

## **ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ТЕМПЕРАТУРИ В ПОВІТРЯНОМУ ПРОШАРКУ НА ШВИДКІСТЬ ЗМЕНШЕННЯ ВОЛОГОСТІ УТЕПЛЮВАЧА**

*Наведено результати експериментальних досліджень впливу температури повітря у вентилярованому повітряному прошаркові на швидкість зменшення вологості утеплювача. Виконано порівняння результатів експериментального дослідження з теоретичними розрахунками за існуючою методикою та з урахуванням запропонованих уточнень.*

**Ключові слова:** вологість утеплювача, коефіцієнт вологопровідності, швидкість осушення.

**Постановка проблеми в загальному вигляді та її зв'язок із важливими науковими та практичними завданнями.** У наш час проблема енергозбереження для України набуває першочергового значення. Підвищення теплозахисних властивостей огорожувальних конструкцій - один з основних напрямів енергозбереження в будівництві. Ця проблема особливо актуальна для огорожувальних конструкцій будівель холодильників, крізь які протягом року проходять теплові потоки та потоки пароподібної вологи значної величини.

Теплозахисні властивості огорожувальних конструкцій залежать від вологісного стану утеплювача в них. Огорожувальні конструкції будівель холодильників з точки зору вологісного стану знаходяться у складних умовах експлуатації. Це пов'язане з тим, що напрямок руху пароподібної вологи крізь огороження протягом року відбувається в одному напрямі, в холодильну камеру. З усіх огорожувальних конструкцій будівель холодильників у найбільш складних умовах перебуває конструкція покриття. Зумовлено це тим, що найпоширенішою в наш час несучою конструкцією в покритті є залізобетонна ребриста плита, яка чинить великий опір паропроникненню. Плита значно сповільнює вихід пароподібної вологи в холодильну камеру та сприяє її накопиченню в утеплювачі. З підвищенням вологості зменшуються теплозахисні властивості огороження, що у свою чергу призводить до додаткового навантаження на холодильне обладнання. При цьому зменшується відносна вологість повітря в холодильній камері, що спричиняє усушку продукції, яка зберігається, погіршенню її якості, зниженню сортності та втратам продукції. Тому поліпшення вологісного стану конструкції покриття є доволі актуальною проблемою. Розв'язати її можна при застосуванні в конструкції покриття вентиляваних повітряних прошарків,

що вентилюються повітрям з холодильної камери. При проходженні по прошарку воно нагрівається. Виявити, який вплив здійснює величина температури повітря в прошарку на вологісний стан утеплювача, і було метою цієї роботи.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій, у яких започатковано розв'язання цієї проблеми й на які спирається автор, виділення не розв'язаних раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується означена стаття.** Питаннями застосування вентиляованих повітряних прошарків в огорожувальних конструкціях будівель для зменшення вологості утеплювача та підвищення теплозахисних якостей займалися багато відомих дослідників, таких як К.Ф. Фокін, В.Н. Богословський, Г.Г. Фаренюк й інші. Проблемами застосування таких огорожувальних конструкцій для будівель холодильників займалися В.І. Пирог, Ю.В. Мальгін та інші. На сучасному етапі ці дослідження набули подальшого розвитку в роботах [1 – 5].

Автори, що займалися питаннями застосування вентиляованих повітряних прошарків в огорожувальних конструкціях будівель холодильників, не розглядали питання впливу величини температури повітря в прошарку на швидкість осушення утеплювача при від'ємних температурах в утеплювачі.

