

УДК 536.2.08:691.175.664

Бурова З.А.<sup>1</sup>, Воробйов Л.Й.<sup>1</sup>, Декуша Л.В.<sup>1</sup>, Мазуренко О.Г.<sup>2</sup>, Довганюк В.М.<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Інститут технічної теплофізики НАН України, м.Київ

<sup>2</sup> Національний університет харчових технологій, м.Київ

<sup>3</sup> ПП «Укртеплогідроізоляція», м. Луцьк

## ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕПЛОПРОВІДНОСТІ ПІНОПОЛІУРЕТАНУ

Викладено результати досліджень на установці ИТ-7С теплопровідності зразків пінополіуретану «ELASTOPOR H» виробництва фірми ELASTOGRAN GmbH (BASF) у сухому стані, зволжених та зістарених вакуумуванням.

Изложены результаты исследований на установке ИТ-7С теплопроводности образцов пенополиуретана «ELASTOPOR H» производства фирмы ELASTOGRAN GmbH (BASF) в сухом состоянии, увлажненных и состаренных вакуумированием.

The researches results on the device ИТ-7С of thermal conductivity of foamed polyurethane «ELASTOPOR H» productioned by ELASTOGRAN GMBH (BASF) in the dry state, waterwet and old-made by vacuumizing are expounded.

$h$  – товщина зразка, м;

$E$  – електричний сигнал ПТП, мВ;

$K$  – коефіцієнт перетворення, Вт/(м<sup>2</sup>·мВ);

$T$  – температура, К;

$q$  – густина теплового потоку, Вт/м<sup>2</sup>;

$\lambda$  – коефіцієнт теплопровідності, Вт/(м·К).

### Індекси нижні:

$v$  – верхній;

$n$  – нижній.

### Скорочення:

ОК – огорожуюча конструкція;

ППУ – пінополіуретан;

ПТП – перетворювач теплового потоку.

Дефіцит традиційних енергоресурсів та їх швидке подорожчання вимагають зменшення енерговитрат та підвищення енергоефективності всього народного господарства України. Значний потенціал енергозаощадження мають житлові, громадські та промислові будівлі, на опалення яких використовується майже половина всього органічного палива, споживаного в Україні.

Для зменшення тепловтрат крізь огорожувальні конструкції (ОК) в Україні введено нові норми теплової ізоляції будівель [1], згідно з якими нормативний опір теплопередаванню ОК споруд підвищено у 2-3 рази порівняно з нормами, чинними раніше. Для досягнення необхідного значення опору теплопередаванню ОК нових або термомодернізованих споруд використовують різноманітні теплоізоляційні матеріали – мінеральну вату, піноскло, пінополістирол, пінополіуретан та інші. Технологія виготовлення теплоізоляційних матеріалів та їх нанесення на ОК постійно

вдосконалюється, на ринку будівельних матеріалів України з'являються нові виробники та постачальники з різноманітними модифікаціями нових матеріалів. Серед постачальників, на жаль, зустрічаються фірми, які необгрунтовано декларують високу якість свого продукту, в тому числі і з точки зору теплозахисних властивостей. Тому необхідно проводити різнобічні випробування матеріалів на етапі їх впровадження та моніторинг якості впродовж їх застосування.

Пінополіуретани (ППУ) протягом останніх десятиріч зарекомендували себе як ефективні теплоізолятори та широко застосовуються у розвинутих країнах Західної Європи та Америки. Вони застосовуються для ізоляції побутових та промислових холодильних камер, у аерокосмічній та суднобудівній промисловості. Пінополіуретани – цінні і широко застосовувані промислові полімери, їх отримують з поліуретанів методом вспінювання при реакції двох рідких компонентів – ізоціанату

та поліолу, зазвичай у присутності каталізаторів, емульгаторів та інших домішок, в результаті чого утворюються мікрокапсули, заповнені газом-наповнювачем. Пінополіуретани характеризуються добрими теплоізоляційними властивостями, широким інтервалом робочих температур, високою питомою міцністю, малою водо- і паропроникністю, стійкістю до корозії, дії атмосферних факторів, хімічних середовищ, радіації.

