

ПЛАНУВАННЯ ЕКСПЕРИМЕНТУ З ДОСЛІДЖЕННЯ ЧИННИКІВ, ЩО ВПЛИВАЮТЬ НА ТЕРМІЧНИЙ ОПІР ОГОРОДЖУВАЛЬНИХ КОНСТРУКЦІЙ ПРИ ЇХ ТЕРМОМОДЕРНІЗАЦІЇ

Вінницький національний технічний університет

На сьогодні, за відсутності достатньої кількості палива, зменшення енергетичного споживання у житловому секторі важливе для України. Це не тільки дозволить економити ресурси, що витрачаються на опалення житлових будинків, а й дозволить знизити шкідливий вплив на навколишнє середовище. Сучасний шлях України в напрямку енергозбереження підвищує вимоги до теплозахисних конструкцій, підвищивши значення термічного опору. Тому необхідно їх вдосконалювати. Важливо звернути увагу на вузли примикання огороджувальних конструкцій будівлі, так як там виникають так звані "містки холоду". Дослідження показали, що крізь такі місця втрачається до 30% енергії на опалювання. Поява "містків холоду" в першу чергу обумовлена матеріалами, що використовуються, і особливостями конструкції. Сучасними нормативними документами не передбачено дієвих технічних рішень щодо зменшення тепловтрат через термічні неоднорідності зовнішніх огороджувальних конструкцій будівель. В зв'язку із цим необхідно розробляти конструктивні рішення теплоізоляційних систем вузлів примикання, що зменшить ймовірність виникнення "містків холоду" та в свою чергу підвищить енергоощадність будівлі. Характеристики теплоізолюючого матеріалу відіграють важливу роль у підвищенні термічного опору конструкції. Сьогодні існує різноманітна кількість теплоізолюючих матеріалів, які різняться між собою як властивостями, так і вартістю. Зважаючи на це необхідно підібрати найбільш оптимальні параметри теплоізолюючої конструкції для вузлів примикання, які задовольняли б нормативні вимоги. Для цього проведено дослідження впливу параметрів теплоізоляції на термічний опір конструкції на основі двофакторного експерименту. Із параметрів, що мають найбільший вплив на термічний опір, обрано товщину теплоізоляційного матеріалу та його щільність.

Ключові слова: двофакторний експеримент, термічний опір, вузли примикання.

Вступ

Вдосконалення конструктивних рішень вузлів примикання будівельних конструкцій відбувається у напрямку збільшення їх енергоефективності, що супроводжується зменшенням тепловтрат крізь елемент [1]. Крім того, ставляться завдання досягнення високої надійності і довговічності конструкції, скорочення витрати дефіцитних теплоізолюючих матеріалів. У зв'язку із цим виникає необхідність дослідження теплоізолюючої системи будівлі. Найбільш актуальним на сьогодні є дослідження "містків холоду", тобто елементів конструкції, через які теплопередача здійснюється значно інтенсивніше у порівнянні з іншими елементами. Метою роботи є обґрунтування, за результатами двофакторного експерименту дослідження чинників, що впливають на термічний опір зовнішніх огороджувальних конструкцій при термомодернізації, вибору найбільш оптимальних параметрів теплоізоляційної системи. [2].

Результати дослідження

Проаналізувавши попередні експериментальні дослідження обрано найбільш вагомі фактори, що впливають на термічний опір теплоізоляційної конструкції:

- товщина теплоізоляційного шару;
- густина утеплювача.

Термічний опір є функцією цих 2-х основних факторів:

$$R = f(\delta, \rho)$$

Дослідження впливу цих факторів на термічний опір при проведенні однофакторних експериментів складний та об'ємистий. Тому доцільніше провести двофакторний експеримент для отримання рівняння регресії для функцій відгуку – термічний опір теплоізоляційної конструкції за допомогою двофакторного експерименту. [3]

Оберемо наступні межі варіювання факторів.

Товщина теплоізоляційного шару (фактор X_1) $\delta=5...25$ мм; густина теплоізолюючого матеріалу (фактор X_2) $\rho=15...115$ кг/м³.