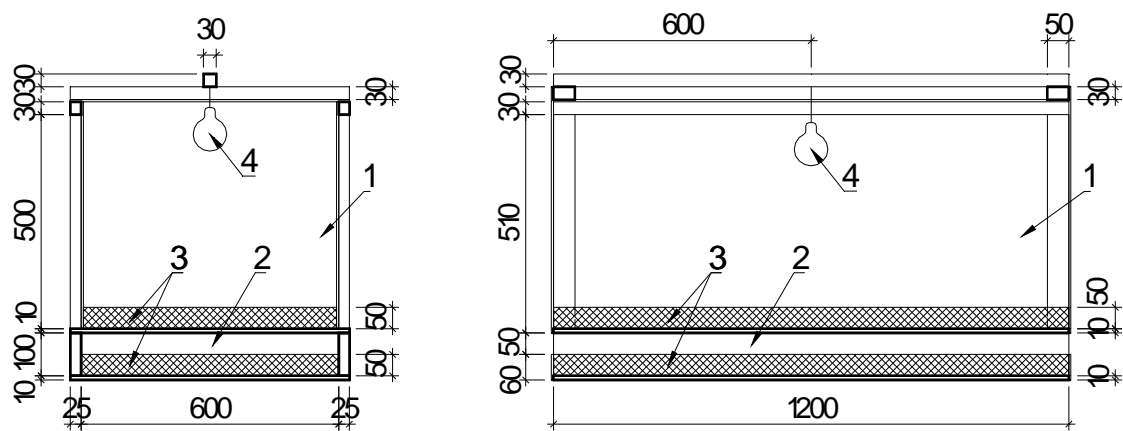
**Формулювання цілей статті (постановка завдання).** Мета дослідження – виявити, який вплив здійснює температура повітря у вентиляованому повітряному прошаркові на швидкість зменшення вологості утеплювача; порівняти результати експериментального дослідження з теоретичними розрахунками, виконаними за існуючою методикою та з урахуванням застосування рівняння для визначення коефіцієнта вологопровідності при від'ємних температурах запропонованого автором у роботі [6]. При розв'язанні проблеми використовувалися стандартні методи будівельної фізики, метод послідовного зволоження для вирішення задач вологонакопичення за нестационарних умов, методи експериментальних досліджень вологісного стану утеплювача.

**Виклад основного матеріалу дослідження з повним обґрунтуванням отриманих наукових результатів.** Натурні дослідження зменшення вологості утеплювача при від'ємних температурах навколишнього середовища виконувалися у неопалюваній прибудові до житлового будинку, розташованого за адресою: Київське Шосе, 82, в м. Полтава.

Схема моделі показана на рисунку1. Модель складається з двох об'ємів. У нижньому моделюється процес осушування на початку повітряного прошарку, коли температура повітря в прошарку дорівнює температурі в холодильній камері. Це досягається завдяки тому, що торці повітряного прошарку нижнього об'єму моделі не закриті й повітря

прошарку сполучається з повітрям у прибудові. Повітря в прибудові моделює повітря у холодильній камері. У верхньому об'ємі моделюється процес осушення утеплювача в частині прошарку, де спостерігається «характерна» (стабільна по всій довжині прошарку) температура. Ця температура трохи вища за температуру в камері, тому вона прогрівається за допомогою лампи накаливання. Верхній об'єм моделі сполучається з повітрям у прибудові завдяки невеликим щілинам, розташованим у верхній його частині. Це дозволяє виводити з об'єму вологу, що надходить у нього з утеплювача в процесі осушення.

Протягом дослідження вікно неопалюваної прибудови було відчинене, що дозволяло підтримувати температуру та відносну вологість у ній близькою до зовнішньої.



**Рис. 1. Схема моделі: 1 – верхній об'єм; 2 – повітряний прошарок нижнього об'єму; 3 – утеплювач; 4 – лампа накаливання**

Для дослідження було використано утеплювач з мінеральної вати щільністю  $125 \text{ кг/м}^3$ . Розміри моделі були прийняті під розмір мінераловатної плити 1,2 на 0,6 м.

