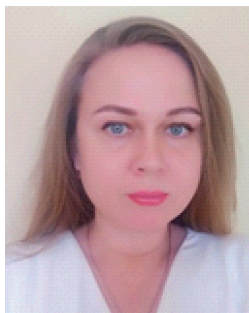




Doi: <https://doi.org/10.33644/2313-6679-16-2022-5>

УДК 624.04:692.232:697.11:699.86



ОЛЕКСІЄНКО О.Б.

Канд. техн. наук, в.о. завідувача відділу будівельної фізики та енергоефективності, ДП «Державний науково-дослідний інститут будівельних конструкцій», м. Київ, Україна
+38(066)93-84-096,
mb-elena@ukr.net,
ORCID: 0000-0002-5329-2217

НАУКОВІ ОСНОВИ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ СТІЙКОСТІ ФАСАДНИХ СИСТЕМ З ШТУКАТУРНИМ ШАРОМ ДО КЛІМАТИЧНИХ ВПЛИВІВ

АНОТАЦІЯ

У статті наводиться розроблена у ДП НДІБК методика з визначення можливості виконання робіт при температурах зовнішнього повітря до мінус 10°C з виготовлення комплексу фасадної теплоізоляції з опорядженням тонкошаровими штукатурками. Особливістю будівельного сезону в Україні є входження у холодний період року при виконанні будівельно-монтажних робіт. Тому у сучасному будівництві широко застосовуються протиморозні добавки при виготовленні облицювальних матеріалів. Їх використання може розширити календарний сезон для виконання робіт з інсталяції фасадних збірних конструктивних систем, якщо закінчення робіт з утеплення фасадів припадає на кінець листопада та початок грудня.

Метою випробувань є проведення досліджень з визначення можливості виконання робіт при температурах зовнішнього повітря до мінус 10°C з виготовлення комплектів фасадної теплоізоляції з опорядженням тонкошаровими штукатурками. Задача випробувань є експериментальне оцінювання критеріїв теплової надійності – стійкості системи до циклічних кліматичних впливів з встановленням зміни опору теплопередачі, адгезійної міцності, ударної міцності захисно-опоряджувального шару системи до та після кліматичних впливів комплектів фасадної теплоізоляції з опорядженням тонкошаровими штукатурками при імітації умов їх інсталяції при температурах зовнішнього повітря до мінус 10°C з подальшою імітацією процесу експлуатації системи теплоізоляції.

В статті наведені результати досліджень експериментального оцінювання критеріїв теплової надійності – стійкості комплексу до циклічних кліматичних впливів з встановленням зміни опору теплопередачі, адгезійної міцності, ударної міцності захисно-опоряджувального шару комплексу до та після кліматичних впливів комплекту фасадної теплоізоляції з опорядженням тонкошаровими штукатурками при імітації умов їх інсталяції при температурах зовнішнього повітря до мінус 10°C з подальшою імітацією процесу експлуатації комплексу фасадної теплоізоляції.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: фасадна теплоізоляція, термін ефективної експлуатації, довговічність, адгезійна міцність, ударна стійкість.

SCIENTIFIC GROUNDS, WHICH PROVIDE ETICS RESISTANCE TO CLIMATE

ABSTRACT

The paper presents a method developed by the State Research Institute of Building Constructions. The method shows the possibility to perform work at ambient temperature up to minus 10°C aimed at the manufacture of set of facade insulation with thin-layer plasters. A feature of the construction season in Ukraine is the entry into the cold period of the year during building and assembly work. Therefore, in up-to-date construction, antifreeze additives are widely used in the manufacture of finishing materials. The use of those can extend the calendar season for the ETICS installation, if the insulation of facades is completed in late November and early December.



The purpose of the tests is to conduct research to determine the feasibility of work at ambient temperatures up to minus 10°C for the manufacture of set of facade insulation with thin-layer plasters. The task of the tests is to experimentally evaluate the criteria of thermal reliability - resistance of the system to cyclical climatic effects and finding changes in heat transfer resistance, adhesive strength, impact strength of the protective and finishing layer of the system before and after climatic effect when simulating installation conditions of air temperature to minus 10°C with subsequent simulation of the operation of the insulation system.

The paper presents the results of research on experimental evaluation of thermal reliability criteria - ETICS resistance to cyclic climate effect with changes in heat transfer resistance, adhesive strength, impact strength of the protective and finishing layer before and after climatic effect of the facade insulation at ambient temperatures up to minus 10°C with the subsequent simulation of operation.