Всі фактори, які входять до функції мають різну розмірність, і їх значення мають різні порядки. Тому потрібно провести операцію кодування факторів, що являє собою лінійне перетворення факторного простору [4] за формулою:

$$X_j = (X_j - X_{j0}) / I_j \quad (1)$$

X_{j0} – основний рівень фактора

X_{jmax}, X_{jmin} – верхній та нижній рівні фактора

$\alpha X_{jmax}, \alpha X_{jmin}$ – максимальний та мінімальний рівні фактора

I_j – інтервал варіювання.

Встановлено такі рівні факторів: мінімальний -1, середній 0, максимальний +1 та зіркові значення -1,414, +1,414, що наведено в табл. 1.

Таблиця 1

Дані обраних технічних режимів

Фактори	Рівні варіювання факторів					Інтервал варіювання
	-1,414	-1	0	+1	+1,414	
X_1 – товщина теплоізоляційного шару, м	0,05	0,1	0,15	0,2	0,25	0,05
X_2 – густина утеплювача, кг/м ³	115	90	65	40	15	25

Для опису впливу параметрів утеплювача запишемо неповне квадратичне рівняння:

$$y = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_{12}x_1x_2, \quad (2)$$

Для проведення двофакторного експерименту за допомогою програмного забезпечення Matmod50 було складено матрицю планування експерименту, яку наведено в табл. 2.

Таблиця 2

Матриця планування експерименту

№ дослідю	X_0	X_1	X_2	X_1X_2	X_1^2	X_2^2	Y
1	+1	+1	+1	+1	+1	+1	3.63
2	+1	-1	+1	-1	+1	+1	3.46
3	+1	+1	-1	-1	+1	+1	3.31
4	+1	-1	-1	+1	+1	+1	3.26
5	+1	-1,414	0	0	+2	0	3.28
6	+1	+1,414	0	0	+2	0	3.43
7	+1	0	-1,414	0	0	+2	3.31
8	+1	0	+1,414	0	0	+2	3.65
9	+1	0	0	0	0	0	3.32
10	+1	0	0	0	0	0	3.29
11	+1	0	0	0	0	0	3.31
12	+1	0	0	0	0	0	3.30
13	+1	0	0	0	0	0	3.31
b_i	3.306	0.054	0.125	0.029	0.023	0.086	
b_{ei}	4.024	-0,142	-19.233	-23.999	9.275	137.152	
t	646.407	13.355	30.931	5.245	5.345	19.761	[t]=2,776

Адекватність регресійних моделей перевірялася за критерієм Фішера [4]:

$$F = \frac{S_{ad}^2}{S_{відт}^2} \leq [F(f_1, f_2)], \quad (4)$$

де S_{ad} – дисперсія адекватності;

$S_{відт}$ – дисперсія відтворюваності.

$[F(f_1, f_2)]$ – критичне значення критерію Фішера, яке рівне значенню розподілу Фішера;

$f_1 = N - d$ – кількість ступенів вільності дисперсії адекватності;

$f_2 = n - 1$ – кількість ступенів вільності дисперсії відтворюваності;

d – кількість значимих коефіцієнтів регресії;

n – кількість попередніх повторних дослідів, які проведено для середнього (нульового) рівня факторів.

Дисперсія відтворюваності визначалася за формулою [4]:

$$S_{відт}^2 = \frac{1}{f_2} \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2, \quad (5)$$

де y_i – результат i -го повторного дослідів;

\bar{y} – середнє арифметичне значення результатів n повторних дослідів.

Дисперсія адекватності визначалася за формулою [4]:

$$S_{ad}^2 = \frac{1}{f_1} \sum_{i=1}^N (y_i - \tilde{y}_i)^2, \quad (6)$$

де y_i – результат i -го дослідів, проведеною за матрицею планування;

\tilde{y}_i – результат i -го значення дослідів, передбаченого за допомогою регресійної моделі (3).

Значимість коефіцієнтів регресії проводилася за t -критерієм Стюдента [4]:

$$t_i = \frac{b_i}{S_{відт} \sqrt{c_{i,i}}} > [t(f_2)], \quad (7)$$

де $[t(f_2)]$ – критичне значення t -критерію Стюдента, яке рівне значенню розподілу Стюдента;

$c_{i,i}$ – відповідний елемент матриці Φ^{-1} .