При проведенні експерименту вимірювалися:

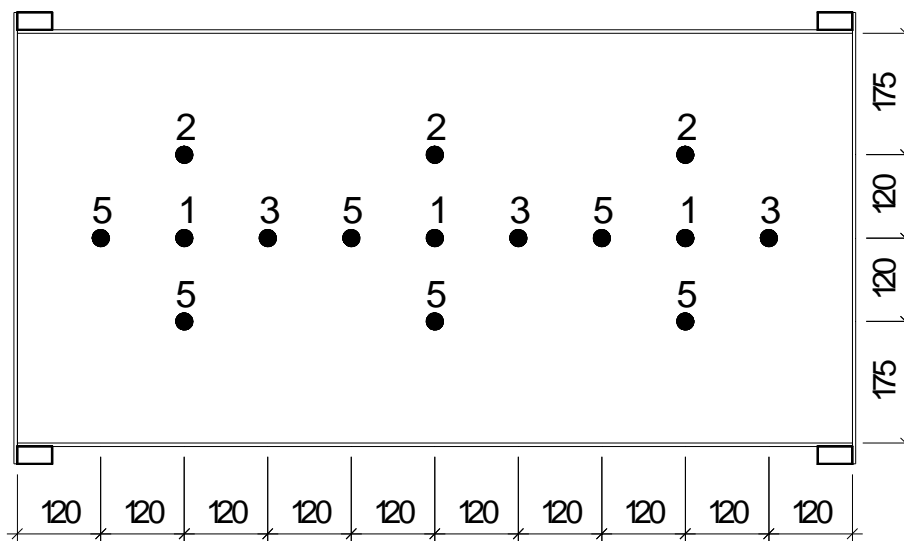
- вологість утеплювача, розміщеного у верхній частині моделі, де моделювалося розташування утеплювача у частині прошарку з «характерною», стабільною по всій довжині прошарку температурою;
- вологість утеплювача, розміщеного у нижній частині моделі, де моделювалося розташування утеплювача на початку прошарку на ділянці стабілізації температури;
- температура поверхонь утеплювача у верхньому об'ємі моделі;
- температура на відстані 10 см від нижньої та верхньої частин моделі, що моделювала температуру в холодильній камері;
- температура у верхньому об'ємі моделі, яка моделювала «характерну» температуру;
- тепловий потік крізь шар утеплювача, розташованого у верхній частині моделі;

- відносна вологість повітря навколо моделі та у верхньому її об'ємі.

Експериментальні дослідження виконувалися в період з 05.02 по 04.03.2012р. На початку експерименту утеплювач був зволожений.

Вологість матеріалу утеплювача визначалася 5 разів протягом періоду дослідження з тривалістю між замірами 7 діб. Забір проб виконувався шлямбуром із внутрішнім діаметром 2,5 см. Для визначення вологості утеплювача використовувалися стаканчики типу СН, сушильна електрошафа, аналітичні ваги та ексікатор.

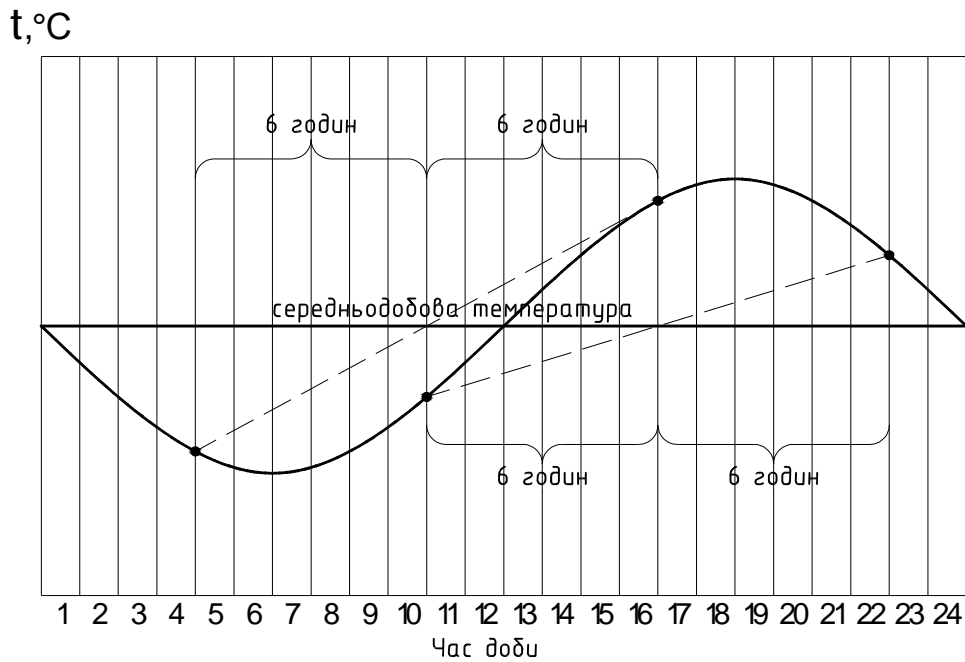
Схема розташування місць відбору проб утеплювача для визначення його вологості наведена на рисунку 2.



