



Doi: <https://doi.org/10.33644/scienceandconstruction.v27i1.6>

УДК 624.016:624.042.7:550.34



ЖАРКО Л.О.

Канд. техн. наук, доц.,
завідувач відділу, Державного
підприємства «Державний
науково-дослідний інститут
будівельних конструкцій»,
м. Київ, Україна,
e-mail: zharko@ndibk.gov.ua,
тел.: + 38 (066) 722-70-57,
ORCID: 0000-0002-5966-1060



ОВЧАР В.П.

Канд. техн. наук, провідний нау-
ковий співробітник, Державного
підприємства «Державний
науково-дослідний інститут
будівельних конструкцій», м.
Київ, Україна,
e-mail: vovchar@i.ua,
тел.: + 38 (067) 784-52-95,
ORCID: 0000-0002-3896-2729



БЕЛОКОНЬ А.М.

Інженер I-ї кат. Державного
підприємства «Державний
науково-дослідний інститут
будівельних конструкцій»,
м. Київ, Україна
e-mail: a.belokon1407@gmail.com
тел.: + 38 (097) 355-14-07,
ORCID: 0000-0003-1840-2107



ТАРАСЮК В.Г.

Канд. технічних наук,
с.н.с., завідувач відділення
Державного підприємства
«Державний науково-
дослідний інститут будівельних
конструкцій», м. Київ, Україна,
e-mail: v.tarasyuk@ndibk.gov.ua
тел.: +38 (050) 387-97-12
ORCID: 0000-0002-3844-1376

ВИПРОБУВАННЯ ФРАГМЕНТУ ВЕНТИЛЬОВАНОЇ УТЕПЛЕНОЇ ФАСАДНОЇ СИСТЕМИ З АЛЮМІНІЄВИМ КАРКАСОМ І ОПОРЯДЖЕННЯМ ПЛИТАМИ ПРИРОДНОГО КАМЕНЮ

АНОТАЦІЯ

Розглянуто результати експериментальних досліджень роботи енергозберігаючої фасадної вентиляційної системи Hilti з прихованим кріпленням плит опорядження природного каменю на каркасі з алюмінієвих елементів за допомогою аграфів. Зразок фрагмента фасадної системи розмірами 4×2 м випробували на стенді в горизонтальному положенні на комплексну дію власної ваги, обледеніння та вітру від розрахункових навантажень експлуатаційних і граничних, позитивних і негативних, в рядовій і кутовій зонах будівлі. Наведені розрахунки навантажень, випробувальне обладнання, схеми випробувань

та схеми розміщення вимірювальних приладів. Визначено фізико-механічні характеристики природного каменю плит опорядження. Опорядження випробуваного зразка складала 4 плити розмірами 2035×890×30 мм, масою по 122,5 кг. Визначено величини деформацій опорядження та представлено їх вичерпний аналіз. Руйнівне навантаження в площині плит становило 46,6 кН, що відповідає висоті будівлі 27 м. Характер руйнування зразка – деформація аграфів із вертикальним переміщенням та з розривом з'єднання направляючого аграфного профілю з несучим. Хімічні анкери плит опорядження витримали без пошкод-



ження на вирив вітрове від'ємне навантаження 0,652 кН та на зріз вертикальне навантаження 1,664 кН. Випробуваннями зразка фрагменту фасадної системи встановлено, що система витримала всі передбачені види навантажень експлуатаційних і граничних від власної ваги, двостороннього зледеніння облицювання, вітрового навантаження позитивного і негативного на рядових і кутових ділянках. Під час проектування, монтажу та експлуатації цієї фасадної системи слід враховувати її вразливість: масивність опорядження, надійність з'єднань несучих і аграфних профілів каркасу та самих аграфів, можливість конструктивного забезпечення від зледеніння горизонтальних проміжків між плитами на рівні поверхів.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: випробування навантаженням, фасадна вентилявана система, алюмінієвий каркас, аграфи, дія власної ваги і двостороннього обледеніння, вітрові навантаження, переміщення, фізико-механічні характеристики природного каменю, руйнівне навантаження, характер руйнування.

TESTING OF THE PART OF A VENTILATED INSULATED FACADE SYSTEM WITH AN ALUMINUM FRAME AND NATURAL STONE FINISHING SLABS

ABSTRACT

The results considered are the experimental research of behavior of the Hilti energy-saving ventilated facade system with the hidden clips fastening of natural stone finishing slabs on an aluminum elements framework. The sample of the facade system part with dimensions of 4×2 m was tested on a stand in a horizontal position for the complex action of its dead weight, icing and wind due to the operational and boundary, positive and negative design loads, in ordinary and corner areas of the building. The load calculations, test equipment, test schemes and measuring instruments layouts were specified. The physical and mechanical characteristics of finishing slabs natural stone were determined. The finishing of the tested sample consisted of 4 plates with dimensions of $2035 \times 890 \times 30$ mm and weight of 122.5 kg. The values of finishing deformations were determined, and their exhaustive analysis was presented. The destructive load in the slabs plane was 46.6 kN and corresponded to the building height of 27 m. The sample destruction was characterized by the deformations of clips with the vertical movement and connection failure of the guiding and supporting clips profiles. The finishing slabs chemical anchors withstood the negative wind pullout load of 0.652 kN and the vertical shear load of 1.664 kN without any damage. The tests of the sample of facade system part showed that the system withstood all designed types of operational and boundary loads from its dead weight, finishing bilateral icing, as well as positive and

negative wind loads in ordinary and corner areas. During the design, installation, and operation of this facade system its vulnerabilities should be taken into account including the finishing massiveness, reliability of connections between the supporting and clip frame profiles as well as clips themselves, the possibility of structural protection against icing of horizontal gaps between the floor slabs.

KEYWORDS: load test, ventilated facade system, aluminum frame, clips, the dead weight and bilateral icing action, wind loads, displacement, physical and mechanical characteristics of natural stone, destructive load, nature of destruction.

МЕТА РОБОТИ

В сучасному будівництві важливе значення надається енергозберігаючим технологіям. Одна з них - застосування вентиляваних утеплених фасадних систем з алюмінієвим каркасом та кріплення до нього за допомогою аграфів плит опорядження з природного каменю.

Випробування зразка фрагменту фасадної системи з опорядженням природним каменем (далі - зразка) були виконані з метою перевірки його жорсткості та несучої здатності щодо вітрового навантаження, навантаження від власної ваги та від двобічного зледеніння опоряджувального шару у відділі досліджень конструкцій будівель та споруд Державного підприємства «Державний науково-дослідний інститут будівельних конструкцій».

ВИХІДНІ ДАНІ

Зразок утворено каркасом алюмінієвих профілів з чотирьох несучих вертикальних профілів, які за допомогою кронштейнів закріплені на стіні хімічними анкерами, та вісьмома направляючими (аграфними) горизонтальними профілями. Між собою та з кронштейнами профілі поєднані клепою. На направляючих профілях за допомогою аграфів, які закріплені на стіні хімічними анкерами (чотирьох верхніх і трьох нижніх), навішено чотири облицювальні плити з природного каменю.

Розміри плити з природного каменю становлять $2035 \times 890 \times 30$ мм. Розміри зразка відповідають габаритам чотирьох плит - 4076×1966 мм.

Схема вентиляваної утепленої фасадної системи з прихованим кріпленням плит на каркасі із алюмінієвих елементів за допомогою аграфів зображено на рис. 1. Конструктивне рішення системи таке [1]:

- каркас фасадної підсистеми складається з алюмінієвих профілів - вертикальних несучих (2) та горизонтальних аграфних (3);
- аграфи (1), (6) і (8) кріпляться до плит НРЛ з тильного боку за допомогою хімічних анкерів з підрізуванням (7);
- регулювання плит по висоті здійснюється гвинтами (5), встановленими в аграфи (1) і



(6), після чого проводиться фіксація плит саморізом, отвір для якого підготовлено в аграфах (1);

- аграфний профіль (3) закріплюється на несучому профілі підсистеми (2) за допомогою алюмінієвих заклепок або нержавіючих саморізів.