KEYWORDS: facade thermal insulation, term of effective operation, durability, adhesive strength, impact resistance

ВСТУП

Комплект фасадної теплоізоляції з оздобленням штукатуркою – це конструктивне рішення, в якому шар теплоізоляції кріпиться до несучої частини стіни за рахунок клейової суміші і/або механічного кріплення з нанесенням оздоблювального покриття по шару теплоізоляції. Призначення комплектів фасадної теплоізоляції є забезпечення нормативних теплотехнічних показників зовнішніх стін [1], захисту конструкцій від впливу навколишнього середовища, забезпечення нормативного мікроклімату приміщень і додання фасадам будівель привабливого естетичного вигляду.

Особливістю будівельного сезону в Україні є входження у холодний період року при виконанні будівельно-монтажних робіт. Такий технологічний режим часто спостерігається при інсталяції комплектів фасадної теплоізоляції з опорядженням штукатурками. Згідно з [2] роботи з улаштування збірних комплектів з штукатурним шаром із застосуванням клеєвого з'єднання мають виконуватися за температури навколишнього середовища вище +5°C, що вважається нормальною температурою для виконання фасадних робіт, нанесення клейових і штукатурних розчинів. Відповідно проводити фасадні роботи рекомендується з квітня до початку листопада, коли температура тримається в допустимих межах.

В той же час, у сучасному будівництві широко застосовуються протиморозні добавки при виготовленні облицювальних матеріалів. Їх вико-

ристання може розширити календарний сезон для виконання робіт з інсталяції фасадних збірних конструктивних систем, якщо закінчення робіт з утеплення фасадів припадає на кінець листопада та початок грудня. Такі матеріали при їх застосуванні можуть дозволити проводити роботи по влаштуванні фасадної теплоізоляції при атмосферній температурі до мінус 10 °C і при цьому забезпечувати еластичність клейових сумішей та надійність приклеювання матеріалів, збільшення захисту від технологічної та атмосферної вологи, забезпечувати необхідну міцність оздоблювальних матеріалів та не утворення на стінах фасаду тріщин.

Для вирішення сформульованих питань розроблена методика експериментальних досліджень та здійснена оцінка можливості виконання робіт з улаштування конструкцій фасадної теплоізоляції з штукатурним шаром при температурах зовнішнього повітря до мінус 10°C.

АНАЛІЗ СТАННІХ ДОСЛІДЖЕНЬ І ПУБЛІКАЦІЙ

Основними кліматичними параметрами впливу на фасадну теплоізоляцію прийняті: температура повітря, вологістні кліматичні впливи на конструкції, сонячне опромінення і кількість вірогідних переходів температури через 0°C. Якщо фасадна система періодично заморожується і відтає, не менш значиме є число циклів заморожування й відтавання, яке залежить від кількості переходів температури через 0°C.

Низькі температури повітря, значні її перепади й особливо багаторазові переходи температури повітря через 0°C викликають негативний вплив на експлуатаційну надійність фасадних комплектів теплоізоляції [3]. Результати таких циклічних знакозмінних переходів можна виокремити в наступні прояви:

- зміну деформаційних характеристик складових матеріалів фасадної теплоізоляції, що призводить до скорочення терміну експлуатації комплекту в цілому [4];
- прискорення процесів старіння матеріалів [5];
- виникнення температурних деформацій, що погіршують експлуатаційні якості конструкцій [6 – 11];
- виникнення в конструкції додаткових зусиль від зміни температури [6 – 11].

Перехід температури через 0°C скорочує терміни виконання робіт по влаштуванню комплектів фасадної теплоізоляції з штукатурним шаром. Для подальшої експериментальної оцінки впливу знакозмінної температури на експлуатаційну надійність комплектів фасадної теплоізоляції проведено дослідження щодо вивчення фізико-механічних та теплотехнічних властивостей до та після дії кліматичних впливів



протягом першого року експлуатації комплексу фасадної теплоізоляції.