**Рис. 2.** Схема розташування місць відбору проб утеплювача

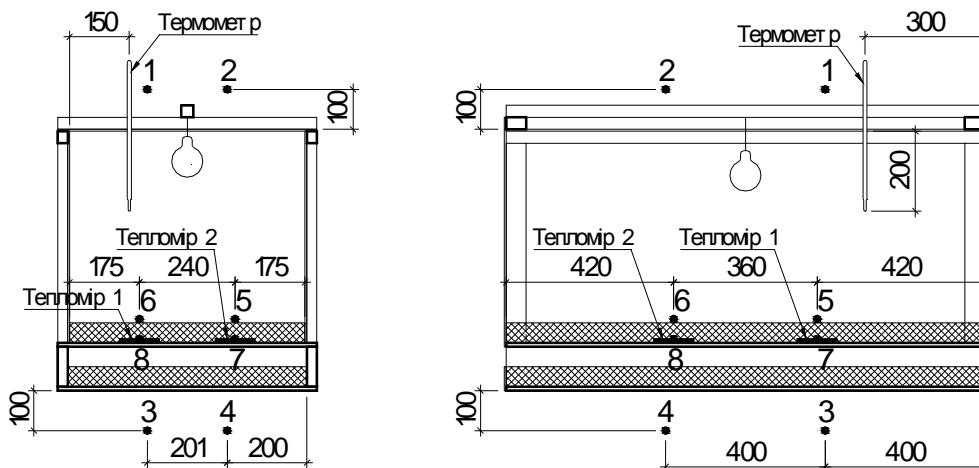
Процес зміни вологості значно більш інерційний, ніж процес теплопередачі, тому при розрахунках вологонакопичення зазвичай використовують середні за місяць температури. Для підвищення точності при розрахунках застосовували середні температури за добу. Якщо припустити, що зміна температури протягом доби відбувається за синусоїдою, то для встановлення середньодобової температури достатньо визначати температури два рази на добу з відстанню між замірюваннями у 12 годин (рис. 3). Тому вимірювання температури та теплового потоку відбувалось о 8-ій та 20-ій годині.

Вимірювання температур виконувалося копель-хромелевими термопарами з характеристиками. Вільний спай термопар знаходився у термостаті, а робочі спаї через багатоточковий перемикач підключалися до потенціометра. Для вимірювання використовувався потенціометр ПП-63. Оскільки потенціометр повинен працювати у приміщенні з температурою від 10°C до 35°C та відносною вологістю до 85%, то він був розташований в опалюваній частині житлового приміщення.