В Україні декілька фірм проводять будівельні роботи з використанням пінополіуретану різних виробників, зокрема в ПП «Укр-теплогідроізоляція» [2] застосовують новітні технологічні розробки, які дозволяють змішувати вихідні хімічні компоненти, вироблені фірмою ELASTOGRAN GmbH (BASF) [3], та наносити їх розпиленням на різноманітні поверхні безпосередньо на будівельному майданчику. Нанесення пінополіуретану на будівельну конструкцію, проводять або кріплячи готовий жорсткий блочний (листовий) матеріал, або методом розпилення, наносячи послідовно декілька шарів. При нанесенні розпиленням утворюється шаруватий матеріал, причому на поверхні кожного шару утворюється прошарок підвищеної щільності, який перешкоджає виходу газів з мікропор матеріалу і проникненню у них повітря (дифузії).

Як для теплоізоляційного матеріалу найбільш цікавою характеристикою ППУ є його коефіцієнт теплопровідності, який залежить від питомої густини, складу вихідних компонентів, технології отримання та умов і тривалості експлуатації. За інформацією фірм-

виробників та постачальників, наведеною в рекламних проспектах та на сайтах [5-11], коефіцієнт теплопровідності ППУ складає від 0,018 до 0,035 Вт/(м·К). Значення коефіцієнту теплопровідності, наведене на сайті [6], для пінополіуретану, спіненого фреоном, складає 0,018 Вт/(м·К) і за 30 років експлуатації збільшується до 0,025 Вт/(м·К), причому його теплопровідність наближається до значення для пінополіуретану, спіненого CO<sub>2</sub>. А на сайті [7] наведено значення теплопровідності 0,019...0,025 Вт/(м·К).

У порівнянні з іншими традиційними будівельними теплоізоляторами ППУ має значно кращі показники, деякі характеристики яких приведені у табл. 1.

В ІТТФ НАН України проведені дослідження коефіцієнту теплопровідності ППУ «ELASTOPOR H», виробленого з компонентів фірми ELASTOGRAN GmbH (BASF). Дослідження проведені як на зразках матеріалу, спеціально виготовлених для цих випробувань, так і на зразках, що були вилучені з покрівель будинків, де вони експлуатувались кілька років. Метою цих досліджень було встановлення розрахункового значення коефіцієнту теплопровідності даного виду ППУ, яке може використовуватися при розрахунках теплової ізоляції будівель при тривалій експлуатації.

Вимірювання коефіцієнтів теплопровідності зразків пінополіуретану здійснено методом пластини на установці ИТ-7С [12, 13], що оснащена перетворювачами теплового потоку та призначена для вимірювання коефіцієнтів

Табл. 1. Властивості будівельних теплоізоляторів [5]

Теплоізолятор	Густина, кг/м <sup>3</sup>	Коефіцієнт теплопровідності, Вт/(м·К)	Пористість	Термін експл., років	Діапазон робочих температур, °С
Жорсткий пінополіуретан	40...160	0,025...0,03	Закрита	30	-200... +150
Мінеральна вата	55...150	0,052...0,058	Відкрита	5	-40...+120
Пробкова плита	220...240	0,050...0,060	Закрита	3	-30...+90
Пінобетон	250...400	0,145...0,160	Відкрита	10	-30...+120

ефективної теплопровідності та термічного опору будівельних і теплоізоляційних матеріалів згідно стандартам [14, 15].

*Основні технічні характеристики установки ИТ-7С:*

- діапазон значень вимірюваних коефіцієнтів теплопровідності від 0,02 до 3,0 Вт/(м·К);
- границі допустимої основної відносної похибки вимірювання коефіцієнта теплопровідності  $\pm 3\%$ ;
- діапазон значень середньої температури зразка від мінус 40 до + 180 °С.

Метод дослідження полягає в створенні стаціонарної різниці температур між двома поверхнями зразка матеріалу (пластини); вимірюванні цієї різниці температур, густини теплового потоку крізь зразок та товщини цього зразка; обчисленні коефіцієнта теплопровідності зразка за результатами вимірювань. Застосування цього методу для будівельних матеріалів нормовано [14, 15].