Схема встановлення верхнього і нижнього аграфів на плитах опорядження з натурального каменю наведена на рис. 2.

Вигляд каркасу зразка із алюмінієвих профілів перед випробуваннями показано на рис. 3.

ВИПРОБУВАННЯ ЗРАЗКА ФРАГМЕНТУ ФАСАДУ

Зразок було змонтовано на залізобетонній стіновій панелі з комплектуючих і по технології ТОВ «МІСТОБУДГРУП». Його випробували в горизонтальному положенні і навантажували горизонтальним та вертикальним навантаженнями.

Горизонтальне навантаження в площині плит опорядження відповідає навантаженню від власної ваги та зледеніння плит. Це постійне рівномірно розподілене навантаження прикладали до верхньої кромки (у проектному положенні) плит через розподільчу систему з гумовими прокладками та домкрати, що були закріплені на випробувальному стенді.

Горизонтальне навантаження прикладали до руйнування зразка.

Вертикальне змінне навантаження до і від площини плит опорядження, що імітує вітрове навантаження, прикладали через розподільчу систему з гумовими прокладками рівномірно по площині плит опорядження через домкрати між стіною і плитами.

Схему навантаження фасадної системи у проектному положенні та її поворот ліворуч в горизонтальне положення для випробування наведено на рис. 4, схему випробування зразка фрагменту фасадної системи в горизонтальному положенні на випробувальному стенді показано на рис. 5. Схему розташування вимірювальних приладів наведено на рис. 6.

ВИЗНАЧЕННЯ НАВАНТАЖЕНЬ

Навантаження розраховано для зразка площею 8,013 м² у проектному положенні та під час випробування в горизонтальному положенні.

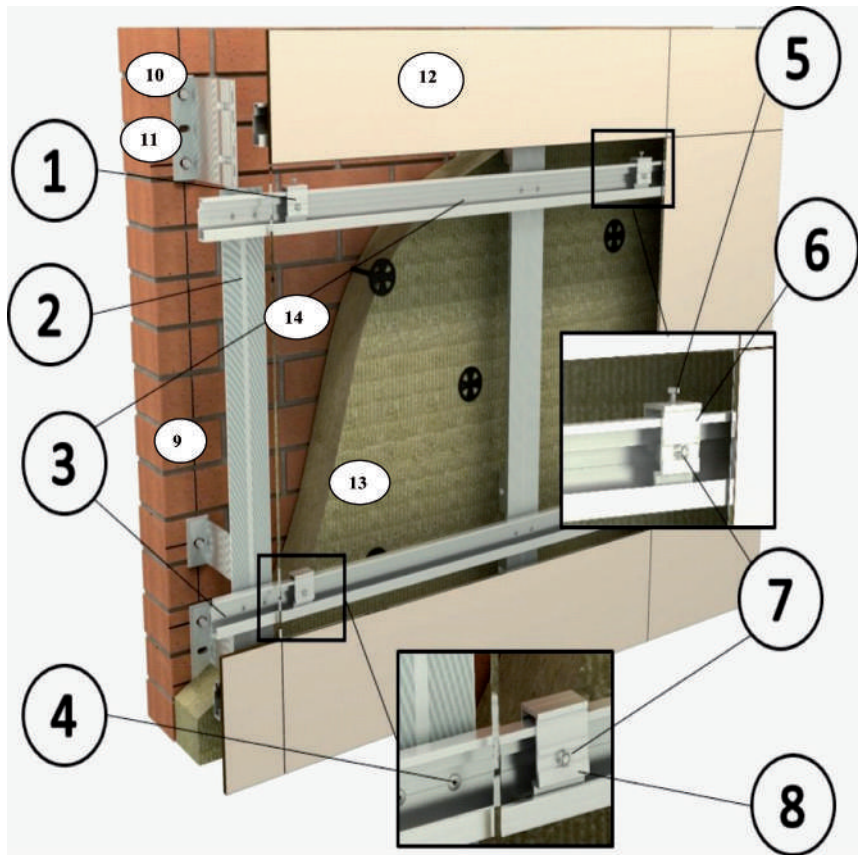


Рисунок 1 – Схема вентиляованої утепленої фасадної системи Hilti з прихованим кріпленням плит опорядження на каркасі з алюмінієвих елементів за допомогою аграфів [1]. 1, 6, 8 – аграфи; 2 - вертикальні несучі алюмінієві профілі; 3 - горизонтальні аграфні алюмінієві профілі; 4 – заклепка; 5 – гвинти регулювання по висоті; 7 - хімічний анкер з підрізуванням; 9 - стіна; 10 – кронштейн; 11- хімічний анкер; 12 - плита опорядження з натурального каменю; 13 – плита утеплювача мінераловатна; 14 - анкер кріплення утеплювача

Визначення навантаження на навісну фасадну систему представлено в табл. 1.

За розрахунками табл. 1 навантаження зразка в проектному положенні та в під час випробувань наочно представлені на рис. 7.

Постійне рівномірно розподілене навантаження від власної ваги плит опорядження, відповідно експлуатаційне, граничне та граничне від зледеніння, було застосовано горизонтально до верхньої грані плит опорядження (в проектному положенні) у відповідних позиціях випробування.

Значна вага опорядження призвела до того, що усі навантаження у площині перпендикулярній до стіни перевищували дію вітру. Тому, змінне та епізодичне рівномірно розподілене вітрове навантаження (позитивне і негативне), відповідно експлуатаційне, граничне та граничне від зледеніння, з урахуванням дії власної ваги опорядження та зледеніння прикладали вертикально до внутрішньої поверхні плит опорядження.

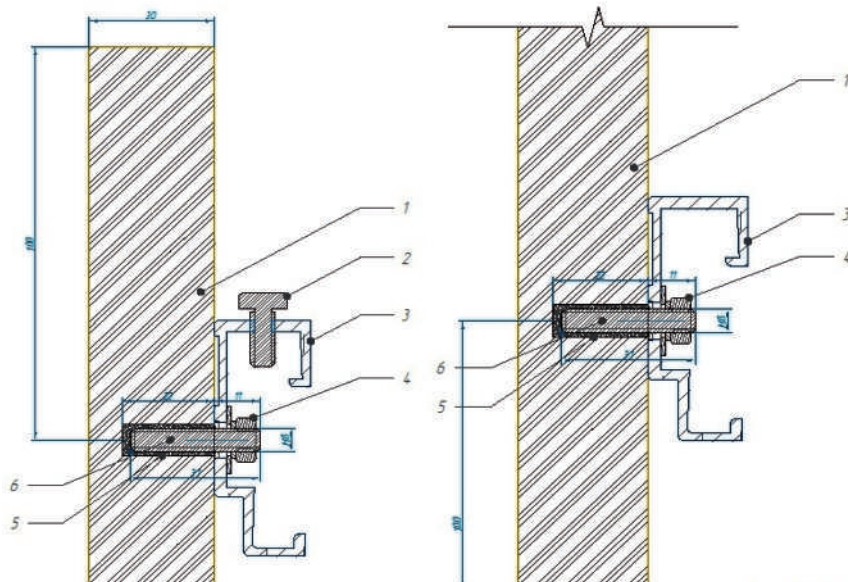


Рисунок 2 – Схема встановлення верхнього (а) і нижнього (б) аграфів на плитах опорядження з натурального каменю. 1 – камінь LigStone товщиною 30 мм; 2 – болт регулювання М6×20; 3 – аграф Hilti; 4 – гайка - шайба - шайба пружна М8 А2; 5 – хімічний анкер Hilti Hit Ну 170; 6 – стрижень М8 А2



Рисунок 3 – Загальний вигляд каркасу зразка із алюмінієвих профілів

Випробування виконувалися такими ступенями (табл. 1):

- Експлуатаційні навантаження: 1.1; 2.1.1; 2.1.2; 2.2.1; 2.2.2; розвантаження до компенсації власної ваги (-6,411 кН).
- Граничні навантаження: 1.2; 2.1.3; 2.1.4; 2.2.3; 2.2.4; розвантаження до компенсації власної ваги (-7,052 кН).
- Граничні навантаження при зледенінні: 3.1; 3.2.1.1; 3.2.1.2; 3.2.2.1; 3.2.2.2; розвантаження до компенсації власної ваги (-10,105 кН); навантаження до руйнування.