**Рис. 3. Обґрунтування кількості замірювань протягом доби**

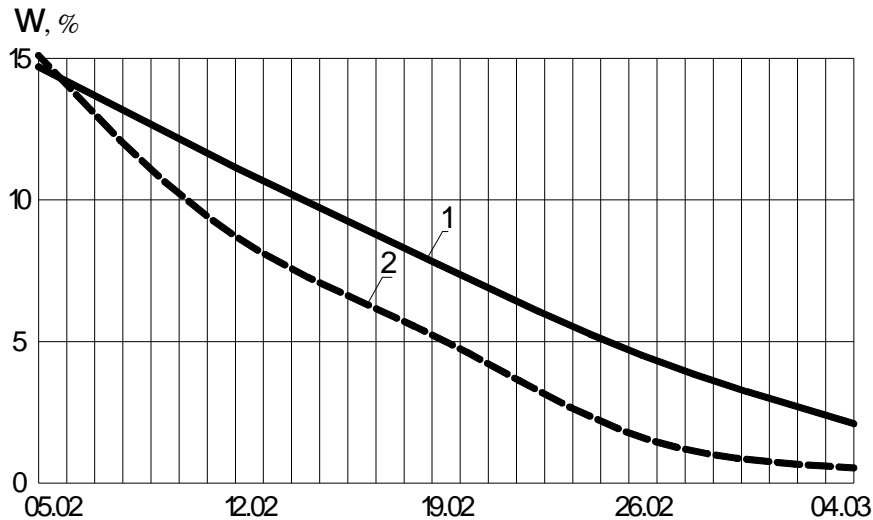
Вимірювання температури у верхньому об'ємі моделі виконувалося скляним термометром розширення із ціною поділки 0,2 °С. Для вимірювання щільності теплових потоків використовувалися тепловіміри. Тепловий потік вимірювався для утеплювача, розташованого у верхньому об'ємі моделі. Схема розміщення термопар та тепловімів наведена на рисунку 4.



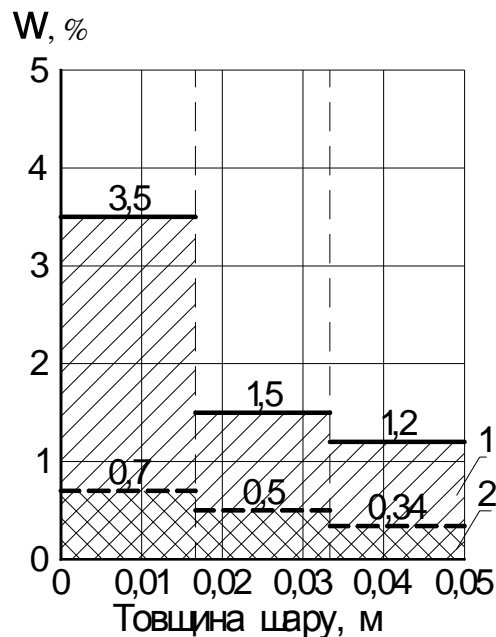
**Рис. 4. Схема розміщення термопар та тепловімів**

Вологість повітря вимірювалась аспіраційним психрометром М-34 за ГОСТ 6353-52. Вимірювання виконувалися посередині приміщення, на половині його висоти та у верхньому об'ємі моделі за допомогою двох отворів у верхній частині моделі.

За результатами експериментальних досліджень були побудовані графіки зміни вологості утеплювача протягом часу експерименту (рис. 5). Розподіл вологості по товщині утеплювача наприкінці періоду дослідження наведено на рисунку 6.



