

Плахотніков К.В., Бондаренко Д.О., Старкова О.В., Костюк Т.О.

Харківський національний університет будівництва та архітектури
(вул. Сумська, 40, Харків, 61002, Україна; e-mail: kirillplahotnikov84@gmail.com)

ЗБЕРЕЖЕННЯ ТЕПЛА ЗА РАХУНОК ВИКОРИСТАННЯ ПОКРИТТЯ НА ОСНОВІ ПОРОЖНІХ МІКРОСФЕР

Теплоізоляція і енергоефективність будинків - ключовий елемент стратегії, що впливає на світовий енергетичний ринок. Використання високоефективних, довговічних теплоізоляційних матеріалів є одним зі шляхів підвищення ефективності будівництва. Перспективним напрямком енергозбереження є відбивальна теплоізоляція. Ідея відбивної ізоляції не нова, але в повній мірі вона не була реалізована. В даній статті розглядаються розрахунки зі збереження теплових витрат при використанні відбивної теплоізоляції на основі порожніх мікросфер, що обґрунтовує її використання для будівель. Оскільки відбивальна теплоізоляція призводить до зміни структури і величини теплових втрат з поверхні стіни, було визначено зміну теплопередачі для огорожувальної конструкції з відбивальним покриттям і без нього.

Ключові слова: енергозбереження, відбивальна теплоізоляція, порожні мікросфери, тепловий потік.

Вступ. Дослідження запропоновані у даній роботі відносяться до будівельної галузі, а саме розробці та впровадженню ефективних теплоізоляційних матеріалів. У житловому секторі прийняті нові норми з енергозбереження, що потребує підвищених вимог до теплозахисних заходів та теплоізоляційних матеріалів, що можуть бути конкурентно здатними на сучасному будівельному ринку [1,2]. До таких матеріалів можна віднести тонкошарові мінеральні теплоізоляційні покриття, які мають не тільки дуже низький коефіцієнт теплопровідності, а й сприяють зменшенню передачі тепла назовні за рахунок радіаційної складової у загальному тепловому потоці. Перспективним напрямком енергозбереження є відбивальна теплоізоляція. Ідея відбивної ізоляції не нова, але в повній мірі вона не була реалізована. В даній статті розглядаються розрахунки зі збереження теплових витрат при використанні відбивної теплоізоляції на основі порожніх скляних мікросфер, що обґрунтовує її використання для будівель. Оскільки відбивальна теплоізоляція призводить до зміни структури і величини теплових втрат з поверхні стіни, то необхідно визначитися зі зміною теплопередачі для огорожувальних конструкцій з теплоізоляційним покриттям і без нього.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Рідкі теплоізоляційні покриття на основі порожніх скляних та алюмосилікатних

мікросфер поступово завойовує все нові галузі, в тому числі і у будівництві [3,4]. Відношення фахівців до теплозахисних характеристик подібних матеріалів є неоднозначним [5,6]. Існують різні підходи до визначення можливостей передачі теплової енергії для різних видів матеріалів [13, 14]. Оскільки традиційні теплоізоляційні покриття мають, приблизно, однакову випромінювальну здатність (0,92-0,95), то основним показником для визначення ефективності таких теплоізоляційних матеріалів є коефіцієнт теплопровідності. Наповнювачем у теплоізоляційних красках виступають скляні і керамічні порожні мікросфери, тому, наприклад, матеріал Moutrical [7] є оптичною системою, що активно працює в області теплового інфрачервоного випромінювання, це призводить до зменшення випромінювальної здатності поверхні стіни з даним покриттям. Тобто скороченню радіаційної складової тепловитрат і зменшенню теплового потоку з поверхні огорожувальної конструкції. Тепловий потік q з зовнішньої стіни в оточуючий простір має дві складові:

- конвективну q_k з передачею тепла з поверхні стіни зовнішньому повітрю:

$$q_k = \alpha_n \cdot (T_{нп} - T_n), \quad (1)$$

де: α_n - коефіцієнт конвективної тепловіддачі з поверхні стіни; $T_{нп}$ - температура зовнішньої стіни; T_n - температура зовнішнього повітря;