ВИМІРЮВАННЯ ДЕФОРМАЦІЙ ЗРАЗКІВ

Для вимірювання деформацій було застосовано прогноміри 6ПАО та індикатори годинникового типу ИЧ-10 з ціною поділки 0,01мм (рис. 5).

Після кожної ступені навантаження виконувався огляд поверхні зразка (каркасу, аграфів та плит) в зоні випробувань з фіксуванням у журналі випробувань результатів вимірювання деформацій, пошкоджень, що з'явилися, та їх фото фіксацію. Деформації (переміщення) вимірювали відносно нерухомої стіни (силової підлоги) після прикладання кожної частки навантаження:

- вертикальні переміщення крайових і середніх точок по площині плит опорядження – 20 точок (табл. 2);
- горизонтальне переміщення крайових точок нижнього торця плит опорядження (у проектному положенні) – 3 точки (табл. 3).

Вигляд зразка на випробувальному стенді з улаштуванням навантажувального обладнання і вимірювальних приладів показано на рис 8, а після руйнування деформуванням правого верхнього аграфа нижньої плити з вертикальним переміщенням горизонтального профілю – на рис. 9.

Руйнування зразка відбулося після прикладення навантаження в площині опорядження величиною 46,6 кН (4750 кгс), характер руйнування зразка – деформування аграфів із вертикальним переміщенням та з розривом з'єднання направляючого аграфного профілю від несучого (див. рис. 9).

АНАЛІЗ РЕЗУЛЬТАТІВ ВИПРОБОВУВАННЯ

За результатами випробувань характеристик природного каменю плити їх середні показники становили: густина 2255 кг/м³; міцність на стиск 77,70 МПа; міцність на осьовий розтяг 5,15 МПа; міцність на згин 12,60 МПа; міцність на зріз 13,14 МПа; модуль пружності при статичному навантаженні 46,2 ГПа (46200000 кН/м²).

При визначеній середній густині каменю і розмірах плити її маса становить 122,5 кг, чотирьох плит зразка 490 кг, з урахуванням обледеніння 702,5 кг. Тобто руйнування зразка відбулося за

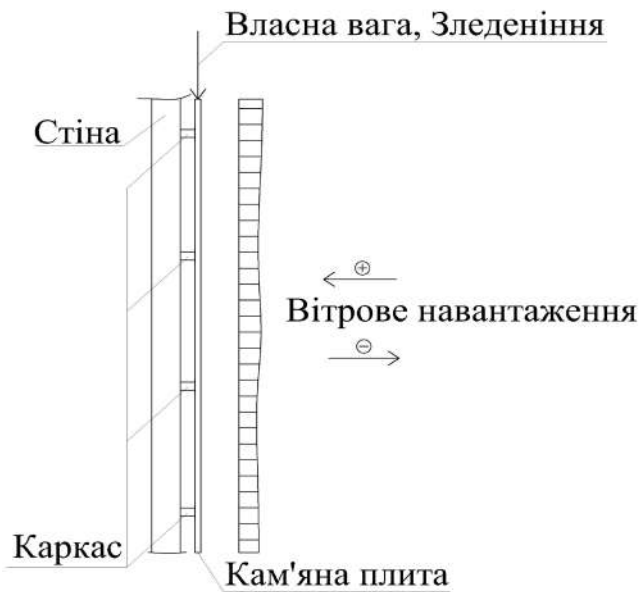


Рисунок 4 – Схема навантаження фасадної системи у проектному положенні та її поворот ліворуч в горизонтальне положення для випробування

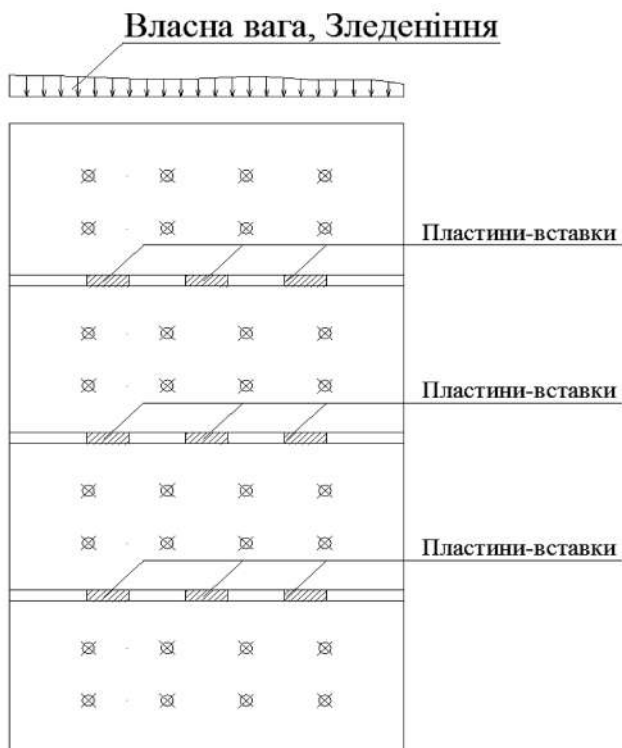


Рисунок 5 – Схема навантаження зразка фрагменту фасадної системи:

- – пластини-вставки призначені для передавання навантаження між плитами опорядження;
- × – місця прикладання вітрового навантаження

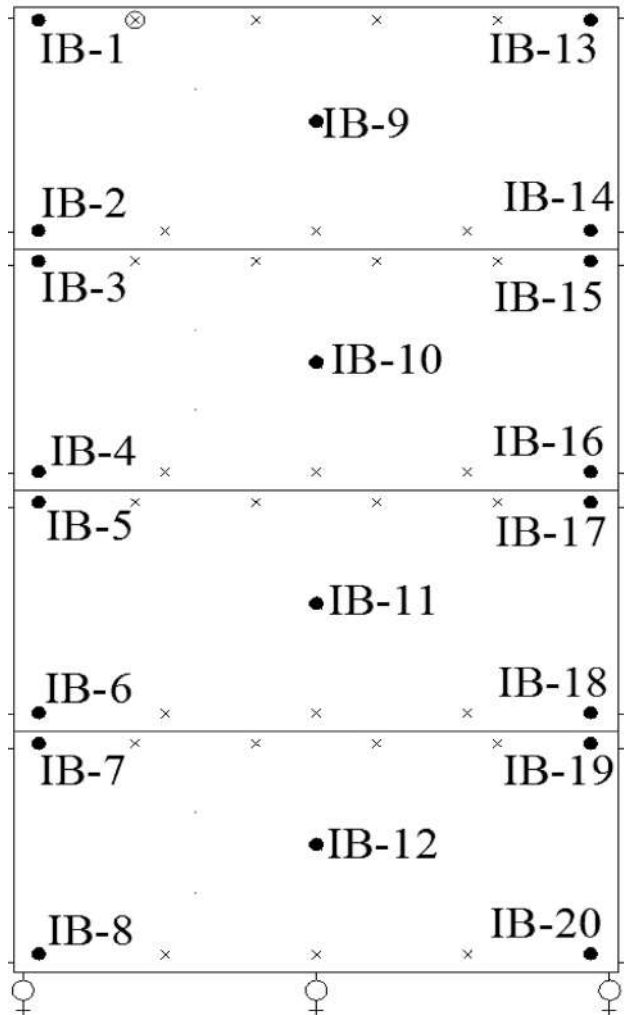


Рисунок 6 – Схема розташування вимірних приладів

- × – аграфі;
- ♀ – переміщення горизонтальні;
- – переміщення вертикальні бовування

дії власної ваги і обледеніння, що перевищила довжину зразка у $4750 / 702,5 = 6,76$ раз, що відповідає висоті стіни $4 \cdot 6,76 = 27$ м.