Коефіцієнт теплопровідності зразка  $\lambda$  визначають за розрахунковою формулою:

$$\lambda = h / \left( \frac{2\Delta T}{q_B + q_H} \right), \quad (1)$$

$$\text{де } q_B = K_B(T_B) \cdot E_{\text{ПТП}_B}; \quad q_H = K_H(T_H) \cdot E_{\text{ПТП}_H}. \quad (2)$$

Густину дослідних зразків обчислено на підставі визначення маси за допомогою ваг „AXIS” AD500 та вимірювання їх розмірів цифровим штангенциркулем та металевою лінійкою.

Дослідження проведено на шаруватих зразках ППУ, які попередньо були механічно оброблені для надання поверхням плоскопаралельної форми, при цьому було знято поверхневі щільні прошарки, які перешкоджають дифузії газів. Зразки виконано у формі дисків діаметром  $(300 \pm 25)$  мм, товщиною  $(50 \pm 5)$  мм.

Кількість випробуваних зразків:

- для дослідження у сухому стані: п'ять зразків пінополіуретану густиною 41,5...47 кг/м<sup>3</sup>, витриманих у нормальних лабораторних умовах протягом 6÷8 місяців, один зразок густиною 57,7 кг/м<sup>3</sup>, демонтований з покрівлі після 8

років експлуатації, а також один зразок густиною 40,5 кг/м<sup>3</sup> після одного року експлуатації (разом – сім зразків пінополіуретану). Результати наведено на рис. 1.

- для дослідження зволжених зразків: три зразки пінополіуретану. Підготування зразків до вимірювань полягало у їх зволоженні до досягнення стану рівноважної вологості в умовах експлуатації. Експериментуючи з різними методиками вдалося досягти вологості зразків, близької до гранично досяжної при короткотривалому зволоженні, що не перевищує 2,0 %. Результати наведено на рис. 2.

- для дослідження вакуумованих зразків: два зразки пінополіуретану, підданих прискореному штучному старінню вакуумуванням, що проводилось шляхом циклічного вакуумування у вакуумній шафі. Зразки витримувались протягом 8÷9 годин під тиском 0,05 атм, а решту часу до кінця циклу тривалістю 24 години – при атмосферному тиску. Разом виконано десять повних циклів. Результати наведено на рис. 3.

Вимірювання коефіцієнта теплопровідності проводились в діапазоні середніх температур від мінус 20 до +35 °С. Для деяких зразків в сухому стані (№ 3, № 5 та № 6) виконано вимірювання коефіцієнта теплопровідності за середньої температури +60°С. Усі вимірювання, виконані за температури + 20 °С та нижче, відбувались при розміщенні теплового блоку установки ИТ-7С в морозильній камері.

**Висновки**

1. За результатами вимірювань коефіцієнта теплопровідності зразків ППУ у сухому стані, зволжених та штучно зістарених вакуумуванням, визначено коефіцієнт теплопровідності пінополіуретану «ELASTOPOR Н», значення якого не перевищує 0,030 Вт/(м·К) при температурі 25 °С. Це значно менше значення 0,040 Вт/(м·К), наведеного в [1] для виробів з жорсткого пінополіуретану з позірною густиною 40 кг/м<sup>3</sup>.

