МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ІНЖЕНЕРНИЙ НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ
ІМ. Ю.М. ПОТЕБНІ
ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Кафедра промислового та цивільного будівництва

Кваліфікаційна робота
другий (магістерський)

на тему**: «Технологія влаштування вентильованої покрівлі з уніфікованих швидкозбірних елементів»**

Виконав: студент 2 курсу, групи 8.1923-пцб-дн
спеціальності 192 «Будівництво та цивільна інженерія»
освітньої програми «Промислове і цивільне будівництво»
Самченко Р.В.
Керівник доц., к.т.н. Полтавець М.О.
Рецензент к.т.н. Шокарєв Є.О.

Запоріжжя
2024 рік

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ІНЖЕНЕРНИЙ НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ
ІМ. Ю.М. ПОТЕБНІ
ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Кафедра Промислового та цивільного будівництва
Рівень вищої освіти другий магістерський рівень
Спеціальність 192 «Будівництво та цивільна інженерія»
(шифр та назва)
Освітньо-професійна програма «Промислове і цивільне будівництво»
(шифр та назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри ПЦБ
проф. Арутюнян І.А.
«02» 09 2024 року

З А В Д А Н Н Я
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ

Самченко Роман Васильович
(прізвище, ім'я, по батькові)

1 Тема роботи (проекту) Технологія влаштування вентильованої покрівлі з уніфікованих швидкозбірних елементів
Керівник роботи Полтавець Марина Олександрівна, к.т.н.,
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)
затверджені наказом ЗНУ від «30» вересня 2024 року №1486-с
2 Строк подання студентом роботи 31.01.2025 р.
3 Вихідні дані до роботи *Актуальність обраного напрямку досліджень, значимість у сучасному житті, можливості розвинення проблематики, перспективи впровадження майбутніх досягнень, мета роботи, завдання до виконання обраних досліджень, об'єкт досліджень, предмет досліджень*
4 Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) *провести порівняльний огляд існуючих технологій влаштування та реконструкції металевих покрівель; теоретично обгрунтувати вибір матеріалу утеплювача; удосконалити технологію влаштування та реконструкції вентильованої фальцевої покрівлі.*
5 Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень) *Від восьми графічних аркушів із результатами аналітичних обгрунтувань наукового напряму досліджень, результатами*

експериментальних досліджень, доказами оптимальності запропонованих методик, результатами чисельних розрахунків із застосуванням сучасних інформаційних методів досліджень

6 Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Розділ 1	Полтавець М.О., доц.		
Розділ 2	Полтавець М.О., доц.		
Розділ 3	Полтавець М.О., доц.		

7 Дата видачі завдання 04.03.2024 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Розділ 1 Аналітичний огляд існуючих технологій влаштування фальцевих покрівель	27 листопада	
2	Розділ 2 Дослідження вибору раціональних матеріалів для утеплювача	25 грудня	
3	Розділ 3 Виробничі дослідження технології влаштування і реконструкції вентилованої фальцевої покрівлі з уніфікованих швидкозбірних елементів	27 січня	

Студент _____ Р.В. Самченко
(підпис) *(ініціали та прізвище)*

Керівник роботи _____ М.О. Полтавець
(підпис) *(ініціали та прізвище)*

Нормоконтроль пройдено _____ Н.О. Данкевич
(підпис) *(ініціали та прізвище)*

АНОТАЦІЯ

Самченко Р.В. Технологія влаштування вентильованої покрівлі з уніфікованих швидкозбірних елементів.

Кваліфікаційна випускна робота для здобуття ступеня вищої освіти магістра за спеціальністю 192 – Будівництво та цивільна інженерія, науковий керівник М.О. Полтавець. Запорізький національний університет. Інженерний навчально-науковий інститут імені Ю.М. Потебні, кафедра промислового та цивільного будівництва, 2024.