Запишемо рівняння регресії для кодованих значень з урахуванням знайдених коефіцієнтів:

$$y = 3,306 + 0,054_1 x_1 + 0,125 x_2 + 0,029_{12} x_1 x_2 + 0,023 x_1^2 + 0,086 x_2^2$$

З отриманого рівняння видно, що більш впливовим на функцію відгуку є показник x_2 (густина утеплюючого матеріалу).

При цьому $F=1,876 < [F]=3,652$, отже регресійна модель адекватна. Коефіцієнт кореляції $R^2=0,996$.

Для дійсних значень факторів рівняння регресії для функції відгуку R має вигляд:

$$R = 4,02 - 0,14\delta - 19,23\rho - 23,99\delta\rho + 9,27\delta^2 + 137,15\rho^2 \quad (8)$$

Отримане рівняння регресії дозволяє провести параметричну оптимізацію термічного опору. На рис. 1 приведено поверхню відгуку критеріїв оптимізації та їх двомірний переріз залежності значень величин термічного опору R від окремих параметрів.

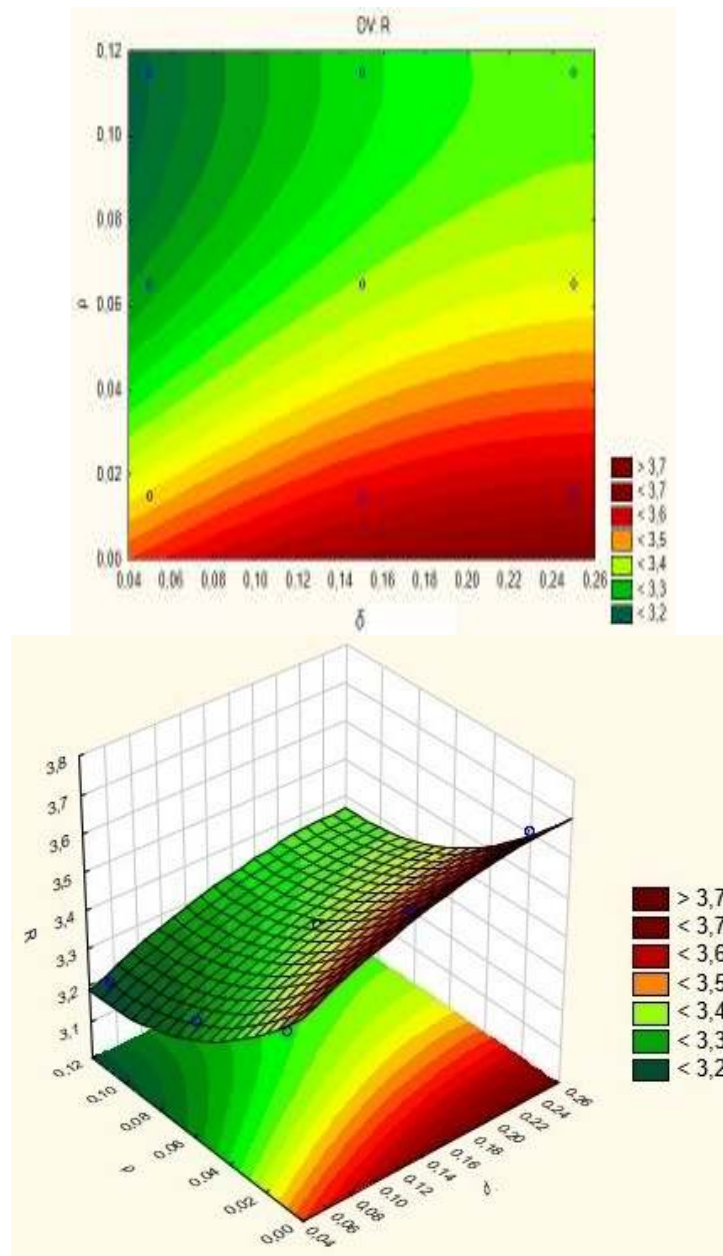


Рисунок 1 – Поверхня відгуку та її двовірний переріз залежності значень величини термічного опору в площинах параметрів оптимізації