ПОСТАНОВКА ЗАВДАННЯ

Метою випробувань є проведення досліджень з визначення можливості виконання робіт при температурах зовнішнього повітря до мінус 10°C з виготовлення комплектів фасадної теплоізоляції з опорядженням тонкошаровими штукатурками. Задача випробувань – експериментальне оцінювання критеріїв теплової надійності – стійкості системи до циклічних кліматичних впливів з встановленням зміни опору теплопередачі, адгезійної міцності, ударної міцності захисно-опоряджувального шару системи до та після кліматичних впливів комплектів фасадної теплоізоляції з опорядженням тонкошаровими штукатурками при імітації умов їх інсталяції при температурах зовнішнього повітря до мінус 10°C з подальшою імітацією процесу експлуатації системи теплоізоляції.

ОСНОВНИЙ МАТЕРІАЛ І РЕЗУЛЬТАТИ

В основу дослідження покладено кліматологічну стандартну норму середньої місячної температури повітря з Кліматичного Кадастру України. За цією температурою було розраховано кліматологічну стандартну норму дат переходу середньої добової температури повітря через 0°C для весни, восени і зими з 2016 по 2020 рр. для м. Києва. Для випробування імітації першого року експлуатації комплексу фасадної теплоізоляції та подальших досліджень було прийнято максимальне значення, що дорівнює 60 циклів знакозмінних температур.

Випробування проводять на зразках комплексу фасадної теплоізоляції з опорядженням штукатурками, що виготовлені відповідно до технічної документації та технологічного регламенту на ці виробу.

Для випробувань виготовлено комплекти-зразки фасадної теплоізоляції з опорядженням штукатуркою в зимових кліматичних умовах при зниженні від'ємної температур повітря до мінус

10°C у технологічній послідовності, ідентичний виконанню робіт в умовах будівельного майданчика. Роботи з виготовлення комплектів-зразків проводились в кліматичній камері КТК 3000 лабораторії будівельної теплотехніки та акустики ДП НДІБК із забезпеченням та фіксацією вказаних зимових кліматичних умов. Температура сухої суміші (з індексом «Зима») при замішуванні (приготуванні) повинна бути позитивною. Для приготування суміші згідно технологічного регламенту ТК на зимові використовували воду з температурою $+35^{\circ}\text{C} \dots +40^{\circ}\text{C}$ (рис. 1).

Зразки після виготовлення витримувалися в умовах постійної температури мінус 10°C та вологості протягом 24 годин, не чекаючи завершення процесів формування опоряджувального шару. Дослідний зразок встановлюють у проріз кліматичної камери, герметизують місця сполучення зразків із прорізом кліматичної камери так, щоби повністю уникнути можливості попадання рідкої води на торцеві поверхні дослідних зразків. Фіксують зовнішній вигляд опоряджувального шару дослідного зразка та проводять вимірювання опору теплопередачі у початковому його стані. Усі засоби вимірювань мають посвідчення про калібрування у встановленому порядку, видані ДП «Укрметртестстандарт».

Випробування проведено у два етапи. I етап випробувань – імітація першого холодного місяця експлуатації комплексу фасадної теплоізоляції.

Зразки піддають однобічному циклічному температурному впливу заморожування – відтавання.

Температуру заморожування дослідного зразка встановлюють мінус 5°C . З зовнішнього боку дослідного зразка забезпечувались умови примусової конвекції з коефіцієнтом тепловіддачі на рівні $23 \text{ Вт}/(\text{м}^2\cdot\text{K})$. З внутрішньої сторони встановлювалась температура повітря від 16°C до 22°C та коефіцієнт тепловіддачі на рівні $8,7 \text{ Вт}/(\text{м}^2\cdot\text{K})$. Тривалість заморожування становила 3 год.

Відтавання зразків здійснювалось при двох тем-



Рисунок 1 – Зразки комплектів у кліматичній камері виготовлених при температурі мінус 10°C



Рисунок 2 – Зовнішній вигляд дослідних зразків комплекту фасадної теплоізоляції після I-го етапу випробувань циклічних впливів

пературних режимах:

- в кліматичній камері в умовах примусової конвекції за температури повітря з боку зовнішньої поверхні ($+5 \pm 1$) °C та температури повітря з боку внутрішньої поверхні від 16 °C до 22 °C з тривалістю 3 год.
- на повітрі за температури від 16 °C до 22 °C в умовах природної конвекції з коефіцієнтом тепловіддачі ($5 \pm 1,5$) Вт/(м²·K) з тривалістю 6 год.

Один цикл випробувань складався з заморожування – відтавання за графіком: непарні цикли – відтавання у кліматичній камері в умовах змушеної конвекції за температури повітря +5°C, парні цикли – відтавання зовнішньої поверхні фрагменту в умовах вільної конвекції повітрі за температури від 16 до 22 °C. Загальна кількість циклів заморожування-відтавання – 60 циклів.