**Рис. 5.** Зміна вологості утеплювача протягом періоду експерименту: 1 – шар утеплювача на початку прошарку; 2 – шар утеплювача на ділянці стабільної температури



**Рис. 6.** Розподіл вологості по товщині утеплювача наприкінці періоду дослідження: 1 – шар утеплювача на початку прошарку; 2 – шар утеплювача на ділянці стабільної температури

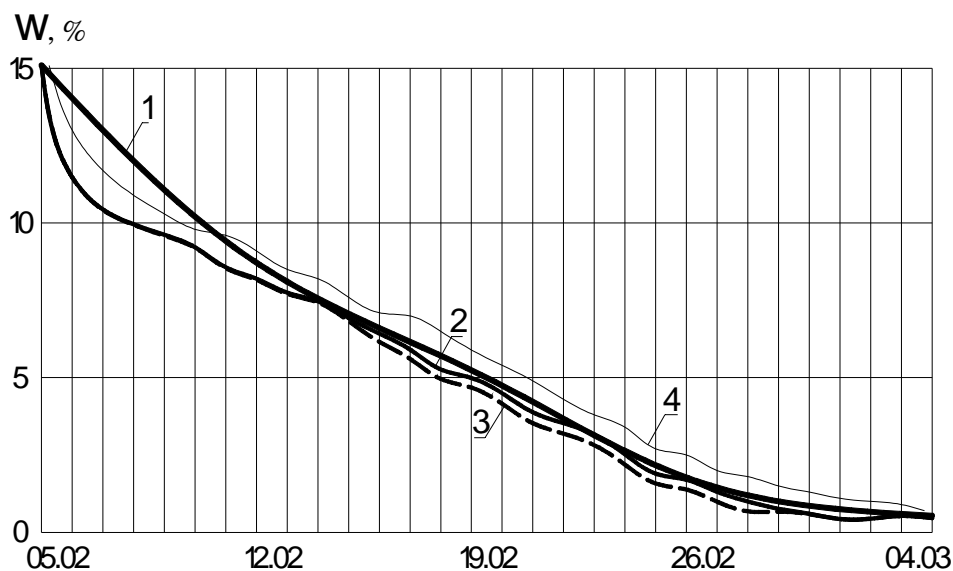
Якщо порівнювати динаміку зменшення вологості утеплювача на початку прошарку та на ділянці сталої температури (рис. 5) і розподіл вологості по товщині утеплювача наприкінці експерименту (рис. 6), то

бачимо, що швидкість осушення утеплювача на початку прошарку значно менша. Пов'язане це з тим, що на швидкість осушення впливає температура прошарку. На початку прошарку ця температура найбільш низька і дорівнює температурі в холодильній камері. З підвищенням температури швидкість видалення вологи з утеплювача збільшується.

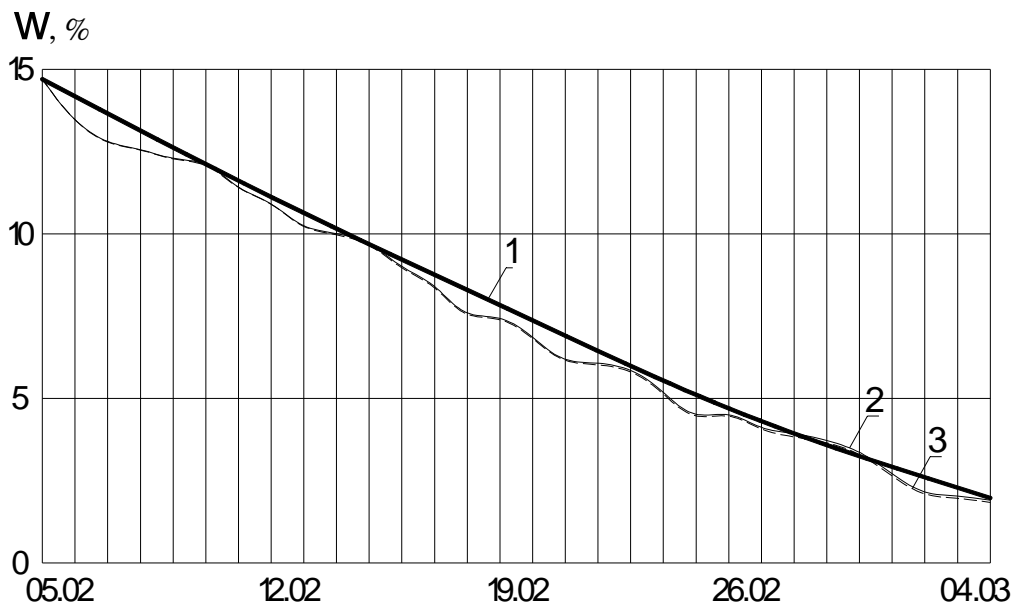
Для порівняння експериментальних і теоретичних даних були виконані розрахунки зміни вологості утеплювача методом шарового зволоження з урахуванням запропонованої методики визначення коефіцієнта вологопровідності при від'ємних температурах [6] та без урахування. Для розрахунку використовувалися середньодобові температури й відносні вологості зовнішнього повітря й повітря у верхньому об'ємі моделі, отримані під час експерименту.