2. Пінополіуретан «ELASTOPOR Н» є перспективним будівельним матеріалом, який

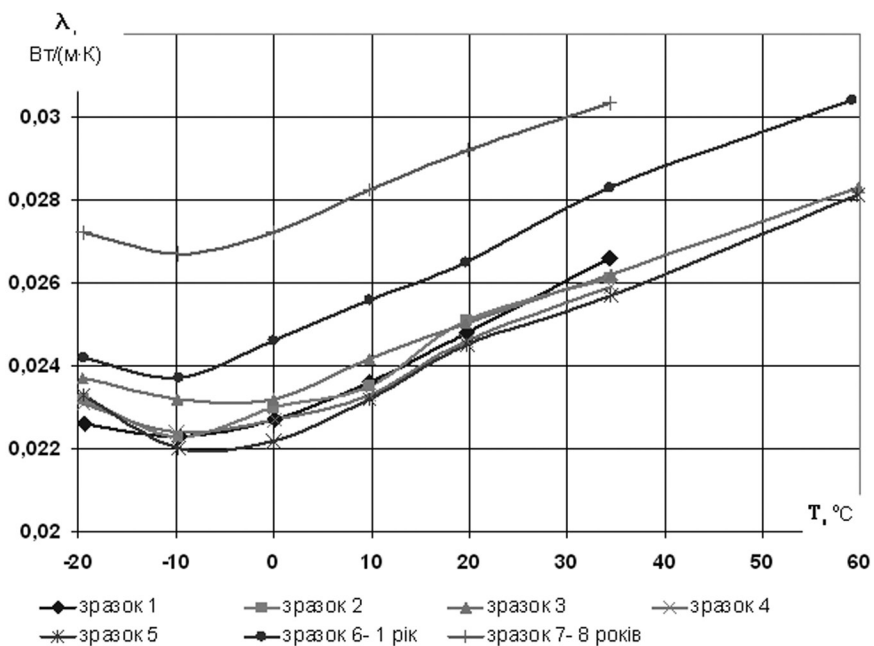
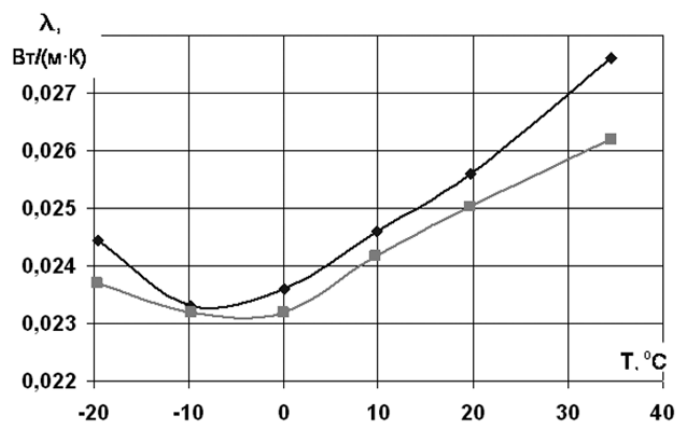
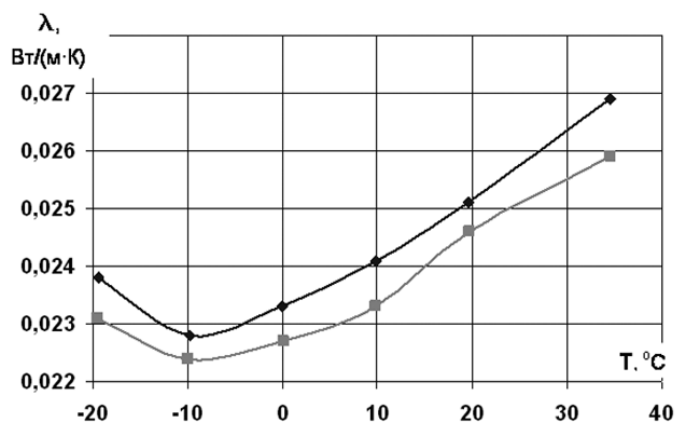


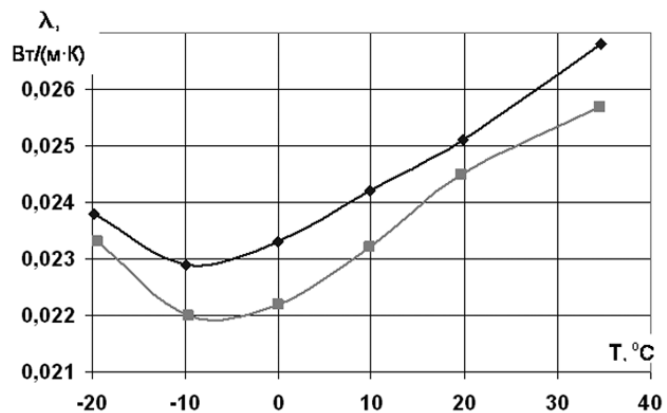
Рис. 1. Графіки залежності коефіцієнта теплопровідності зразків пінополіуретану від температури.



