54	0.40
398.63	262.5	300	-0.16	23.31	17.54	0.40
425.21	280.0	320	-1.33	23.31	17.54	0.40
451.78	297.5	340	-2.49	23.31	17.54	0.40
478.36	315.0	360	-3.66	23.31	17.54	0.40
504.93	332.5	380	-4.82	23.31	17.54	0.40
531.51	350.0	400	-5.99	23.31	17.54	0.40

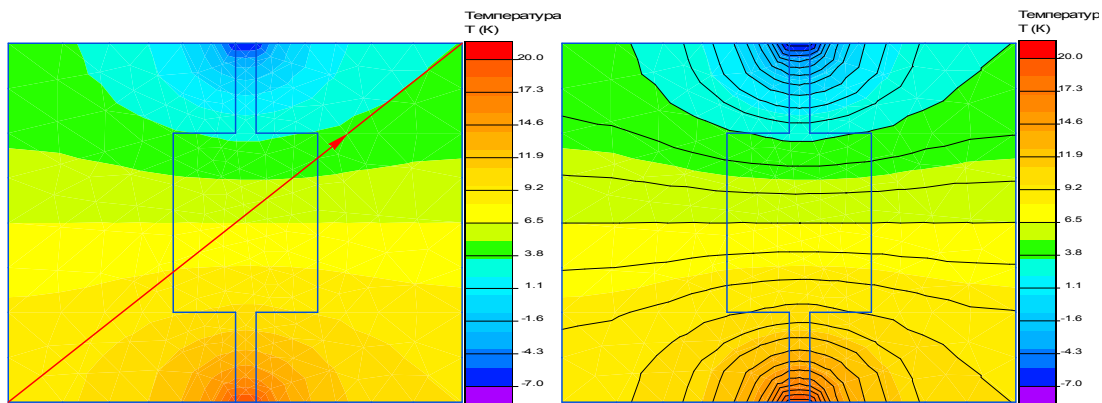


Рисунок 4 – Розрахунковий розподіл температурного поля та ізотерм на поверхні стику стінових панелей при $t_{\text{н}} = -7^{\circ}\text{C}$ (стрілочкою вказано напрямок контуру для розрахунку в табличній формі та на графіку)

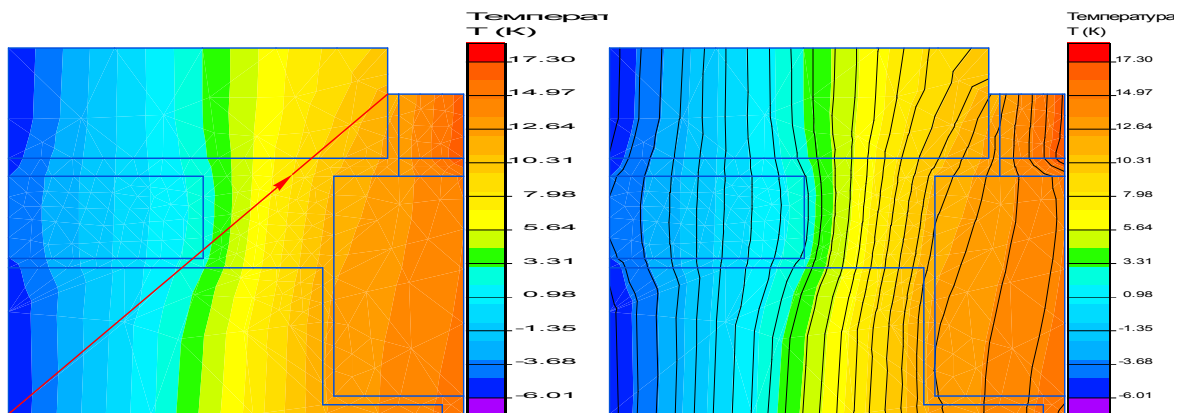


Рисунок 5 – Розрахунковий розподіл температурного поля та ізотерм на поверхні горизонтального стику стінової панелі в місці теплопровідного включення при $t_{\text{н}} = -7^{\circ}\text{C}$

Висновки і перспективи подальшого розвитку.