Було виконано також теоретичний розрахунок зміни вологості утеплювача, виходячи зі зміни термічного опору шару утеплювача, розташованого у верхньому об'ємі моделі. Для цього використовувались експериментальні дані зміни середніх температур поверхонь утеплювача та середньої густини теплового потоку, що проходить крізь шар утеплювача.

Графіки зміни вологості утеплювача, побудовані за експериментальними даними та за теоретичними розрахунками, на ділянці сталої температури, наведено на рисунку 7, а на початку прошарку – на рисунку 8.



**Рис. 7.** Зміна вологості утеплювача (шар утеплювача на ділянці стабільної температури): 1 – за експериментальними даними; 2 – за теоретичними розрахунками (з урахуванням запропонованої методики визначення коефіцієнта вологопровідності при від'ємних температурах); 3 – за теоретичними розрахунками (за існуючою методикою); 4 – на основі розрахунку зміни термічного опору шару утеплювача



**Рис. 8. Зміна вологості утеплювача (шар утеплювача на початку прошарку): 1 – за експериментальними даними; 2 – за теоретичними розрахунками (з урахуванням запропонованої методики визначення коефіцієнта вологопровідності при від’ємних температурах); 3 – за теоретичними розрахунками (за існуючою методикою)**

Як видно з графіків, розрахунок зміни вологості з урахуванням запропонованої методики визначення коефіцієнта вологопровідності при від’ємних температурах найближчий до експериментальних даних. При цьому швидкість осушення утеплювача при розрахунку за запропонованою методикою менша, ніж за існуючою. Пояснюється це тим, що за запропонованою методикою, при від’ємних температурах, коефіцієнт вологопровідності зменшується порівняно з існуючою методикою і кількість води у рідинному стані, що рухається до поверхонь утеплювача, зменшується. На рисунку 7 у період з 05.02 по 15.02 графіки зміни вологості практично збігаються. Зумовлюється це тим, що осушення утеплювача розпочинається з верхнього шару, температура якого позитивна, тому коефіцієнт вологопровідності за існуючою й запропонованою методиками однаковий. Збіг графіків у період з 01.03 по 04.03 пояснюється тим, що у цей період температура зовнішнього повітря та повітря у верхньому об’ємі моделі позитивні, внаслідок чого коефіцієнт вологопровідності за обома методиками однаковий. Крім цього, у цей період уся вода перебуває у пароподібному стані. На рисунку 8 графіки зміни вологості за обома методиками практично однакові, а пов’язане це з невеликою швидкістю зменшення вологості.

Розрахунок вологості утеплювача на основі замірювань температур на поверхнях утеплювача та теплового потоку, що проходить крізь нього, доволі приблизний, що й підтверджує графік на рисунку 7.



## **Висновки з цього дослідження і перспективи подальших розвідок у цьому напрямі**

1. Швидкість осушення утеплювача, на ділянці повітряного прошарку з температурою, характерною для місця розташування прошарку в огороженні, більша, ніж на початку прошарку, де температура повітря дорівнює температурі в холодильній камері.