При найбільшому граничному негативному вітровому навантаженні кутової зони $q = 2,0$ кН/м² в окремій плиті розмірами $2,035 \times 0,890 \times 0,03$ м (b×a×h) максимально можлива деформація прогину становить:

$$f = a q a^4 / E h^3,$$

де $a = 0,11727$, для $b/a = 2,035/0,890 = 2,29$, або

$$f = 0,11727 \cdot 2,0 \cdot 0,894 / 46200000 \cdot 0,033 = 0,000118 \text{ м} = 0,12 \text{ мм}.$$

Хімічні анкери діаметром 8 мм глибиною 22 мм, що утримують плити в аграфіах, в кількості $7 \cdot 4 = 28$ штук витримали навантаження на



Таблиця 1 - Навантаження на фрагмент фасадної системи

| № № | Пози- ція | Вид розрахункового навантаження | За проектм, кН/м ² | На зразок площею 8,013 м ² , кН | |
|--------|--------------|--|-------------------------------------|---|--|
| | | | | у проектному положенні вертикально | під час випробовування горизонтально |
| | 1 | Від власної ваги опорядження – постійне | | | |
| 1 | 1.1 | експлуатаційне | 0,8 | 6,411 | 6,411 |
| 2 | 1.2 | граничне | 0,88 | 7,052 | 7,052 |
| | 2 | Вітрове – тимчасове | | | |
| | 2.1 | Рядова зона | | | |
| 3 | 2.1.1 | експлуатаційне позитивне | 0,168 | 1,346 | 1,346-6,411 = -5,065 |
| 4 | 2.1.2 | експлуатаційне негативне | -0,126 | -1,010 | -1,010-6,411 = -7,421 |
| 5 | 2.1.3 | граничне позитивне | 0,800 | 6,411 | 6,411-7,052 = -0,641 |
| 6 | 2.1.4 | граничне негативне | -0,600 | -4,808 | -4,480-7,052 = -11,532 |
| | 2.2 | Кутова зона | | | |
| 7 | 2.2.1 | експлуатаційне позитивне | 0,168 | 1,346 | 1,346-6,411 = -5,065 |
| 8 | 2.2.2 | експлуатаційне негативне | -0,420 | -3,366 | -3,366-6,411 = -9,777 |
| 9 | 2.2.3 | граничне позитивне | 0,800 | 6,411 | 6,411-7,052 = -0,641 |
| 10 | 2.2.4 | граничне негативне | -2,000 | -16,027 | -16,027-7,052 = -23,079 |
| | 3 | Від двостороннього зледеніння – епізодичне | | | |
| 11 | 3.1 | від ваги зледеніння | 0,381 | 3,053 | 3,053+7,052 = 10,105 |
| | 3.2 | Вітрове при зледенінні | | | |
| | 3.2.1 | Рядова зона | | | |
| 12 | 3.2.1.1 | граничне позитивне | 0,560 | 4,488 | 4,488-7,052 = -2,564 |
| 13 | 3.2.1.2 | граничне негативне | -0,420 | -3,366 | -3,366-7,052 = -10,418 |
| | 3.2.2 | Кутова зона | | | |
| 14 | 3.2.2.1 | граничне позитивне | 0,560 | 4,488 | 4,488-7,052 = -2,564 |
| 15 | 3.2.2.2 | граничне негативне | -1,400 | -11,219 | -11,219-7,052 = -18,271 |

Примітка: При горизонтальному положенні зразка фасадної системи рівномірно розподілені навантаження слід прикладати:

1. Від власної ваги опорядження і зледеніння - горизонтально до верхнього (у проектному положенні) торця по всій довжині плит опорядження, загалом 6,411 кН, 7,052 кН і 10,105 кН;

2. Від вітру вертикально в напрямку від стіни до плит опорядження загалом не менше ніж 23,079 кН.

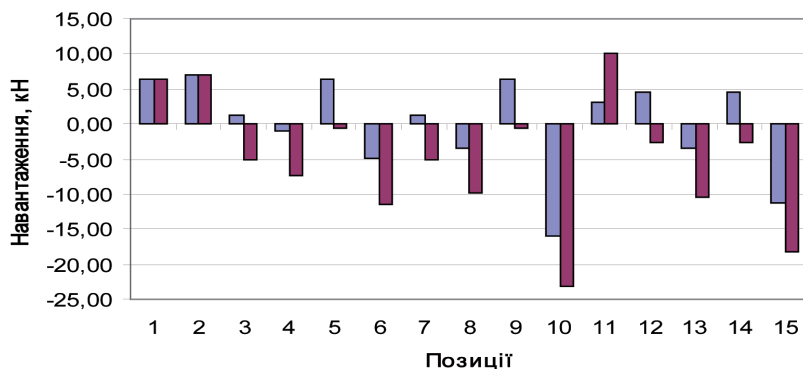


Рисунок 7 – Розрахункові навантаження зразка у вертикальному проектному положенні (1-й стовпчик) та у горизонтальному під час випробувань (2-й стовпчик) за табл. 1