а)



б)

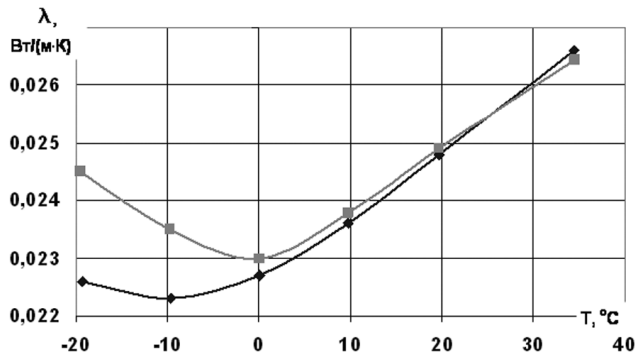


в)

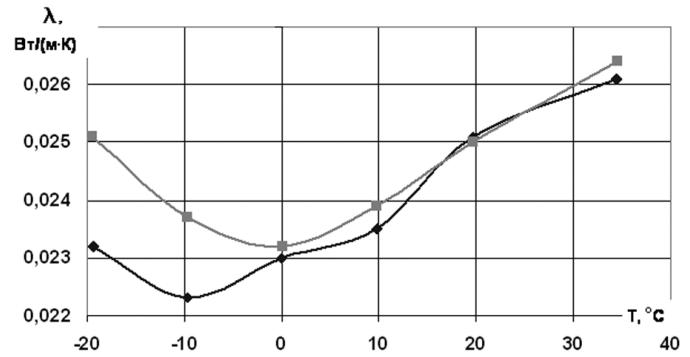
Рис. 2. Графіки залежності коефіцієнта теплопровідності зразків пінополіуретану від температури в сухому та зволоженому станах:

а) – зразок 3, б) – зразок 4, в) – зразок 5;

■ – до зволоження; • – після зволоження.



а)



б)

Рис. 3. Графіки залежності коефіцієнта теплопровідності від температури зразків пінополіуретану № 1 (а) і № 2 (б) до і після вакуумування:  
• – до вакуумування; ■ – після вакуумування.

має високі теплоізоляційні властивості, що підтверджено результатами випробувань. Отримані значення коефіцієнтів теплопровідності пінополіуретану та загальний вигляд температурної залежності цього параметру відповідають даним, що наводить фірма-виробник.

3. На даний час будівельні теплоізолятори та вироби з ППУ набувають широкого впровадження у народному господарстві України. Оскільки дані про теплопровідність пінополіуретану з різних джерел суттєво відрізняються, для отримання коректного значення слід експериментально визначити коефіцієнт теплопровідності зразків ППУ конкретного виробника. Отримані значення надалі застосовують для визначення розрахункових значень коефіцієнтів теплопровідності, що необхідні для теплотехнічних розрахунків будівель та споруд.

#### ЛІТЕРАТУРА

1. ДБН В.2.6-31:2006 Конструкції будинків і споруд. Теплова ізоляція будівель. – Мінбуд України, 2006.
2. <http://www.utgi.com.ua>
3. <http://www.basf.ru>
4. Патент України № 31274 від 25.03.2008 (бюл. №6, 2008р.).
5. <http://www.ooo-vladimir.com.ua/material.php>

6. <http://www.monolit-ripor.ru>
7. <http://www.poliuretan.ru>
8. <http://www.termofasad.com/polyuretan.html>
9. <http://www.linksgroup.dp.ua/ukr.htm>
10. <http://plastmassa.net/penopolyurethane/behaviour/>
11. <http://www.zabudova.in.ua/building-20.html>
12. Бурова З., Воробйов Л., Декуша Л., Декуша О. Установка для вимірювання коефіцієнта теплопровідності будівельних матеріалів ИТ-7С // Метрологія та прилади. – Харків, 2009. – № 6 – С. 9-15.
13. Бурова З.А., Воробйов Л.И., Декуша Л.В. и др. Повышение точности измерения теплопроводности строительных и теплоизоляционных материалов // Пром.теплотехника. – К., 2010. – Т. 32, № 1 – С. 113-121.
14. ДСТУ Б В.2.7-105-2000 (ГОСТ 7076-99) Матеріали та вироби будівельні. Метод визначення теплопровідності і термічного опору при стаціонарному тепловому режимі.
15. ISO 8301:1991 Thermal insulation – Determination of steady-state thermal resistance and related properties – Heat flow meter apparatus (Теплоізоляція. Визначення теплового опору та пов'язаних із ним характеристик. Прилад із перетворювачем теплового потоку).

Получено 06.10.2011 г.