Оцінка точності чисельних методів розрахунку температурних полів обчислюється шляхом зіставлення отриманих результатів з окремими випадками аналітичних рішень і експериментальними дослідженнями. Похибки чисельних рішень складаються з похибок при вирішенні диференціальних рівнянь кінцево-різницевиими методами похибки від обчислень, причому остання складова може виявитися вище в аналітичних рішеннях, тому що ці рішення містять суму членів ряду, що зменшуються. При експериментальних дослідженнях виникають похибки вимірювань, крім того, на результати впливають різні випадкові чинники, на-

приклад, фактична нестационарність умов, розбіжність розрахункових і фактичних величин теплопровідності стінових матеріалів, їх неоднорідність тощо. Зазвичай порівняння результатів аналітичного, експериментального і чисельного методів вирішення показує хороший збіг результатів дослідження – 1% – 3% від найбільшого значення температури [7].

Дані дослідження і розрахунки проводилися з метою порівняння тепловізійних натурних досліджень з розрахунковими для здобуття картини температурних полів в зовнішніх обгороджуваннях вже існуючого житлового будинку масової серії 1-480А.

Бібліографічний список

1. Маліков В. М. Підвищення ефективності енергозбереження в житлово-комунальному господарстві / В. М. Маліков, А. А. Руденко // Будівництво України. – 2003. – № 3. – С. 29 – 30.
2. Карапузов Є. К. Утеплення фасадів: підруч. / Є. К. Карапузов, В. Г. Соха. – К.: Вища освіта, 2007. – 319 с.
3. Табуничиков Ю. А. Тепловая защита ограждающих конструкций зданий и сооружений / Ю. А. Табуничиков, Д. Ю. Хромец, Ю. А. Матросов. – М.: Стройиздат, 1986. – 380 с.
4. Фокин К. Ф. Строительная теплотехника ограждающих частей зданий / К. Ф. Фокин. – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Стройиздат, 1973. – 287 с.
5. Табуничиков Ю. А. Тепловая защита ограждающих конструкций зданий и сооружений / Ю. А. Табуничиков, Д. Ю. Хромец, Ю. А. Матросов. – М.: Стройиздат, 1986. – 380 с.
6. ELCUT. Моделирование температурных полей методом конечных элементов Версия 4.2Т. Руководство пользователя. / Производственный кооператив ТОР. – Санкт-Петербург, 2000. – 185 с.
7. Теплотехнические особенности проектирования утепленных наружных стен с вентилируемым фасадом: [учеб. пособ.] / Б. В. Гусев, В. А. Езерский, П. В. Монастыреви др. – М.: Изд-во Ассоциации строительных вузов, 2006. – 117 с.

Рекомендована до друку

**д.т.н., проф. ТОВ «Укрінсталькон ім. В. М. Шимановського» Голодновим О. І.,
д.т.н., проф. НУБтаП України Давиденком О. І.**

Стаття надійшла до редакції 09.01.2018

к.т.н. Симонов С. И., к.т.н. Симонова И. Н., к.т.н. Овчаренко В. А.
(ДонДТУ, г. Лисичанск, Украина)

МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ТЕМПЕРАТУРНЫХ ПОЛЕЙ ОГРАЖДАЮЩИХ КОНСТРУКЦИЙ

В статье приведены результаты расчета температурных полей наружных ограждений на примере исследований конструкций жилого дома серии 1-480А в условиях проведения натурных экспериментов.

Ключевые слова: энергоаудит, сопротивление теплопередаче, тепловизионные измерения, температурные поля, теплопроводные включения, теплопотери.

PhD Simonov S. I., PhD Simonova I. N., PhD Ovcharenko V. A. (DonSTU, Lisichansk, Ukraine)

METHODS OF INVESTIGATION OF THE TEMPERATURE FIELDS OF CIRCUIT CONSTRUCTIONS

The article presents the results of calculating the temperature fields of sidings using the example of studies of the structures of an apartment house of the I-480A series in conditions of conducting full-scale experiments.

Key words: energy audit, resistance to heat transfer, thermal imaging measurements, temperature fields, heat-conducting inclusions, heat losses.