Таблиця 1 - Переміщення у площині перпендикулярній стіні

| Ступінь навантаження | Переміщення, 0,01 мм за приладами ІВ | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|--------------------------------------|------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|------|-----|-----|-----|------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 |
| Від власної ваги опорядження експлуатаційне і граничне | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 1.1 | 78 | -267 | 2 | 12 | 5 | 12 | 15 | -24 | -120 | -143 | -43 | 0 | -81 | -201 | 7 | -78 | -37 | 0 | -97 | -23 |
| 1.2 | 78 | 3 | 2 | 12 | 5 | 12 | 15 | -24 | -140 | 3 | -17 | 0 | -15 | 6 | 8 | 12 | 13 | -1 | 10 | 2 |
| 0.1 | 2 | 207 | -2 | 2 | 4 | 4 | 6 | 73 | 248 | 74 | 60 | 1 | 87 | 6 | 4 | 42 | 14 | -1 | 49 | 171 |
| Вітрове в рядовій зоні експлуатаційне і граничне, позитивне і негативне | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 2.1.1 | 143 | 86 | 50 | 36 | 8 | 5 | 14 | 27 | 94 | 25 | 5 | 7 | 36 | 101 | 27 | 23 | 17 | 8 | 16 | 24 |
| 2.1.2 | 189 | -11 | -5 | -6 | -5 | -10 | 70 | 57 | -25 | 30 | 39 | -8 | -16 | 24 | 32 | -9 | 19 | 61 | -30 | -30 |
| 2.1.3 | 0 | 416 | 169 | 114 | 32 | 3 | 85 | -1 | 507 | 2 | -2 | 0 | 150 | -1 | 4 | 2 | 1 | -1 | 0 | 1 |
| 2.1.4 | 265 | -118 | -86 | -72 | -46 | -40 | -73 | 197 | 5 | 1 | -29 | -41 | -23 | 31 | 52 | -47 | 28 | -19 | -66 | -79 |
| 0.2.1 | 7 | 9 | -80 | -74 | -26 | 0 | -44 | 167 | -22 | 341 | -1 | 4 | -25 | 2 | -33 | -38 | -2 | -1 | 450 | -72 |
| Вітрове в кутовій зоні експлуатаційне і граничне, позитивне і негативне | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 2.2 | -4 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | -1 | -1 | -2 | -1 | -1 | -1 | -1 | 0 | -1 | 1 | 0 | 0 | 2 |
| 2.2.1 | 133 | 82 | 71 | 48 | 39 | 63 | 62 | 15 | 90 | 25 | 40 | 31 | 69 | 33 | 39 | 14 | 22 | 59 | 70 | 168 |
| 2.2.2 | 219 | 132 | 107 | 56 | 44 | 77 | 89 | 109 | 115 | 30 | 47 | 67 | 170 | 52 | 62 | 26 | 30 | 75 | 94 | 232 |
| 2.2.3 | 122 | 77 | 65 | 43 | 29 | 133 | 40 | -10 | 76 | 20 | 32 | 15 | 34 | 29 | 30 | 15 | 19 | 29 | 40 | 131 |
| 2.2.4 | 549 | 251 | 185 | 80 | 64 | 148 | 114 | 522 | 338 | 48 | 78 | 181 | 388 | 34 | 39 | 50 | 59 | 57 | 120 | 284 |
| 0.2.2 | 15 | -4 | -1 | -2 | -1 | -10 | -11 | 20 | 7 | -4 | -1 | 8 | 39 | -4 | -8 | 4 | 3 | -7 | -9 | 15 |
| Від двостороннього зледеніння | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 3.1 | 127 | 6 | -2 | 20 | 19 | 29 | 32 | -27 | 74 | 8 | 28 | -2 | -31 | 4 | 9 | 20 | 21 | -7 | 7 | 156 |
| 0.3 | 1 | -5 | -12 | -3 | 0 | -1 | 1 | -9 | -3 | -1 | -16 | -2 | -6 | 0 | -3 | 0 | 1 | -4 | -4 | 11 |
| Вітрове при зледенінні в рядовій зоні граничне, позитивне і негативне | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 3.2.1.1 | 142 | 73 | 63 | 50 | 42 | 54 | 51 | -23 | 93 | 26 | 61 | 13 | -13 | 26 | 32 | 23 | 24 | 31 | 48 | 171 |
| 3.2.1.2 | 270 | 161 | 133 | 69 | 57 | 100 | 112 | 120 | 144 | 42 | 78 | 81 | 201 | 87 | 80 | 39 | 41 | 95 | 23 | 284 |
| 0.3.2.1 | 3 | 0 | 2 | 1 | 2 | 2 | 3 | 0 | 1 | -1 | 21 | 0 | 0 | 0 | 2 | 2 | 0 | -2 | 0 | -5 |
| Вітрове при зледенінні в кутовій зоні граничне, позитивне і негативне | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 3.2.2.1 | 140 | 74 | 61 | 50 | 42 | 53 | 50 | -20 | 94 | 26 | 40 | 14 | -8 | 28 | 31 | 23 | 24 | 99 | 25 | 289 |
| 3.2.2.2 | 474 | 240 | 187 | 87 | 74 | 145 | 182 | 368 | 217 | 103 | 187 | 168 | 447 | 145 | 120 | 51 | 53 | 146 | 194 | 463 |
| 0.3.2.2 | 20 | 3 | -2 | -2 | 4 | -6 | -5 | 0 | -2 | 2 | -2 | 0 | 3 | -4 | -5 | -3 | -5 | -5 | -6 | 5 |



Рисунок 8 – Зразок фрагменту фасадної системи з улаштуванням навантажувального обладнання і вимірювальних приладів

вирив не менше ніж $23,079 \text{ кН} / 28 = 0,82 \text{ кН}$, що становило набагато менше, за міцність каменю, на осьовий розтяг: $820 / (3,14 \cdot 42 \cdot 22) = 0,742 \text{ МПа} < 5,15 \text{ МПа}$.

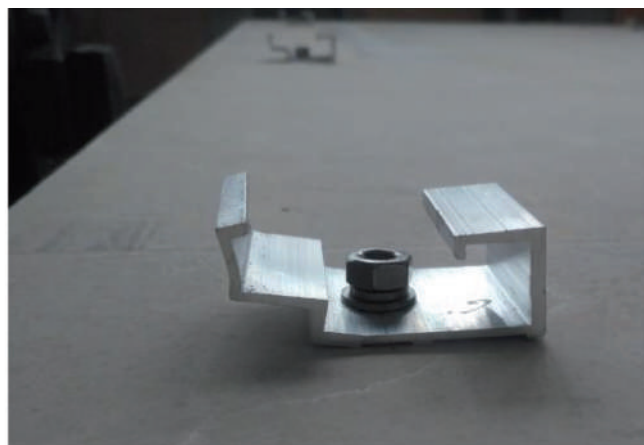
На зріз анкери витримали не менше ніж $46,6 \text{ кН} / 28 = 1,664 \text{ кН}$. Навантаження матеріалу плит на зріз анкерами становила незначну величину, щодо міцності каменю на зріз: $(46,6 / 28) / (8 \cdot 22) = 0,009 \text{ МПа} \ll 13,14 \text{ МПа}$. Але цих $1,664 \text{ кН}$ ($169,6 \text{ кгс}$) виявилось достатнім для вигину нижнього правого аграфу третьої плити зверху.

При аналізі результатів випробувань слід враховувати:

- що конструктивна система (стіна – поздовжні –



а)



б)

Рисунок 9 – Зразок фрагменту фасадної системи після руйнування деформуванням правого верхнього аграфа нижньої плити (б) з вертикальним переміщенням горизонтального профілю (а)

Таблиця 3 - Переміщення у площині плит опорядження

| Ступінь навантаження | Переміщення, 0,01 мм за приладами ІГ | | | | | |
|---|--------------------------------------|----|-----|---------------|-----|-----|
| | повні | | | від дії вітру | | |
| | 9 | 10 | 11 | 9 | 10 | 11 |
| Від власної ваги опорядження експлуатаційне і граничне | | | | | | |
| 1.1 | 35 | 21 | 6 | - | - | - |
| 1.2 | 8 | 31 | 6 | - | - | - |
| 0.1 | 8 | 5 | 2 | - | - | - |
| Вітрове в рядовій зоні експлуатаційне і граничне, позитивне і негативне | | | | | | |
| 2.1.1 | 37 | 15 | -6 | 1 | -6 | -12 |
| 2.1.2 | 37 | 14 | -10 | 3 | -7 | -16 |
| 2.1.3 | 37 | 12 | -13 | 3 | -9 | -19 |
| 2.1.4 | 6 | 10 | -20 | 3 | -11 | -26 |
| 0.2.1 | 6 | -1 | -6 | -28 | -22 | -12 |
| Вітрове в кутовій зоні експлуатаційне і граничне, позитивне і негативне | | | | | | |
| 2.2 | 29 | 1 | 0 | -35 | -30 | -6 |
| 2.2.1 | 30 | 12 | 0 | -6 | -19 | -6 |
| 2.2.2 | 33 | 14 | -10 | -5 | -17 | -16 |
| 2.2.3 | 38 | 18 | 3 | -2 | -13 | -3 |
| 2.2.4 | 9 | 21 | -12 | 3 | -10 | -18 |
| 0.2.2 | 9 | 9 | 6 | -26 | -22 | 0 |
| Від двостороннього зледеніння | | | | | | |
| 3.1 | 22 | 45 | 8 | - | - | - |
| 0.3 | 22 | 15 | 4 | - | - | - |
| Вітрове при зледенінні в рядовій зоні граничне, позитивне і негативне | | | | | | |
| 3.2.1.1 | 62 | 33 | 8 | -19 | -12 | 0 |
| 3.2.1.2 | 4 | 35 | 9 | -20 | -10 | 1 |
| 0.3.2.1 | 4 | 2 | 2 | -78 | -78 | -6 |
| Вітрове при зледенінні в кутовій зоні граничне, позитивне і негативне | | | | | | |
| 3.2.2.1 | 73 | 31 | 5 | -24 | -24 | -3 |
| 3.2.2.2 | 18 | 55 | 33 | -9 | -9 | 25 |