Проведено порівняльний аналітичний огляд існуючих технологій влаштування та реконструкції металевих покрівель, використовуваних матеріалів утеплювача, способів кріплення покрівлі зі кроквами та утеплювачем, визначено основні технологічні параметри процесу влаштування покрівлі. Теоретично обґрунтовано вибір матеріалу утеплювача, що відповідає необхідним вимогам теплопередачі, міцності та економічної доцільності. удосконалено технологію влаштування та реконструкції вентильованої фальцевої покрівлі з уніфікованих швидкозбірних елементів.

Ключові слова: вентильована покрівля, швидкозбірні конструкції, уніфіковані елементи, будівельні технології, енергоефективність, теплоізоляція, монтаж покрівлі.

Список публікацій магістранта:

Самченко Р.В., Полтавець М.О. Технологія влаштування вентильованої покрівлі з уніфікованих швидкозбірних елементів. Матеріали IX Міжнародної науково-практичної конференції «Perspectives of contemporary science: theory and practice» (14-16 листопада 2024 р., м. Львів). Львів: Національний університет «Львівська політехніка», 2024. С. 545-547.

ABSTRAKT

Samchenko R.V. Technology of installing a ventilated roof from unified prefabricated elements.

Qualification final work for obtaining a higher education degree of master in specialty 192 - Construction and civil engineering, scientific supervisor M.O. Poltavets. Zaporizhzhia National University. Engineering Educational and Scientific Institute named after Yu.M. Potebnia, Department of Industrial and Civil Engineering, 2024.

A comparative analytical review of existing technologies for installing and reconstructing metal roofs, used insulation materials, methods of fastening the roof with rafters and insulation was conducted, the main technological parameters of the roof installation process were determined. The choice of insulation material that meets the necessary requirements for heat transfer, strength and economic feasibility is theoretically justified. The technology of installing and reconstructing a ventilated hipped roof from unified prefabricated elements is improved.

Keywords: ventilated roof, prefabricated structures, unified elements, construction technologies, energy efficiency, thermal insulation, roof installation.

List of publications of the master's student:

Samchenko R.V., Poltavets M.O. Technology of installing a ventilated roof from unified prefabricated elements. Materials of the IX International Scientific and Practical Conference "Perspectives of contemporary science: theory and practice" (November 14-16, 2024, Lviv). Lviv: National University "Lviv Polytechnic", 2024. P. 545-547.

ЗМІСТ:

ВСТУП 8

1 АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД ІСНУЮЧИХ ТЕХНОЛОГІЙ ВЛАШТУВАННЯ ФАЛЬЦЕВИХ ПОКРІВЕЛЬ 11

1.1 Особливості технологій влаштування фальцевих покрівель, що вентилюються 11
1.2 Огляд утеплювачів даху та їх порівняння 18
1.3 Аналіз способів кріплення покрівельної системи, що застосовуються у технології пристрою фальцевих покрівель 27

2 ДОСЛІДЖЕННЯ ВИБОРУ РАЦІОНАЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ ДЛЯ УТЕПЛЮВАЧА 31

2.1 Експериментальні дослідження обґрунтування вибору матеріалу утеплювача 31
2.2 Експериментальні випробування пінополіуретанової панелі на міцність 41
2.3 Удосконалення «термопанелі» як основного несучого елемента швидкозбірної покрівлі з просторовим каркасом із фанери 48
2.4 Експериментальні дослідження несучої здатності «термопанелі» у напружено-деформованому стані та висновок про залежність наростання переміщення фанерного каркасу від навантаження при спільній роботі пінополіуретану та фанерного каркасу 51
2.5 Розробка конструкції «термопанелі» як основного несучого елемента з каркасом із базальтового волокна 67

3 ВИРОБНИЧІ ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ВЛАШТУВАННЯ І РЕКОНСТРУКЦІЇ ВЕНТИЛОВАНОЇ ФАЛЬЦЕВОЇ ПОКРІВЛІ З УНІФІКОВАНИХ ШВИДКОЗБІРНИХ ЕЛЕМЕНТІВ 72