- радіаційну складову q_r , яка передається дистанційно за рахунок інфрачервоного випромінювання:

$$q_r = \varepsilon \cdot G_0 (T_{mn}^4 - T_{rz}^4), \quad (2)$$

де: ε - напівсферична випромінювальна здатність поверхні стіни; $G_0 = 5,67 \cdot 10^{-8} \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{К}^4$ - постійна Стефана-Больцмана; T_{rz} - ефективна радіаційна температура навколишнього простору.

Таким чином щільність потоку теплових втрат з поверхні стіни складе

$$q = q_k + q_r = \alpha_n (T_{mn} - T_n) + \varepsilon \cdot G_0 (T_{mn}^4 - T_{rz}^4) \quad (3)$$

Ефективна радіаційна температура навколишнього простору залежить від радіаційної температури небосхилу T_r , яка залежить від хмарності, вологості, запиленості, аналіз літератури показав [8], що

$$T_r = 0,0552 \cdot T_n^{3/2} \quad (4)$$

де: T_n - температура повітря біля поверхні землі, К.

Але стіна обмінюється теплом не тільки з небокраєм, а й з поверхнею землі і тим, що на ній знаходиться, де T_z відрізняється від T_r - температура небосхилу. Для окремого будинку половина радіаційної складової припадає на енергообмін між стіною і поверхнею землі:

$$q_r = 1/2 \varepsilon \cdot G_0 (T_{mn}^4 - T_z^4) + 1/2 \varepsilon \cdot G_0 (T_{mn}^4 - T_r^4) = \varepsilon \cdot G_0 (T_{mn}^4 - \frac{T_z^4 + T_r^4}{2}) \quad (5)$$

Зі співвідношення (2) і (5) отримаємо:

$$T_{rz}^4 = \frac{T_z^4 + T_r^4}{2} \quad (6)$$

При цьому приймаємо, що $T_z = T_n$. З урахуванням виразу (4), отримаємо ефективну радіаційну температуру навколишнього простору

$$T_{rz}^4 = T_n^4 (1/2 + 4,642 \cdot 10^{-6} \cdot T_n^2) \quad (7)$$

Оскільки теплоізоляційне покриття, що складається з порожнистих скляних порожніх мікросфер, являє оптичну систему, і це призводить до зміни випромінювальної здатності стіни [8-10].

Як показали дослідження [7-9], випромінювальна здатність такого покриття складає 0,75 (покриття «Moutrical») [7], що менше випромінювальної здатності традиційних будівельних матеріалів 0,92-0,95 (для цегли, бетону, штукатурки, скла і т.п.), що

призводить до скорочення радіаційної складової теплових втрат і зменшення величини теплового потоку з поверхні стіни.

Якщо поверхня стіни має T_{mn} і випромінюючу здатність $\varepsilon_0 = 0,92$, тоді щільність потоку теплових втрат з (3) визначимо:

$$q_0 = \alpha_n (T_{mn} - T_n) + \varepsilon_0 \cdot G_0 (T_{mn}^4 - T_{rz}^4) \quad (8)$$

Після нанесення теплоізоляційного покриття з мікросферами і випромінюючої здатності $\varepsilon_T (0,75)$ за інших рівних умов, щільність теплового потоку з поверхні стіни буде:

$$q_T = \alpha_n (T_{mn} - T_n) + \varepsilon_T \cdot G_0 (T_{mn}^4 - T_{rz}^4) \cdot E, \quad (9)$$

Тоді відносна величина енергозберігаючого ефекту:

$$E = \frac{q_0 - q_T}{q_0}, \quad (10)$$

а з урахуванням (8) і (9) отримаємо:

$$E = \frac{\varepsilon_0 - \varepsilon_T}{\varepsilon_0 + \frac{\alpha_n (T_{mn} - T_n)}{G_0 (T_{mn}^4 - T_{rz}^4)}} \quad (11)$$

З теоретичних і експериментальних даних [11,12], коефіцієнт теплообміну конвекції турбулентного режиму:

$$\alpha_n = V \cdot (T_{mn} - T_n)^{1/3} \quad (12)$$

де: γ - коефіцієнт, що враховує природу газу і температурний режим.