У ході I-го етапу випробувань на стійкість до кліматичних впливів і імітації першого року експлуатації комплекту зафіксовано без зміни зовнішнього шару кожного дослідного зразка (рис. 2).

Після першого етапу випробувань на заморожування-нагрівання (відтавання) проведено кондиціювання зразків при температурі зовнішнього повітря +16°C протягом 14 діб. Після



Рисунок 3 – Нанесення декоративних шарів на зразки комплектів

чого на зразки нанесено декоративний шар (див. рисунок 3).

II етап випробувань – імітація умовних 25 років експлуатації комплекту фасадної теплоізоляції проводились згідно з [2].

У ході досліджень комплектів фасадної теплоізоляції при імітації умов їх інсталяції при температурах зовнішнього повітря до мінус 10 °C проведено експериментальне оцінювання критеріїв теплової надійності –

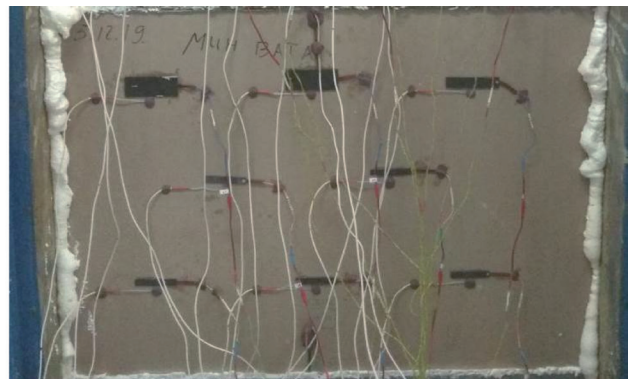
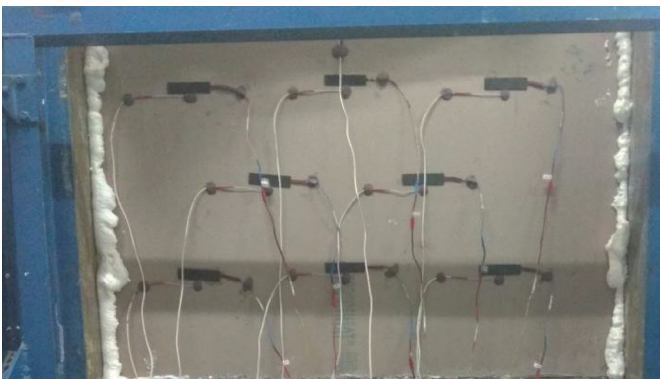


Рисунок 4 – Загальний вигляд дослідних зразків

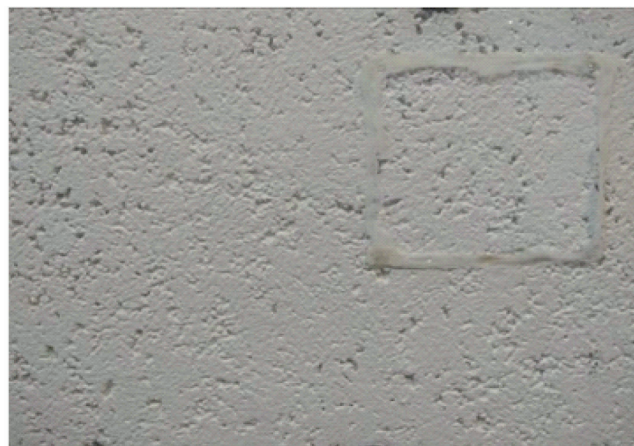
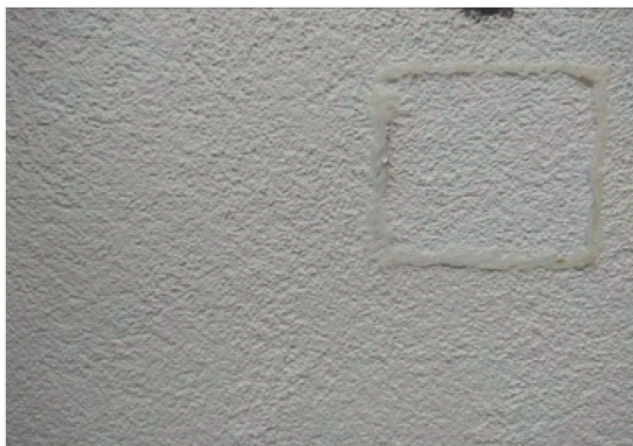


Рисунок 5 – Зовнішній вигляд дослідних зразків після II-го етапу випробувань на циклічні кліматичні впливи

стійкості комплексу до циклічних кліматичних впливів з встановленням таких показників до та після кліматичних впливів, як: зміну опору теплопередачі; адгезійної міцності; ударної міцності захисно-опоряджувального шару.