3.1 Виробнича перевірка пропонованої технології пристрою вентильованої фальцевої покрівлі в умовах будмайданчика 72

3.2 Пооперaційний хронометраж технологічних процесів влаштування вентильованої покрівлі з уніфікованих швидкозбірних елементів 82

3.3 Розробка технологічної карти та технологічного регламенту на влаштування вентильованої фальцевої покрівлі 85

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ 91

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ 92

ВСТУП

Актуальність теми. Металеві покрівлі широко використовуються в Україні та багатьох інших країнах, оскільки вони забезпечують надійний захист будівель від атмосферних впливів. Однак технології їх улаштування залишаються незмінними протягом десятиліть, що призводить до високих трудових і фінансових витрат, низької продуктивності робіт та недостатньої енергоефективності. Значна частина тепловтрат будівель – до 40 % – припадає саме на покрівлю, що робить її однією з найвразливіших конструктивних частин будівлі.

Для забезпечення нормальної експлуатації покрівель періодично необхідно проводити їх ремонт або повну реконструкцію. Однак ці роботи мають низку ускладнень: вони виконуються на висоті, можуть проводитися в будь-яку пору року, а їхня якість не завжди можна оцінити одразу, оскільки значна частина покрівельних робіт є прихованими. У результаті неякісне виконання може проявитися лише в процесі експлуатації, спричиняючи додаткові витрати на усунення дефектів.

Сучасні методи улаштування та ремонту металевих покрівель часто не дозволяють досягти необхідного рівня якості за умов експлуатації будівлі. Вони вимагають значних фінансових вкладень, великих затрат праці та часу. Зокрема, традиційні способи кріплення і герметизації стиків не завжди забезпечують достатню довговічність та герметичність покрівлі, що призводить до швидкого зносу матеріалів і необхідності частих ремонтів.

Актуальність теми дослідження визначається необхідністю розробки ефективної, економічно обґрунтованої технології улаштування та реконструкції вентильованої фальцевої покрівлі. Використання уніфікованих швидкозбірних елементів та інноваційних способів кріплення дозволить значно оптимізувати процес монтажу, скоротити трудозатрати, зменшити фінансові витрати та підвищити якість виконуваних робіт.

Крім того, важливим аспектом дослідження є впровадження сучасних теплоізоляційних матеріалів, які сприятимуть зменшенню тепловтрат через покрівлю, підвищенню енергетичної ефективності будівель та покращенню їх експлуатаційних характеристик. Таким чином, реалізація запропонованих рішень дозволить не лише підвищити довговічність покрівельних систем, а й зробити їх більш економічними та екологічно ефективними в умовах сучасного будівництва.

Метою **магістерської роботи** є удосконалення ефективної технології пристрою та реконструкції вентильованої фальцевої покрівлі з уніфікованих швидкозбірних елементів, експериментально-теоретичне обґрунтування технологічних параметрів процесу влаштування покрівлі з урахуванням використання ефективного матеріалу утеплювача та його кріплення з покрівельною системою.

Для досягнення даної мети були додатково поставлені і вирішені наступні **завдання**:

- проведено порівняльний аналітичний огляд існуючих технологій влаштування та реконструкції металевих покрівель, використовуваних матеріалів утеплювача, способів кріплення покрівлі зі кроквами та утеплювачем, визначено основні технологічні параметри процесу влаштування покрівлі;
- теоретично обґрунтовано вибір матеріалу утеплювача, що відповідає необхідним вимогам теплопередачі, міцності та економічної доцільності;
- удосконалено технологію влаштування та реконструкції вентильованої фальцевої покрівлі з уніфікованих швидкозбірних елементів, проведено хронометраж технологічного процесу монтажу термопанелей у реальних умовах будівельного майданчика з оцінкою техніко- ¬економічних показників її практичного використання;

Об’єктом дослідження є будівельний технологічний процес влаштування металевої скатної покрівлі.

Предметом дослідження є технологічні параметри процесу влаштування покрівлі.