поперечні профілі каркасу – аграфи – плити опорядження) не є жорсткою і при накопиченні взаємних деформацій може перетворюватися на механізм;

- випробування навантаженням виконувалися на одному і тому ж зразку, тому нелінійні деформації (існування яких підтверджується наявністю залишкових переміщень на кожному ступені навантажень) з часом накопичувалися;
- кожна плита природного каменю повинна зберігати площинність при дії вітрових навантажень з точністю, яка не перевищує 0,12 мм на середині ширини;
- в площині плит їх власні деформації розглядати не має сенсу, але слід мати на увазі, що досліджувався найгірший випадок – лід заповнює проміжки між плитами шириною 6 мм;
- система з регулюванням положення плит опорядження болтами верхніх аграфів наврядчи може забезпечити рівномірність розподілу навантажень на несучий каркас. Розглянемо дію вітрового



навантаження під час випробувань в комплексі з дією власної ваги та обledenіння плит (дивись табл. 2).

Переміщення у площині перпендикулярній стіні за приладами ІВ по довжині (за проектом – по висоті) зразка, а саме його лівої, середньої, правої ділянок та середні значення по чотирьом плитам зверху вниз показані на графіках (рис. 10). Виявилось, що найбільші переміщення припадають на крайні по висоті ділянки опорядження. Якщо середні переміщення не перевищували 2 мм, то на крайніх ділянках вони доходили до 5,5 мм.

Залежність переміщень у площині перпендикулярній стіні від комплексних навантажень незалежно від ступенів наведена на рис. 11. Не упорядкованість такої залежності свідчить про зміни в елементах зразка під час випробувань навантаженням, які потім призвели його до руйнування.

Характер таких переміщень від найбільшого вітрового граничного негативного навантаження у кутовій зоні $-2,0 \text{ кН/м}^2$ (ступінь 2.2.4) по площі плит зображених на рис. 12 підтверджує попередній висновок, але також пояснює виявлені закономірності залежностей різниці в переміщеннях між серединою і краями плит (рис. 13), яка збільшується зверху вниз, та наявності сходинок між сусідніми плитами (рис. 14), величина яких коливалася в межах $\pm 0,6 \text{ мм}$, а в середньому від $-0,18 \text{ мм}$ до $0,30 \text{ мм}$.

Переміщення опорядження у площині перпендикулярній стіні від дії навантажень у площині плит (власної ваги експлуатаційні, граничні, після відновлення та граничні від двостороннього зледеніння і їх відновлення) показані на рис. 15. В основному величина цих переміщень незначна і, скоріше за все, пов'язана з ексцентриситетом точок спирання плит (аграфів). Виняток становить перша ступінь навантажень (1.1) та розвантаження (0.1), за яких проходив «притир» елементів системи, що наближав її до жорсткої. Дійсно, найбільші навантаження зледеніння (3.1) були вже значно

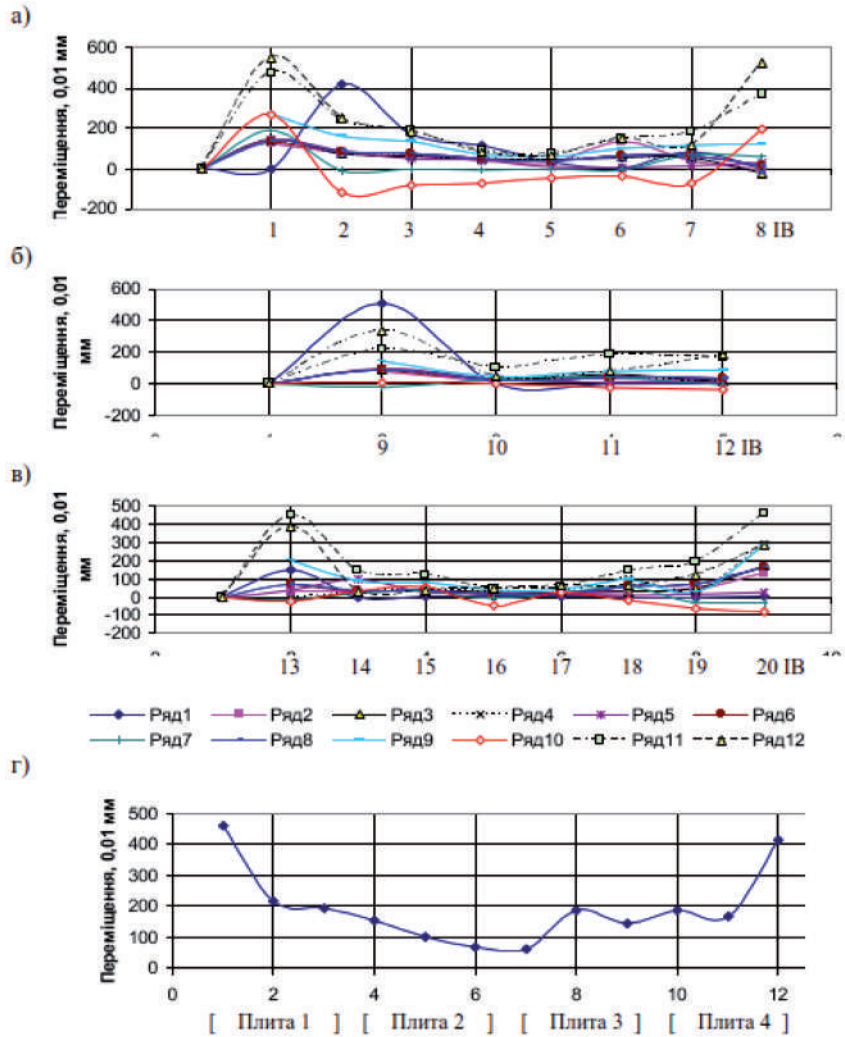


Рисунок 10 – Переміщення у площині перпендикулярній стіні за приладами ІВ по довжині зразка, сторони зразка: а – ліва, L; б – середня, M; в – права, R; г – середні значення по плитам (L-M-R)

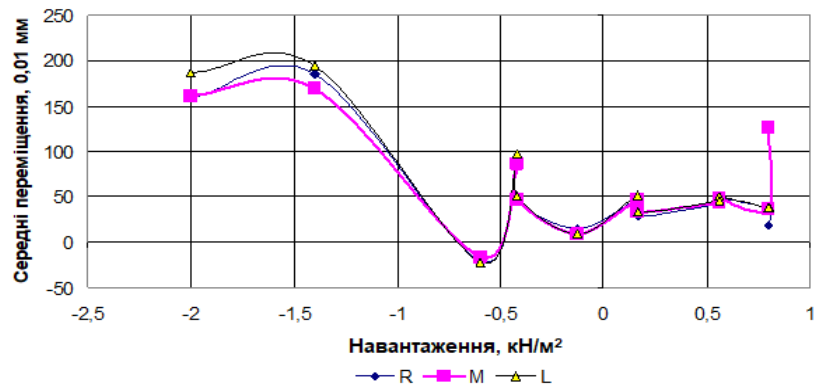


Рисунок 11 – Залежність переміщень опорядження в площині перпендикулярній стіні від комплексу навантажень



меншими, а після розвантаження наблизилися до нуля.