Поверхня відгуку дозволяє наочно проілюструвати залежність значення величин термічного опору від параметрів: товщини теплоізоляційного шару та густини теплоізоляційного матеріалу. Червоним кольором виділена площина в якій вказано значення товщини теплоізоляційного шару та густини матеріалу, що призводять до збільшення термічного опору. Аналогічно у спадному порядку позначені жовта та зелена площини. Отже, при збільшенні товщини теплоізоляційного шару та зменшенні густини теплоізолюючого матеріалу термічний опір підвищується. Можна зробити висновок, що в даному випадку найбільш оптимальним буде теплоізолююча конструкція із густиною утеплювача 15 кг/м^3 та товщиною $0,16 \text{ м}$.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Ратушняк Г.С. Підвищення енергоощадності багатопверхових будинків шляхом вдосконалення вузлів примикання огорожувальних конструкцій/Г. С. Ратушняк, А. М. Очеретний, О. Ю. Материнська// Сучасні технології, матеріали і конструкції в будівництві.– 2017.–№2. с. 8.
2. Ратушняк Г. С. Аналіз впливу проектних факторів на вибір теплоізоляційного матеріалу вузлів примикання з використанням лінгвістичних змін / Г. С. Ратушняк, А. М. Очеретний, О. Ю. Материнська// Сучасні технології, матеріали і конструкції в будівництві, 2018.- Том 24, №1. - С. 122-129.

3. Петрук В.Г., Володарський Є.Т., Мокін В.Б. Основи науково-дослідної роботи. Навчальний посібник /Під ред. д.т.н., проф. Петрука В. Г.– Вінниця: ВНТУ, 2005. – 143 с.
4. Спиридонов А.А. Планирование эксперимента при исследовании технологических процессов. – Москва 1981р. – ст.87-90
5. Технологія конструкційних матеріалів: Підручник / М. А. Сологуб, І. О. Рожнецький, О. І. Некоз та ін.; За ред. М. А. Сологуба. — 2-ге вид., перероб. і допов. — К.: Вища школа, 2002. — 374 с

REFERENCES

1. Ratushnyak G.S. Pidvischennya energooschadnosti bagatopoverhivih budinkiv shlyahom vdoskonalennya vuzliv primikannya ogorodzhuvanih konstruktsiy/G. S. Ratushnyak, A. M. Ocheretny, O. Yu. Materinska// Suchasni tehnologiyi, materlali i konstruktsiyi v budivnitstvi.– 2017.–№2. s. 8.
2. Ratushnyak G. S. Anallz vplivu proektnih faktoriv na vibir teploizolyatsynogo materialu vuzliv primikannya z vikoristanniam llyngvstichnih zmlnih / G. S. Ratushnyak, A. M. Ocheretny, O. Yu. Materinska// Suchasni tehnologiyi, materlali i konstruktsiyi v budivnitstvi, 2018.- Tom 24, №1. - S. 122-129.
3. Petruk V.G., Volodarskiy E.T., MokIn V.B. Osнови naukovo-doslIdnoYi roboti. Navchalniy poslbnik /Pid red. d.t.n., prof. Petruka V. G.– VInni-tsy: VNTU, 2005. – 143 s.
4. Spiridonov A.A. Planirovanie ksperementa pri issledovanii tehnologicheskikh protsesov. - Moskva 1981r. – st.87-90.
5. Tehnologiya konstruktsylnih materialiv: Pidruchnik / M. A. Sologub, I. O. Rozhnetskiy, O. I. Nekoz ta In.; Za red. M. A. Sologuba. — 2-ge vid., pererob. I dopov. — K.: Vischa shkola, 2002. — 374c.

Георгій Сергійович Ратушняк, кандидат технічних наук, професор. Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, e-mail: ratusnak@gmail.com, ORCID 0000-0001-9656-5150.

Оксана Юрївна Горюн — аспірант, факультет будівництва теплоенергетики та газопостачання. Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: oksana718@ukr.net, ORCID 0000-0002-3624-2293.