Методи дослідження полягають в аналізі існуючих технологій та практичного досвіду влаштування та реконструкції фальцевої покрівлі; у натурних та експериментальних дослідженнях параметрів технологічного процесу; методи кореляційно-регресивного аналізу; методи оцінки ефективності будівельних технологій.

Наукова новизна дослідження полягає у тому, що:

- розроблено та досліджено нову технологію пристрою та реконструкції вентильованої фальцевої покрівлі з уніфікованих швидкозбірних елементів, в якій кріплення покрівлі зі кроквами здійснюється за допомогою дюбельної системи, що має суттєві переваги порівняно з існуючими технологіями.

Апробація роботи. Основні положення роботи опубліковані на IX Міжнародній науково-практичній конференції «Perspectives of contemporary science: theory and practice» у секції «Технічні науки» (2024, м. Львів).

Структура роботи. Структурно робота складається з вступу, трьох розділів, висновків. Загальний обсяг 93 сторінки. Включає 62 рисунка, 12 таблиць, список використаних джерел з 19 пунктів.

1 АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД ІСНУЮЧИХ ТЕХНОЛОГІЙ ВЛАШТУВАННЯ ФАЛЬЦЕВИХ ПОКРІВЕЛЬ

1.1 Особливості технологій влаштування фальцевих покрівель, що вентилюються

Покрівля є верхнім шаром покриття будівлі, який захищає її від атмосферних опадів. Дах включає покрівельний матеріал, основу під нього, теплоізоляцію, гідроізоляційний шар, пароізоляцію та несучу конструкцію. Метали, такі як мідь, свинець, залізо, олово, нікель і цинк, використовуються для виготовлення покрівельного покриття протягом століть. Завдяки своїй пластичності метал дозволяє створювати легкі та довговічні покрівлі будь-якої форми, що підходять для житлових, промислових та громадських будівель. Це досягається завдяки використанню сучасних інструментів та покрівельних машин.

Довговічність металевих покрівель, їх ремонт та експлуатаційні витрати значною мірою залежать від якості встановлення та вибору покрівельних матеріалів. Усі елементи покрівлі, включаючи кріплення, повинні функціонувати як єдина система. Металеві покрівлі, відомі як фальцеві, отримали свою назву завдяки фальцевому шву – міцному з'єднанню листів металу, яке забезпечується щільно притиснутими кромками. Вертикальні з'єднання виконуються стоячими фальцями, а горизонтальні – лежачими, які можуть бути одинарними або подвійними (рис.1.1).

Сучасні фальцеві покрівлі створюються здебільшого за допомогою згинальних верстатів або механізованих профілюючих машин із використанням подвійного стоячого фальця. Кріплення здійснюється за допомогою клямерів. Удосконалення покрівельного обладнання дало змогу розробити нову «рулонну» технологію, що значно спростила процес монтажу. Головною перевагою цієї

технології є можливість накривати покрівлю цільною смугою від верхнього краю до нижнього, уникаючи горизонтальних фальців, які найчастіше спричиняють протікання.

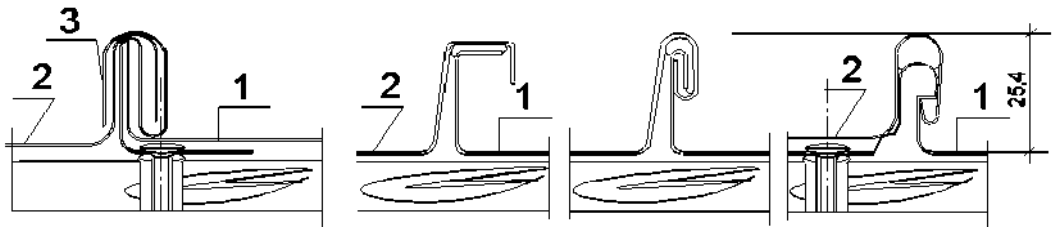


Рисунок 1.1 – Подвійний стоячий з кляммером, одинарний фальц і самозащіпний: 1 - перший покрівельний лист, 2 - другий покрівельний лист, 3 - кляммер

Однією з інновацій у рулонній технології є самозащіпна фальцева покрівля, яка забезпечує зручний і надійний монтаж. Хоча ці методи є значним кроком уперед, сам процес монтажу залишається досить трудомістким, що може пояснювати відносно рідке використання металевих покрівель у сучасному промисловому та цивільному будівництві.