Для атмосферного повітря γ , для діапазону температур ($-40^\circ\text{C} < t_n < 10^\circ\text{C}$), γ може бути записаний:

$$\gamma = 2,014 - 0,0092 \cdot t_n, \quad (13)$$

де: t_n за Цельсієм пов'язана з абсолютною температурою $T_n = t_n + 273$

З (11) запишемо вираз для середнього коефіцієнта теплозбереження з урахуванням (12) і (13)

$$E = \frac{\varepsilon_0 - \varepsilon_T}{\varepsilon_0 + \frac{(2,014 - 0,0092 \cdot T_n) \cdot (T_{mn} - T_n)^{4/3}}{5,67 \cdot 10^{-8} \cdot (T_{mn}^4 - T_{rz}^4)}} \quad (14)$$

У діапазоні температур $t_n = (-30 \div 0^\circ\text{C})$ і для $t_{mn} - t_n$ рівним $0,2 \div 5,0^\circ\text{C}$, для конструкцій з термічним опором теплопередачі $0,4 \div 2,5 \text{ м}^2\text{C/Вт}$, вираз (14) можна записати (з точністю 2,5%):

$$E = \frac{\varepsilon_0 - \varepsilon_T}{\varepsilon_0 + \frac{1,236 (T_{mn} - T_n)}{19,637 + T_{mn} - T_n}} \quad (15)$$

Оскільки покриття призводить до зміни структури і величини теплових втрат з поверхні стіни, опір теплопередачі стіни зміниться. Визначимо зміну теплопередачі для огорожувальної конструкції з покриттям і без нього при температурі внутрішнього повітря $T_{в}$. Випромінювальна здатність теплоізоляційного покриття має випромінювальну

здатність ε_T нижче, ніж випромінювальна здатність зовнішньої поверхні стіни без покриття ε_0 . З класичного визначення опору теплопередачі [11] отримуємо:

- опір теплопередачі стіни без покриття:

$$R_T = \frac{T_B - T_H}{q_0} \quad (16)$$

- опір теплопередачі стіни з теплоізоляційним покриттям, що містить пустотні мікросфери

$$R_T^{TH} = \frac{T_B - T_H}{q_T} \quad (17)$$

Із (16) и (17) з урахуванням (10) отримуємо, що

$$R_T^{TH} = \frac{R_T - q_0}{q_T} = \frac{R_T}{1 - E}$$

Розрахунки з опору теплопередачі огорожувальних конструкцій будівель з урахуванням покриття на основі порожніх мікросфер є актуальним, для підвищення термічного опору стін, що були збудовані у часи, коли вимоги до термічного опору огорожувальних конструкцій опиралися на старі норми енергозбереження у житловому секторі.

Визначення мети та задачі дослідження. Метою досліджень є визначення можливості зниження теплових витрат при використанні теплоізоляційного покриття, яке має не тільки низький коефіцієнт теплопередачі, а й більш низьку випромінювальну здатність. Для досягнення поставленої мети необхідно провести розрахунки з опору теплопередачі огорожувальної конструкції з урахуванням теплоізоляційного покриття (ТІ) на цементному в'язучому, що містить скляні і алюмосилікатні мікросфери за методикою [7].

Основна частина дослідження. Будівля експлуатується у м. Харков, огорожувальна конструкція представлена у вигляді стіни з силікатної цегли, площею 100 м^2 , товщиною $0,5 \text{ м}$. Зовнішня частина стіни вкрита теплоізоляційним шаром, на основі алюмосилікатних та скляних мікросфер, внутрішня – заштукатурена цементно-піщаним розчином.