Загальний вид дослідних зразків під час випробувань зображено на рисунку 4.

Перед початком II-го етапу випробувань частину кожного дослідного зразка було ізолювано від дії на неї кліматичних факторів та проведено визначення опору теплопередачі. У ході випробувань на стійкість до кліматичних впливів майже суттєвої зміни кольору опоряджувального шару кожного дослідного зразка не зафіксовано (рис. 5).

У зв'язку з тим, що виготовлення дослідних зразків комплектів фасадної теплоізоляції проводилося при температурі зовнішнього повітря мінус 10°C і не дочекавшись завершення фізичних процесів урівноваження стану структури матеріалів проведено випробування опору теплопередачі в початковому стані. Після I етапу випробувань, проведення 60 циклів заморожування – відтавання від -5°C до + 5°C, процес переходу до врівноваженого стану матеріалів завершився, з відсутністю надлишку вологи зразка комплектів. У зв'язку з

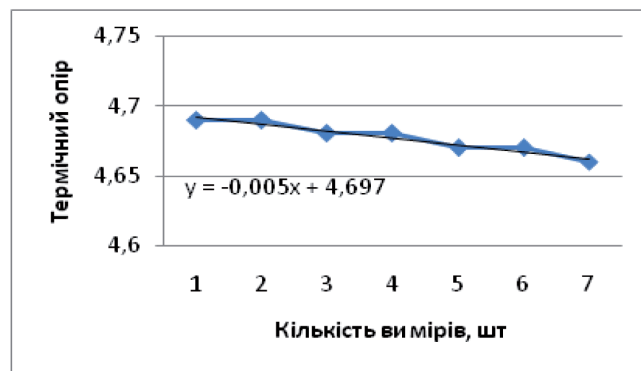


Рисунок 6 – Термічний опір зразків на пінополістирольній та мінераловатній основі



чим спостерігається збільшення приведенного опору теплопередачі зразків після 60 циклів випробування I етапу. Зміна термічного опору комплектів на пінополістирольній та мінераловатній основі в процесі проведення циклічних кліматичних впливів наведено на рис. 6.

Відповідно до [2] термін ефективної експлуатації для комплектів фасадної теплоізоляції буде становити не менше ніж 25 років при виконанні умови:

$$\frac{R(0) - R(60)}{R(0)} k_z \frac{25}{60} \leq 0,1$$

Даний критерій становить $0,03 \leq 0,1$, що відповідає нормативним критеріям за зміною

опору теплопередачі.

Загальний вид дослідних зразків під час випробувань на ударну стійкість в початковому стані до проведення циклічних кліматичних впливів зображено на рис. 7 – 9. Результати випробувань:

- при силі удару 3 Дж на базове покриття – без тріщин і сколів, і 6 Дж – тріщини базового покриття;

- при силі удару 3 Дж і 6 Дж на два види штукатурного опорядження – без тріщин і сколів.

Результати випробувань дослідних зразків на ударну стійкість після проведення циклічних кліматичних впливів;

- при силі удару 3 Дж на штукатурні покриття – без тріщин і сколів, і 6 Дж – один із трьох ударів тріщина.