**G. Ratushnyak
O. Horiun**

PLANNING EXPERIMENT FOR INVESTIGATION OF FACTORS AFFECTING THERMAL PROCESSING HEATING CONSTRUCTIONS AT THEIR THERMOMODERNIZATION

Vinnitsa National Technical University

Today, in the absence of sufficient quantities of fuel, the reduction of energy consumption in the residential sector is important for Ukraine. This will not only save the resources spent on heating residential buildings, but will also reduce the harmful impact on the environment. The modern way of Ukraine in the direction of energy saving increases the requirements for heat-protective structures, increasing the value of thermal resistance. Therefore, it is necessary to improve them. It is important to pay attention to the sites of adjoining fencing structures of the building, as there are so-called "bridges of cold". Studies have shown that up to 30% of heating energy is lost through such sites. The appearance of "bridges of cold" is primarily due to the materials used and the design features. Modern normative documents do not provide effective technical solutions for reducing heat losses due to thermal heterogeneity of external enclosing structures of buildings. In connection with this, it is necessary to develop design solutions of thermal insulation systems of the adjacent nodes, which will reduce the probability of the occurrence of "bridges of cold" and in turn will increase the energy efficiency of the building. The characteristics of the heat-insulating material play an important role in increasing the thermal resistance of the structure. Today, there are a variety of heat-insulating materials that differ in their properties and cost. In view of this, it is necessary to select the most optimal parameters of the thermal insulating structure for the adjacent units, which would meet the regulatory requirements. For this purpose, the influence of the thermal insulation parameters on the thermal resistance of the construction on the basis of the two-factor experiment was carried out. From the parameters that have the greatest influence on the thermal resistance, the thickness of the heat-insulating material and its density are chosen.

Key words: two-factor experiment, thermal resistance, adjacent nodes.

Ratushniak Georgiy – Candidate of Technical Sciences, Professor, Head of the Chair of Power Engineering and Gas Supply, Vinnitsia National Technical University, e-mail: ratusnak@gmail.com.

Horiun Oksana – Department of Building Heating and Gas Supply, Vinnitsia National Technical University, e-mail: oksana718@ukr.net.

**Г. С. Ратушняк
О. Ю. Горюн**

ПЛАНИРОВАНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТА ПО ИССЛЕДОВАНИЮ ФАКТОРОВ, ВЛИЯЮЩИХ НА ТЕРМИЧЕСКОЕ СОПРОТИВЛЕНИЕ ОГРАЖДАЮЩИХ КОНСТРУКЦИЙ ПРИ ИХ ТЕРМОМОДЕРНИЗАЦИИ

Винницкий национальный технический университет

На сегодня, при отсутствии достаточного количества топлива, уменьшение энергетического потребления в жилом секторе важно для Украины. Это не только позволит экономить ресурсы, затрачиваемые на отопление жилых домов, но и позволит снизить вредное воздействие на окружающую среду. Важно обратить внимание на узлы примыкания ограждающих конструкций здания, так как там возникают так называемые «мостики холода». Исследования показали, что через такие места теряется до 30% энергии на отопление. Появление "мостиков холода" в первую очередь обусловлена материалами и особенностями конструкции. Современными нормативными документами не предусмотрено действенных технических решений по уменьшению теплопотерь через термические неоднородности наружных ограждающих конструкций зданий. В связи с этим необходимо разрабатывать конструктивные решения теплоизоляционных систем узлов примыкания, что уменьшит вероятность возникновения «мостиков холода» и в свою очередь повысит энергоэффективность здания. Характеристики теплоизолирующего материала играют важную роль в повышении термического сопротивления конструкции. Сегодня существует разнообразное количество теплоизолирующих материалов, которые различаются между собой как свойствами, так и стоимостью. Несмотря на это необходимо подобрать наиболее оптимальные параметры теплоизолирующей конструкции для узлов примыкания, которые удовлетворяли бы нормативные требования. Для этого проведено исследование влияния параметров теплоизоляции на термическое сопротивление конструкции на основе двухфакторного эксперимента.

Ключевые слова: двухфакторный эксперимент, термическое сопротивление, узлы примыкания.

Ратушняк Георгий Сергеевич – кандидат технических наук, профессор. Винницкий национальный технический университет, e-mail: ratusnak@gmail.com, ORCID 0000-0001-9656-5150.

Горюн Оксана Юрьевна – аспирант, факультет строительства теплоэнергетики и газоснабжения. Винницкий национальный технический университет, e-mail: oksana718@ukr.net, ORCID 0000-0002-3624-2293.