Розглянемо дію власної ваги та обledenіння плит в площині опорядження. В таблиці 3 представлено дані переміщень плит - повні та, окремо, від вітрових навантажень (тобто з виключенням переміщень від власної ваги та обledenіння). Повні переміщення нижньої грані опорядження у своїй площині по ширині зразка на ступенях 2.1, 2.2, 3.2.1 і 3.2.2 за приладами ПГ представлені на рис. 16: значення негативних переміщень (зверху вниз) не перевищували -0,4 мм, але на кінцевих ступенях випробувань переміщення знаходилися в межах -0,8 мм і +0,2 мм, що в подальшому призвело до руйнування з'єднання несучого і аграфного профілів каркасу та самого аграфу (див. рис. 9).

Залежність переміщень нижньої грані опорядження в своїй площині від комплексу навантажень та окремо від вітру (за виключення дії власної ваги та зледеніння) наведена на рис. 17. В цьому напрямку повні навантаження передавалися від однієї жорсткої плити через прокладки до наступної і вплив не жорсткого каркасу майже не відчувався до останніх ступенів, коли почало проявлятися накопичення деформацій всієї системи.

Окремий інтерес становить інтерпретація форми графіка на рис. 17,б: зі зміною навантаження перпендикулярного площині зразка поздовжні деформації в його площині коливалися рівномірно, але бокові ділянки були в протифазі, а коливання середини плити мали місце лише в межах від 0,7 кН/м² до -0,5 кН/м².

ВИСНОВКИ

Зразок фрагменту фасадної системи утворено каркасом алюмінієвих профілів із чотирьох несучих вертикальних профілів, які за допомогою кронштейнів закріплені на стіні хімічними анкерами, та вісьмома направляючими (аграфними) горизонтальними профілями. Між собою та з кронштейнами профілі поєднані клепою. На направляючих (аграфних) профілях за допомогою аграфів, що закріплені на плиті хімічними анкерами, (чотирьох верхніх і трьох

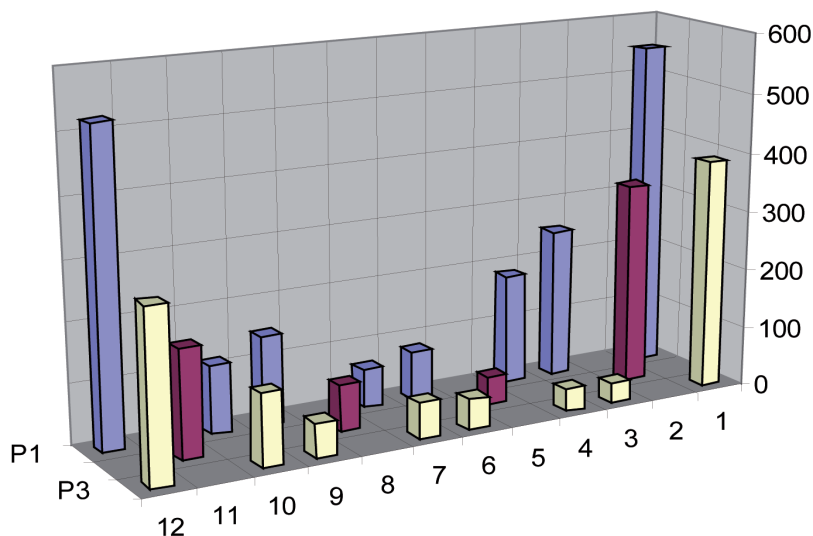


Рисунок 12 – Переміщення опорядження в площині перпендикулярній стіні від найбільшого вітрового граничного негативного навантаження у кутовій зоні -2,0 кН/м² (ступінь 2.2.4) по площі плит

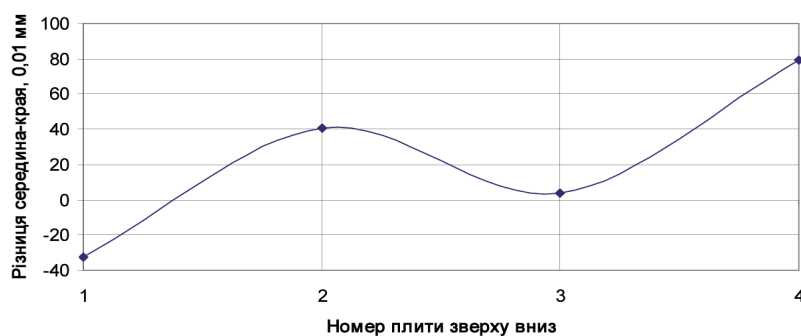


Рисунок 13 – Різниця в переміщеннях між серединою і краями плит опорядження за умовами рис. 12

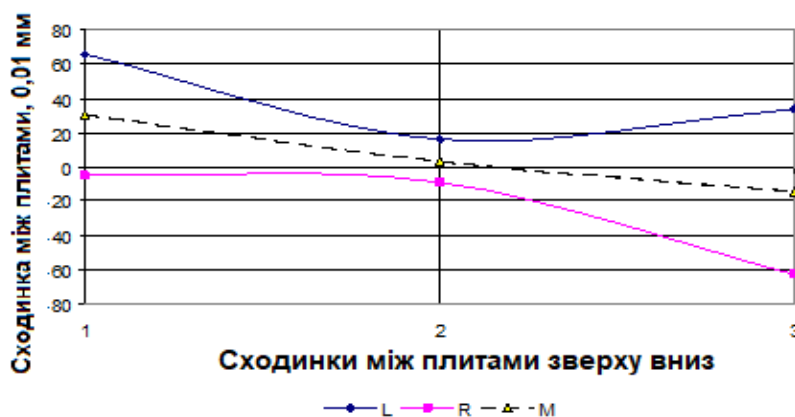


Рисунок 14 – Величина сходинок між сусідніми плитами за умовами рис. 12: 1 – №1-№2, 2 – №2-№3, 3 – №3-№4; L – лівий край плит (P1 на рис. 12), R – правий край плит (P3), M – середні значення по плиті

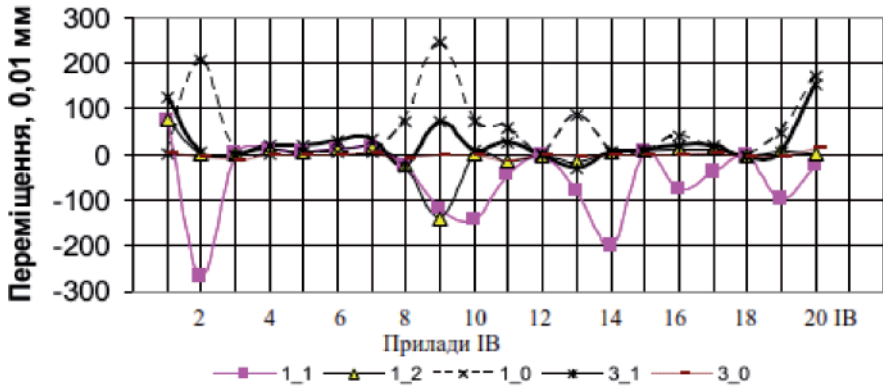


Рисунок 15 – Переміщення опорядження у площині перпендикулярній стіні від власної ваги експлуатаційні (1.1), граничні ((1.2), після відновлення (1.0) та граничні від двостороннього зледеніння (3.1) і їх відновлення (3.0)



Рисунок 16 – Переміщення нижньої грані опорядження у своїй площині за приладами ІГ по ширині зразка