Адгезійна міцність (міцність зчеплення

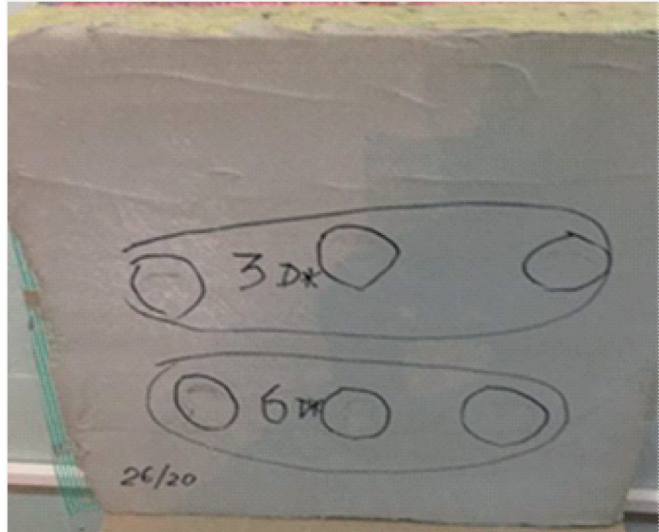
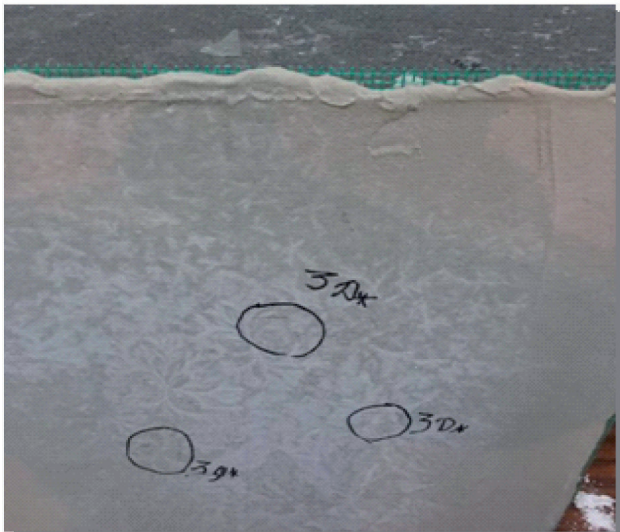


Рисунок 7 – Загальний вигляд базового покриття дослідного зразка після дії удару 3 Дж, 6 Дж (а – пінополістирольні плити, б – мінераловатні плити)

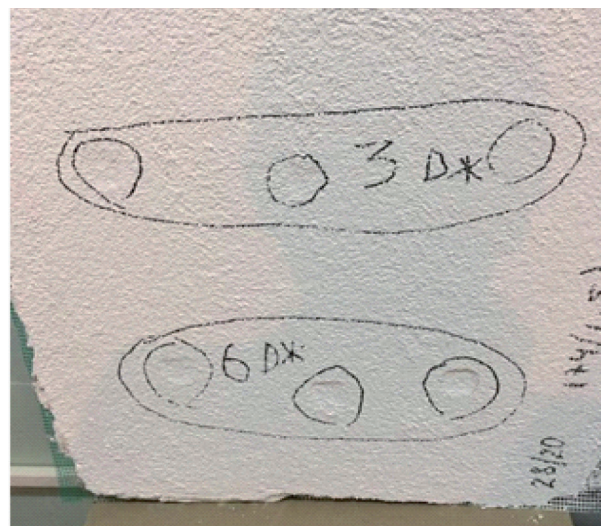


Рисунок 8 – Загальний вигляд базового покриття дослідного зразка після дії удару 3 Дж, 6 Дж (а – пінополістирольні плити, б – мінераловатні плити)

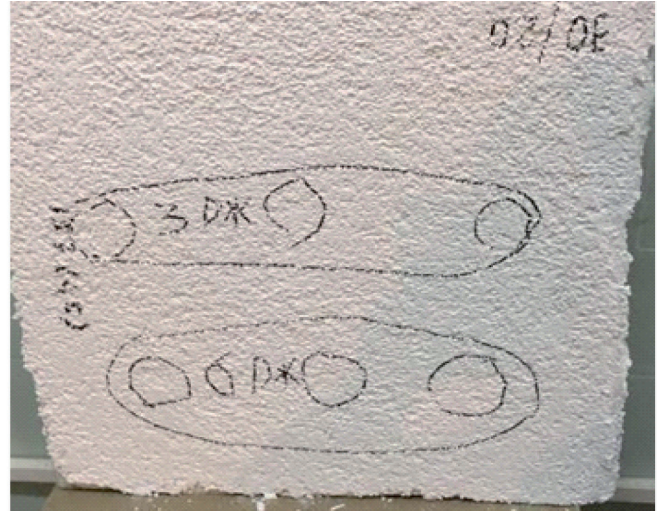
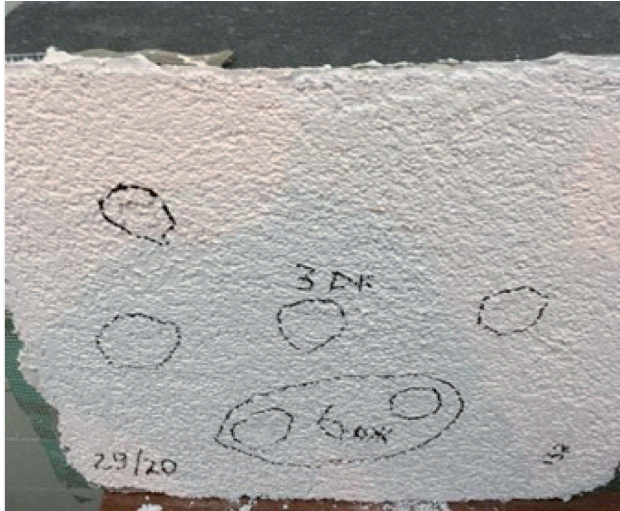