2. Для того, щоб швидкість осушення утеплювача по всій довжині прошарку була однаковою, необхідно повітря з холодильної камери перед подачею у прошарок нагрівати до температури, характерної для місця розташування прошарку в огороженні.

3. Теоретичний розрахунок вологонакопичення, виконаний з урахуванням запропонованих уточнень, більшою мірою збігається з експериментальними даними, ніж без них. Це підтверджує достовірність запропонованих змін.

### *Література*

1. *Материалы и конструкции современных зданий холодильников: обзор / Смилянский Г.М., Березутский В.И. – М.: ЦИНИС, 1980. – 12 с.*
2. *А.с.1188476 СССР, МКИ4 F25D13/00. Холодильная камера/Г.Л. Волик. – №3637678/28-13; Заявл. 22.08.83; Оpubл. 30.10.85, Бюл. №40. – 2 с.*
3. *Козлов В.В. Аналитический метод расчёта движения воздуха в воздушном зазоре вентилируемого фасада с облицовкой, содержащей периодические разрывы/ В.В. Козлов // Строительная физика в XXI веке:научно-техническая конференция, посвященная 50-летию НИИСФ РААСН. – Москва: НИИСФ, 2006.– С. 65 – 72.*
4. *Гагарин В.Г. Математическое моделирование влажностного состояния воздушной прослойки для стены вентилируемого фасада / В.Г. Гагарин, В.В. Козлов // Фундаментальные и приоритетные прикладные исследования РААСН по научн. обеспечению развития архитектуры, градостроительства и строительной отрасли Российской Федерации в 2007 году:трудыРААСН. –М. – Белгород, 2008, том 2. – С. 135 – 141.*
5. *Kunzel H.M. Simultaneous Heat and Moisture Transport in Building Components: One- and two-dimensional calculation using simple parameters. – Stuttgart: IRBVerl., 1995. – 65 p.*
6. *Могилат О.Н. Визначення коефіцієнта вологопровідності при від'ємних температурах / О.Н. Могилат, О.І. Юрін // Збірник наукових праць (галузеве машинобудування, будівництво) / Полт. держ. техн. ун-т ім. Юрія Кондратюка; редкол.: О.Г. Онищенко (відп. ред.) та інші. – Вип.5. – Полтава: ПДТУ, 2000. – 265 с.*

*Надійшла до редакції 20.11.2012*

© О. І. Юрін

**УДК 692.231.3:699.86**

*О. И. Юрин, к.т.н., ст. преподаватель  
Полтавский национальный технический университет имени Юрия Кондратюка*

**ЭСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ВЛИЯНИЯ  
ТЕМПЕРАТУРЫ В ВОЗДУШНОЙ ПРОСЛОЙКЕ НА СКОРОСТЬ  
УМЕНЬШЕНИЯ ВЛАЖНОСТИ УТЕПЛИТЕЛЯ**

*Приведены результаты экспериментальных исследований влияния температуры воздуха в вентилируемой воздушной прослойке на скорость уменьшения влажности утеплителя. Выполнено сравнение результатов экспериментального исследования с теоретическими расчетами по существующей методике и с учётом предложенных уточнений.*

***Ключевые слова:** влажность утеплителя, коэффициент теплопроводности, скорость осушения.*

**UDC 692.231.3:699.86**

*O. I. Jurin, Ph. D., Senior Lecturer  
Poltava National Technical University named in honour of Yuriy Kondratyuk*

**EXPERIMENTAL INVESTIGATIONS ON AIR GAP TEMPERATURE  
INFLUENCE ON HEAT INSULATION MOISTURE DECELERATION**

*The results of experimental studies on the effect of air temperature in a ventilated air space on heat insulation moisture deceleration are derived. The comparison of the results of experimental studies with theoretical calculations based on the existing methods with the proposed revisions is given.*

***Keywords:** heat insulation moisture, hydraulic conductivity ratio, dehumidification rate.*