Металеві фальцеві покрівлі зазвичай монтуються на решетування, яке може бути суцільним або розрідженим. Для нього використовуються дерев’яні бруски перетином 50×50 мм, розташовані з кроком не більше 25 см, що допомагає уникнути прогину металевих листів і знижує ризик ослаблення фальців. Кріплення покрівельних картин виконується клямерами, а для посилення конструкції часто збільшують їх кількість.

В українських кліматичних умовах традиційно використовуються холодні горища, які добре вентилюються через слухові вікна. Таке рішення дозволяє швидко виявити й усунути можливі протікання покрівлі. Проте зазвичай не враховуються витрати на утеплення перекриття верхнього поверху, трубопроводів, вентиляційних коробів і дверей на горище. Водночас облаштування утепленої покрівлі дає змогу зменшити витрати на

енергозбереження та отримати додатковий простір для господарських або житлових потреб.

Розвиток технологій утеплених фальцевих покрівель в Україні сприяє впровадженню сучасних енергоефективних стандартів у будівництві. Відповідно до вимог, дах житлових, громадських і виробничих будівель має забезпечувати не лише міцність, довговічність і пожежну безпеку, а й відповідати сучасним нормам теплового захисту. Це дозволяє зменшити споживання енергоресурсів під час експлуатації будівель.

Більшість існуючих будівель не відповідає сучасним вимогам енергозбереження. Навіть після виконання ремонтних робіт на дахах без належного утеплення продовжує утворюватися лід через втрату до 35–40% тепла, яке виходить із будівлі в навколишнє середовище.

Нові будівлі мають проєктуватися з урахуванням сучасних стандартів, а для реконструкції старих об’єктів ключовим завданням стає підвищення енергетичної ефективності. Вирішення проблем тепловтрат потребує комплексного підходу. Навіть якісно утеплені конструкції можуть залишатися джерелами тепловтрат через так звані «містки холоду» — місця інтенсивного теплообміну з зовнішнім середовищем. Вони виникають через просідання недостатньо якісного утеплювача або використання теплоізоляційного матеріалу між кроквами. У таких випадках самі крокви та металеві кріплення стають джерелами тепловтрат.

Металеві дахи, нагріваючись, сприяють таненню снігу навіть за низьких температур. Це явище зумовлено сонячною радіацією та теплом, яке виходить із горища. Унаслідок добових коливань температур у підпокрівельному просторі утворюється конденсат, що посилюється через дифузію пари. Використання антиконденсатних плівок на розрідженому решетуванні не вирішує цих проблем.

Основні технологічні та конструктивні параметри утепленого даху включають трудомісткість, довговічність, термічний опір, вагу покрівельного пирога та герметичність покриття. Незалежно від обраної технології, сучасний утеплений дах має стандартний набір елементів: несучі конструкції (крокви,

решетування), теплоізоляційний шар, що зменшує втрати тепла через холодні зони покрівлі, шари гідро- і пароізоляції, вентиляційний зазор, створений контробрешіткою, а також додаткові елементи, такі як снігозатримувачі, системи антизледеніння та блискавкозахисту. Усі ці елементи мають відповідати екологічним і пожежним нормам.