Рисунок 9 – Загальний вигляд базового покриття дослідного зразка після дії удару 3 Дж, 6 Дж (а – пінополістирольні плити, б – мінераловатні плити)

теплоізоляційних плит із захисно-декоративним шаром) комплектів фасадної теплоізоляції з опорядженням тонкошаровими штукатурками при виконанні робіт при температурах зовнішнього повітря до мінус 10°C після циклічних кліматичних випробувань у всіх випадках зафіксовано когезійний розрив по шару утеплювача (рис. 10).

Всі засоби вимірювальної техніки та обладнання, при проведенні випробувань, мають свідоцтва про калібрування.

ОЦІНЮВАННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ВИПРОБУВАНЬ

Результати випробування комплектів фасадної теплоізоляції з опорядженням тонкошаровими штукатурками, що були виготовлені при температурі зовнішнього повітря мінус 10°C, при імітації 1-го умовного року експлуатації з нестабільною знакозмінною температурою (переходом температури через 0°C) зовнішнього повітря в кількості 60 циклів та з подальшою імітацією умов експлуатації комплексу фасадної теплоізоляції показали наступне:



Рисунок 10 – Загальний вигляд дослідних зразків



- Термін ефективної експлуатації комплексу фасадної теплоізоляції складає не менше ніж 25 умовних років, що відповідає нормативним вимогам ДБН В.2.6-31 та ДСТУ Б В.2.6-36 за показниками стійкості комплексу фасадної теплоізоляції до кліматичних впливів.
- Ударна стійкість (опір удару) комплексу фасадної теплоізоляції до та після дії циклічних кліматичних впливів вважається достатньою та відповідає вимогам п.6.3 ДСТУ Б В.2.6-36.
- Адгезійна міцність (міцність зчеплення теплоізоляційних плит із захисно-декоративним шаром) комплексу фасадної теплоізоляції з опорядженням тонкошаровими штукатурками після дії циклічних кліматичних впливів у всіх випадках зафіксовано когезійний розрив по шару утеплювача, що свідчить про збереження необхідних характеристик міцності зчеплення у часі.

ВИСНОВКИ ТА ПЕРСПЕКТИВИ ПОДАЛЬШИХ РОЗРОБЛЕНЬ

Розроблено методику та проведено дослідження з визначення можливості виготовлення комплектів фасадної теплоізоляції з опорядженням тонкошаровими штукатурками з виконанням робіт при температурі зовнішнього повітря до мінус 10°C.

Комплекти фасадної теплоізоляції, що виготовляються згідно Технологічної карти на зимові роботи можуть бути рекомендовані до застосування при виконанні робіт з їх інсталяції на будівельних майданчиках при нестабільних знакозмінних температурах зовнішнього повітря тривалістю до одного місяця з пониженням температури до мінус 10 °C.

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. ДБН В.2.6-31:2016 Теплова ізоляція будівель.
2. ДСТУ Б В.2.6-36:2008 Конструкції зовнішніх стін із фасадною теплоізоляцією та опорядженням штукатурками
3. Фаренюк Г.Г. Основи забезпечення енергоефективності будинків та теплової надійності огорожувальних конструкцій. – К.: Гама-Принт, 2009, 216 с.
4. Фаренюк Г. Г. Стани теплових відмов ізоляційної оболонки будинків та експериментальні методи їх визначення// Реконструкція житла, 2007, №9, С.99 – 106.
5. Чернявський В. В. Деструктивні фактори впливу на фасадну теплоізоляцію з штукатурним шаром / В. В. Чернявський, О. Б. Борисенко // Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди: збірник

наукових праць. – Рівне, 2011. – Вип. 21. – С. 552 – 560.