Для проведення розрахунків з середньорічних витрат тепла для зовнішньої стіни при прийнятому опорі теплопередачі для місцевості Харкова можна записати:

$$Q = F_{\Delta t} k n = 100 \cdot 46 \cdot 1,2318 \cdot 149 = 844276 \text{ Вм/год.},$$

де F – площа поверхні з покриттям, м^2 (100 м^2); Δt – різниця внутрішньої і зовнішньої температур найбільш холодної п'ятиднівки, ($\Delta t = 20 - (-26)$); k – коефіцієнт зворотній нормованому опорі теплопередачі, $1/R_t = 1,2318$; n – кількість днів опалювального періоду з температурою не більше $+8^\circ\text{C} = 149$.

Власний термічний опір теплоізоляційного ТІ покриття товщиною 1 мм і теплопровідністю $\lambda = 0,067 \text{ Вт/м}\cdot^\circ\text{C}$ буде: $R_t = 0,0150 \text{ м}^2\cdot^\circ\text{C/Вт}$.

Ефективна випромінювальна здатність цегляної кладки приймається $\varepsilon = 0,95$.

Ефективна випромінювальна здатність покриття що складається за об'ємом на 95% зі скляних мікросфер приймається $\varepsilon = 0,85$ [15].

Тоді середній коефіцієнт енергозбереження буде дорівнювати:

$$E = \frac{0,95 - 0,85}{0,95 + \frac{1,236 \cdot 46}{19,637 \cdot 23 \cdot 0,2 + 46}} = 0,0943$$

Середній опір теплопередачі стіни з двох шарів, без урахування ТІ:

$$R_k = \frac{0,5}{0,78} + \frac{0,01}{0,81} = 0,6533 \text{ м}^2\cdot^\circ\text{C/Вт}$$

Опір стіни без ТІ покриття за ДБН В.2.6-31:2006:

$$R_t = \frac{1}{\alpha_v} + R_k + \frac{1}{\alpha} = 0,115 + 0,6533 + 0,0434 = 0,8118 \text{ м}^2\cdot^\circ\text{C/Вт}$$

Тоді опір стіни з ТІ покриттям:

$$R_t^i = R_t + R_{ti} / 1 - E = 0,8118 + 0,015 / 1 - 0,0943 = 0,913 \text{ м}^2\cdot^\circ\text{C/Вт}$$

Середньорічні витрати тепла для всієї поверхні стіни з ТІ покриттям:

$$Q_{ti} = 100 \cdot 46 \cdot 0,913 \cdot 149 = 625770 \text{ Вт/рік}$$

Визначимо економію тепла за рахунок нанесення 1 мм ТІ покриття на стіну 100 м^2 :

$$(Q - Q_{ti} / Q) \cdot 100 = (770860,5 - 625770 / 770860,5) \cdot 100 = 18,82\%$$

Висновки. Таким чином, нанесення на стіну площею 100 м^2 ТІ покриття, що містить скляні порожні мікросфери, у кліматичних умовах м. Харкова, може дозволити знизити теплові витрати на $18,82\%$ на рік. Оскільки розроблене теплоізоляційне покриття на цементному в'язучому можна, на відміну від лакофарбового, наносити більш товстим шаром, то зменшення тепловитрат для зовнішніх огорожувальних конструкцій

цій можна досягти також і за рахунок теплопередачі (коефіцієнт теплопередачі покриття $\lambda=0,06\text{Вт/м}\cdot^{\circ}\text{C}$).

ЛІТЕРАТУРА:

1. Thermal Insulation Materials. Material Characterization, Phase Changes, Thermal Conductivity [Text] / NETZSCH-Gerätebau GmbH. – Germany. Selb. – 2016. – 23 p.
2. Yurkov, A.L. Properties of Heat-Insulating Materials (A Review) [Text] / A.L. Yurkov, L.M. Aksel'rod. Refractories and Industrial Ceramics. – Vol. 46. – Issue 3, 2008/.-P. 170–174.
3. Ryzhenkov, A.V. Syntactic Foams Efficiency with the Use of Various Microspheres for Heat Supply Equipment and Pipelines Heat Insulation [Text] / A.V. Ryzhenkov, S.I.Pogorelov, N.A. Loginova, E.V. Belyaeva, A.Y. Plestsheva. Modern Applied Science. – Vol.9. – №. 4 – 2015. – P.319-327.
4. Liang, J.Z. Effects of the glass bead content and the surface treatment on the mechanical properties of polypropylene composites [Text] / J.Z. Liang, C.B.Wu. Journal of Applied Polymer Science. – Vol. 123. – №. 5. – 2012. – P. 3054-3063.
5. Valášek, P. Polymeric composite based on glass powder - usage possibilities in agrocomplex [Text] / P.Valášek, M. Müller. Scientia Agriculturae Bohemica. – Vol. 44. – №.2. – 2013. – P.107-112.
6. Ku, H. Tensile Tests of Phenol Formaldehyde Glass-Powder-Reinforced Composites: Pilot Study [Text] / H.Ku, Trada M. Cecil, P.Wong. Journal of Applied Polymer Science. – Vol. 116. – №. 1. 2010– P. 10-17.
7. Методика расчета сопротивления теплопередачи ограждающей конструкции здания с учетом покрытия. «Moutrical» / [Електронний ресурс] / Режим доступу: <http://geum.ru/next/art-200091.php>.
8. Звіт про виконання НДР по х.д. №201 від 01.03.2000р.: Розробити математичну модель теплопереносу у покриттях, що являють собою компаунд з єднальних та пустотних скляних мікросфер. [Текст] / АНК «Інститут тепло - та масообміну ім. А.В.Ликова» НАНБ, 2000, 2с.
9. Розрахунок інтегрального відображення та пропускання інфрачервоного випромінювання для покриття, що складається з щільно упакованих пустотних скляних мікросфер (PCM) у полімерній матриці. [Текст] / Звіт інституту фізики НАНБ. Мінськ, 2003р.
10. Домбровський, Л.А. Моделювання теплового випромінювання полімерного покриття, що містить пустотні мікросфери [Текст] / Л.А. Домбровський. Теплофізика високих температур, 2005, №2.
11. Ликов А.В. Тепломасообмін (Довідник). [Текст] / А.В. Ликов– М: Енергія, 1978, - 480 с.
12. Мартиненко, О.Т. Вільно-конвективний теплообмін: Довідник [Текст] / О.Т. Мартиненко, Ю.А. Соковишин - Мінськ: Наука і техніка, 1982, - 400 с.
13. Ali H. Al-Zaidiab Mohamed. Condensation flow patterns and heat transfer in horizontal microchannels [Text] / M.Mahmoudac Tassos G.Karayianis Experimental Thermal and Fluid Science Volume 90, January 2018, P.153-173.
14. Heyhat, M.M. Experimental investigation of laminar convective heat transfer and pressure drop of water-based Al₂O₃ nanofluids in fully developed flow regime [Text] / M.M. Heyhat, F. Kowsary, A.M. Rashidi, M.H. Momenpour, A. Amrollahi. Experimental Thermal and Fluid Science Volume 44, January 2013, P.483-489.
15. Таблица излучательной способности для различных материалов / [Електронний ресурс] / Режим доступу: <http://zaeuro-mix.ru/tablicza-izluchatelnoj-sposobnosti.html>.

Плахотников К.В., Бондаренко Д.А., Старкова О.В., Костюк Т.А. СОХРАНЕНИЕ ТЕПЛА ЗА СЧЕТ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПОКРЫТИЯ НА ОСНОВЕ ПУСТЫХ МИКРОСФЕР. Теплоизоляция и энергоэффективность зданий - ключевой элемент стратегии, влияющий на мировой энергетический рынок. Использование высокоэффективных, долговечных теплоизоляционных материалов является одним из путей повышения эффективности строительства. Перспективным направлением энергосбережения является отражающая теплоизоляции. Идея отражающей теплоизоляции не нова, но в полной мере она не была реализована. В данной статье рассматриваются расчеты по сохранению тепловых потерь при использовании отражающей теплоизоляции на основе полых микросфер, обосновывается ее использование для теплоизоляции зданий. Поскольку отражающая теплоизоляция приводит к изменению структуры и величины тепловых

потерь с поверхности стены, было определено изменение теплопередачи для ограждающей конструкции здания с применением покрытия с отражающим эффектом и без него.