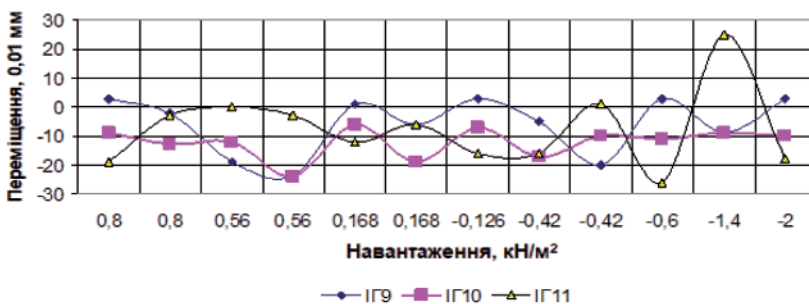
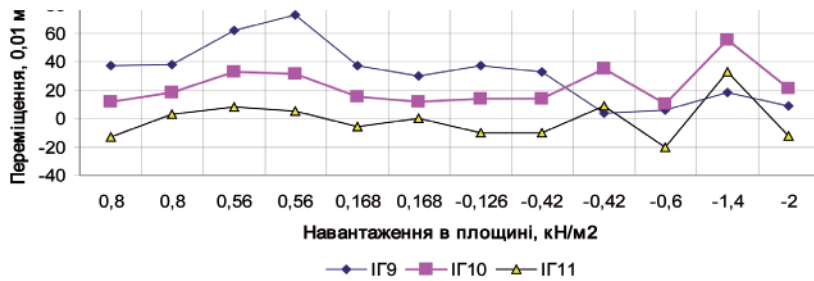


Рисунок 17 – Залежність переміщень нижньої грані опорядження в своїй площині від комплексу навантажень (а) та окремо від вітру (б)

нижніх), навішені чотири облицювальні плити із природного каменю. Розміри плит із природного каменю становлять 2035×890×30 мм. Розміри зразка – 4076×1966 мм.

Визначено фізико-механічні характеристики природного каменю плити опорядження. Його середні міцності становлять: на стиск – 77,70 МПа; на розтяг – 5,15 МПа; на згин – 12,60 МПа; на зріз – 13,14 МПа. Середній модуль пружності при статичному навантаженні – 46200 МПа. Середня густина каменю 2255 кг/м³, маса плити 122,5 кг.

Руйнування зразка відбулося після прикладення навантаження в площині плит опорядження величиною 46,6 кН, що відповідає висоті будівлі 27 м.

Характер руйнування зразка – деформування аграфів із вертикальним переміщенням та розривом з'єднання напрямляючого аграфного профілю з несучим.

Хімічні анкери плит опорядження витримали на вирив без пошкодження від вітрового від'ємного навантаження 0,652 кН та на зріз від вертикального навантаження 1,664 кН.

Випробуваннями зразка фрагменту фасадної системи встановлено, що система витримала всі передбачені види навантажень експлуатаційних і граничних від власної ваги, двостороннього зледеніння облицювання, вітрового навантаження позитивного і негативного на рядових і кутових ділянках.

Під час проектування, монтажу та експлуатації розглянутої фасадної системи слід врахувати її вразливості: масивність опорядження, надійність з'єднань несучих і аграфних профілів каркасу та самих аграфів, можливість конструктивного забезпечення від зледеніння горизонтальних проміжків між плитами на рівні поверхів.



БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Вентилируемые фасады Hilti. Каталог продукции. - Hilti VFH Catalogue 2018.pdf URL: <https://www.hilti.ua/content/hilti/EE/UA/uk/engineering/facade-systems/vfh-system-types/stab-to-stab.html>
2. ДБН В.1.2-2:2006. Навантаження і впливи. Норми проектування. [Чинні від 2007-01-01]. К.: Мінбуд України, Державне підприємство «Укрархбудінформ», 2006. 75 с. (Державні будівельні норми).
3. ДБН В.1.2-14-2018. Загальні принципи забезпечення надійності та конструктивної безпеки будівель, споруд, будівельних конструкцій та основ. [Чинні від 2019-01-01]. К.: Мінрегіон України, Державне підприємство «Укрархбудінформ», 2018. 36 с. (Державні будівельні норми).
4. ДСТУ Б 1.2-3:2006. Прогини і переміщення. Вимоги проектування. [Чинний з 2007-01-01]. К.: Мінбуд України, 2006. 15 с. (Національний стандарт України).
5. ДСТУ Б В.2.6-10-96. Конструкції сталеві будівельні. Методи випробування навантаженням. [Чинний з 1997-07-01]. К.: Державний комітет України у справах містобудування і архітектури, 1997. 21 с. (Національний стандарт України).
6. ДСТУ Б В.2.6-35:2008. Конструкції зовнішніх стін із фасадною теплоізоляцією та опорядженням індустриальними елементами з вентиляваним повітряним прошарком. Загальні технічні умови. [Чинний з 2009-06-01]. К.: Мінрегіонбуд України, 2009. 29 с. (Національний стандарт України).
7. ДСТУ Б В.2.7-161:2008. Плити декоративні на основі природного каменю. Технічні умови. [Чинний з 2009-07-01]. К.: Мінрегіонбуд України, 2009. 24 с. (Національний стандарт України).
8. ДСТУ EN 1469:2007. Вироби з природного каменю. Облицювальні плити. Вимоги (EN 1469:2004, IDT). [Чинний з 2008-10-01]. К.: Міністерство регіонального розвитку та будівництва України, 2008. 45 с. (Національний стандарт України).
9. ДСТУ Б В.2.7-229:2010. Методи випробування природного каменю. Визначення міцності при стиску (EN 1926:2006, MOD). [Чинний з 2011-01-01]. К.: Мінрегіонбуд України, 2011. 29 с. (Національний стандарт України).
10. ДСТУ Б EN 12372:2011. Методи випробування природного каменю. Визначення границі міцності при згині під концентрованим навантаженням (EN 12372:2006, IDT). [Чинний з 2013-01-01]. К.: Мінрегіон України, 2012. 26 с. (Національний стандарт України).
11. ДСТУ Б В.2.7-231:2010. Методи випробування природного каменю. Визначення дійсної густини, об'ємної щільності, загальної та відкритої

пористості (EN 1936:2006, MOD). [Чинний з 2011-01-01]. К.: Мінрегіонбуд України, 2010. 14 с. (Національний стандарт України).

12. ДСТУ-Н Б В.1.3-1:2009. Виконання вимірювань, розрахунок та контроль точності геометричних параметрів. Настанова. [Чинний з 2010-10-01]. К.: Міністерство регіонального розвитку та будівництва України, 2010. 128 с. (Національний стандарт України).

REFERENCE

1. Hilti ventilated facades. Hilti VFH Catalogue 2018. pdf. (2018). Retrieved from <https://www.hilti.ua/content/hilti/EE/UA/uk/engineering/facade-systems/vfh-system-types/stab-to-stab.html>
2. Loads and actions. Design regulations: DBN V.1.2-2:2006 (2007).
3. General principles for reliability and constructive safety ensuring of buildings, facilities, civil engineering works and bases: DBN V.1.2-14-2018. (2019).
4. Deflections and displacements. Design rules: DSTU B 1.2-3:2006. (2007).
5. Steel civil structures. Methods of load tests: DSTU B V.2.6-10-96 (1997).
6. Structures of outward walls with façade heat-insulation and finishing industrial lagging with ventilated air layer. General technical specifications: DSTU B V.2.6-35:2008 (2009).
7. Decorative facing slabs of crashed natural stone. Specifications: DSTU B V.2.7-161:2008 (2009).
8. Natural stone products. Slabs for cladding. Requirements: DSTU EN 1469:2007 (EN 1469:2004, IDT). (2008).
9. Construction Materials. Natural stone test methods. Determination of compression strength: DSTU B V.2.7-229:2010 (EN 1926:2006, MOD). (2010).
10. Natural stone test methods. Determination of flexural strength under concentrated load. DSTU B EN 12372:2011 (EN 12372:2006, IDT). (2013).
11. Natural stone test methods. Determination of real density and apparent density, and of total and open porosity: DSTU B V.2.7-231:2010 (EN 1936:2006, MOD). (2011).
12. System for ensuring the geometrical parameters accuracy in construction. Implementation of measurements, calculation and control of exactness of geometrical parameters. Instruction: DSTU-N B V.1.3-1:2009 (2010).

Стаття надійшла до редакції 09.07.2020 рок