6. Фаренюк Г. Г. Стійкість до кліматичних впливів конструкції фасадної теплоізоляції з опорядженням штукатуркою/ Г. Г. Фаренюк, О. Б. Борисенко//Науково-технічний збірник. Серія: Комунальне господарство міст. 2013 – Вип. 107. – С. 3 – 9.
7. Фаренюк Г. Г. Теплові впливи на огорожувальні конструкції за нестаціонарних умов / Г. Г. Фаренюк, О. І. Філоненко // Збірник наукових праць. Серія: Галузеве машинобудування, будівництво. – Полтава: ПолтНТУ, 2015. – Вип. 2 (44). – С. 234 – 238. <http://journals.pntu.edu.ua/znpp/article/view/168>.
8. Чернявський В. В. Кліматичні фактори впливу на теплоізоляційні фасадні системи з тонким штукатурним шаром/ В. В. Чернявський, О. Б. Борисенко // Містобудування та територіальне планування. – Київ: КНУБА, 2010. – Вип. 37. – С. 559 – 564.
9. Фаренюк Г. Г. Исследование конструкций фасадной теплоизоляции с тонкослойной штукатуркой / Г. Г. Фаренюк, О. Б. Борисенко // Новые идеи нового века: материалы международной научной конференции ФАД ТОГУ. – Том 2. – С.225 – 231.
10. Фаренюк Г. Г. Температурні деформації теплоізоляційних матеріалів, що застосовуються у фасадній системі теплоізоляції з тонкошаровою штукатуркою/ Г. Г. Фаренюк, О. Б. Олексієнко // Будівельні конструкції. – 2013 - Номер 77. – С. 39 – 43.
11. Чернявський В. В. Аналіз розкриття тріщин декоративно-штукатурного шару фасадної системи залежно від температури та вологості зовнішнього повітря/ В. В. Чернявський, А. М. Пащенко, О. Б. Борисенко, Р. В. Лопатків /// Збірник наукових праць. Серія: Галузеве машинобудування, будівництво. – Полтава: ПолтНТУ, 2010.

REFERENCES

1. Thermal insulation of buildings: DBN B.2.6-31:2016. (2017)
2. Constructions of external walls with facade thermal insulation and finishing with plasters: DSTU B V.2.6-36:2008. (2009)
3. Farenjuk, G. (2009). Basics of assurance of energy efficiency of buildings and thermal reliability of envelope. Kyiv: Gama-Print.
4. Farenjuk, G. (2007). Conditions of thermal failure of insulation skin of buildings and experimental assessment methods.



- Reconstruction of housing, 2007, №9, 99 – 106.
5. Chernyavsky, V.(2011). Destructive factors influencing the facade insulation with plaster. Resource-saving materials, structures, buildings and structures: a collection of scientific papers, 21, 552 – 560. Rivne
 6. Pashinsky, V. (2012). Temperature effects on the enclosing structures of buildings / V. Pashinsky, N. Pushkar, A. Karyuk. Odesa: ODABA.
 7. Farenjuk, G. (2015). Thermal influences on enclosing structures under non-stationary conditions. G. Farenjuk, O. Filonenko. Collection of scientific works. Series: Industrial engineering, construction. Issue 2 (44), 234 – 238 Poltava: PoltNTU. Retrieved from <http://journals.pntu.edu.ua/znp/article/view/168>.
 8. Chernyavsky, V.(2010). Climatic factors of influence on thermal insulation facade systems with a thin layer of plaster / Chernyavsky V, Borisenko O. Urban planning and spatial planning. Issue. 37, 559 - 564. Kyiv: KNUBA
 9. Farenjuk G, Borisenko O. Study of facade thermal insulation structures with thin-layer plaster. New ideas of the new century: materials of the international scientific conference FAD TOGU. Vol. 2, 225 - 231.
 10. Farenjuk G.G. (2013) Temperature deformations of heat-insulating materials used in the facade system of thermal insulation with thin-layer plaster. Building constructions. No.77, 39 - 43.
 11. Chernyavsky V. (2010). Analysis of cracking of the decorative-plaster layer of the facade system depending on the temperature and humidity of the external air / Chernyavsky V, Pashchenko A., Borisenko O., Lopatkiv R / Collection of scientific works. Series: Industrial engineering, construction. Poltava: PoltNTU.

Стаття надійшла до редакції 12.01.2022 року