Ключевые слова: энергосбережение, отражающая теплоизоляция, полые микросферы, тепловой поток.

Plahotnikov K.V., Bondarenko D.A., Starkova O.V., Kostyk T.A. HEAT CONSERVATION AT THE USE OF COVERAGE BASED ON EMPTY MICROSPHERES. The research proposed in this paper relates to the construction industry, namely the design and implementation of effective insulation materials. In the residential sector, new energy saving standards have been adopted, which requires increased requirements for heat protection measures and insulation materials that can be competitive in the modern construction market. Liquid thermal insulation coatings on the basis of hollow glass and aluminosilicate microspheres gradually gain all the new industries, including construction. The ratio of specialists to the thermal protection characteristics of such materials is ambiguous. Calculations on the resistance of the heat transfer of the building envelope to the coverage based on the hollow microspheres are relevant. These materials include thin-

layer mineral thermal insulation coatings, which have not only a very low thermal conductivity, but also contribute to reducing the heat transfer from the outside due to the radiation component in the overall heat flux. A promising area of energy conservation is reflective insulation. The idea of a reflective isolation is not new, but it has not been fully implemented. In this paper, calculations are considered for the conservation of heat consumption with the use of reflecting insulation on the basis of hollow glass and aluminosilicate microspheres, which justifies its use for buildings. Since the reflective thermal insulation leads to a change in the structure and magnitude of heat losses from the wall surface, a change in the heat transfer for a fencing structure with reflective coating and without it has been determined. The purpose of the research is to determine the possibility of reducing the heat consumption when using a heat-insulating coating, which has not only a low heat transfer coefficient but also a reflective thermal insulation. To achieve this goal, it is necessary to calculate the heat transfer resistance of the enclosing structure, taking into account the heat-insulating coating containing the glass microspheres.

Keywords: energy saving, reflecting heat insulation, hollow microspheres, heat flow.

DOI: 10.29295/2311-7257-2018-93-3-199-205
УДК 621.926.5

Ємельянова І.А., Чайка Д.О.

*Харківський національний університет будівництва та архітектури
(вул. Сумська, 40, Харків, 61002, Україна; e-mail: emeljanova-inga@ukr.net, d.chayka93@gmail.com)*

ДО ПИТАННЯ ВИЗНАЧЕННЯ РАЦІОНАЛЬНИХ РЕЖИМІВ РОБОТИ УНІВЕРСАЛЬНОГО БЕЗПОРШНЕВОГО ШЛАНГОВОГО БЕТОНОНАСОСА

В статті представлені результати попередніх досліджень для знаходження раціональних режимів роботи універсального безпоршневого шлангового бетононасоса з гідравлічним приводом в умовах будівельного майданчика. Проведений чотирьохфакторний експеримент, в якому тиск нагнітання бетонної суміші та продуктивність досліджувалися в залежності від чотирьох незалежних факторів з використанням центрального ортогонального композиційного плану 2-го порядку. В результаті отримані рівняння регресії для кожної функції, за допомогою яких знайдено раціональні діапазони технологічних параметрів робочих процесів.

Ключові слова: універсальний безпоршневий шланговий бетононасос, рівняння регресії, тиск нагнітання бетонної суміші, продуктивність бетононасоса, раціональні режими роботи.

Вступ. Серед відомих конструкцій бетононасосів для сучасного будівництва [1-4] при виконанні торкрет-робіт мокрим способом та транспортування будівельних

сумішей в умовах будівельного майданчика заслуговує уваги нова конструкція універсального безпоршневого шлангового бетононасоса [5]. Шлангові бетононасоси широко використовуються при зведенні