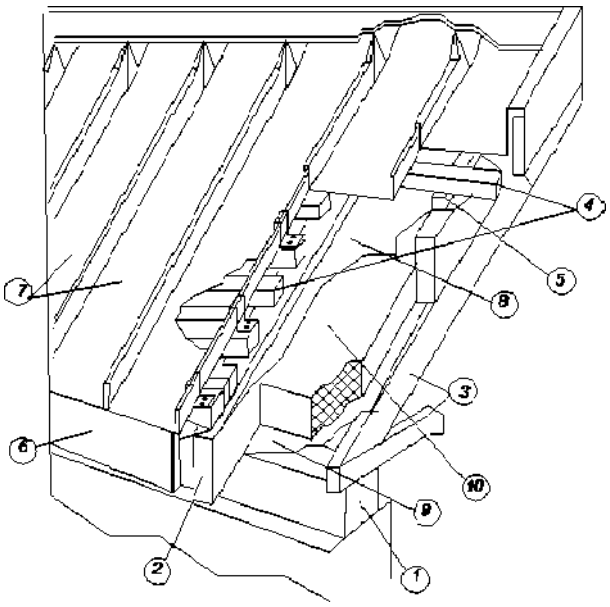


Рисунок 1.2 – Традиційна технологія утепленої фальцевої покрівлі:
1 – мауерлат; 2 - крокви; 3 - підкіс кроквяної системи; 4 - решетування (брус 50 х 50); 5 - контробрешітка; 6 - підшиття звису; 7 – покрівельні листи; 8 - вітро - вологозахисна плівка; 9 – антиконденсатна плівка; 10 - утеплювач

Основним способом підвищення теплозахисту даху є збільшення кількості шарів у багатошаровому «покрівельному пирозі». До його складу входять решетування, контробрешітка, антиконденсатні, вітро-, вологозахисні та пароізоляційні шари. Через недостатню товщину утеплювачів їх зазвичай укладають у кілька шарів, утеплення виконується не лише між кроквами, але й над і під ними. Однак таке утеплення збільшує вагу покрівельної конструкції, що створює додаткове навантаження на нижні конструктивні елементи будівлі.

На якість покрівлі впливає не лише вибір матеріалів, але й людський фактор. Помилки, які допускаються під час монтажу, можуть знижувати ефективність і довговічність покрівельного покриття.

Альтернативним способом підвищення теплоізоляції та енергоефективності дахів є облаштування вентильованих покрівель. Такі конструкції сприяють виведенню водяної пари та просушуванню зволожених матеріалів, адже уникнути утворення конденсату в підпокрівельному просторі практично неможливо. Для забезпечення циркуляції повітря від звису до ковзана можуть використовуватись спеціальні аератори, які сприяють руху повітря навіть при виникненні перешкод у верхній частині вентиляційного каналу.

Один із підходів передбачає створення подвійної вентиляції підпокрівельного простору. При цьому дах монтується за класичною технологією, але між гідроізоляційним шаром і утеплювачем додається додатковий повітряний контур. Це забезпечує відведення вологи з утеплювача та запобігає перенесенню тепла з підпокрівельного простору. У разі необхідності заміни утеплювача з кам’яної вати, як це пропонується в окремих розробках, доводиться розкривати всю конструкцію даху (рис. 1.3).

Фальцева покрівля відзначається високою герметичністю та відсутністю наскрізних монтажних отворів. Проте її монтаж вимагає значних зусиль, оскільки технологія включає використання численних елементів, які часто доопрацьовуються на місці.

Іншим підходом є облаштування утеплених дахів із використанням збірно-щитових панелей із фіброліту. Такі панелі можуть мати ширину від 600 до 1200 мм і складаються з утеплювача, пароізоляційного шару, а також внутрішньої та зовнішньої обшивки. Плити з фіброліту забезпечують підвищену вогнестійкість, але мають велику вагу. Основним недоліком цієї технології є відсутність вентиляційного зазору між покрівельною панеллю та гідроізолюючим металевим покриттям, що призводить до накопичення вологи й пошкодження покрівлі. Через це вона застосовується досить рідко.

Найбільш сучасною технологією вважається облаштування утеплених дахів із використанням «сендвіч-панелей». Вони значно скорочують час монтажу, але вимагають залучення професійних робітників та спеціалізованого обладнання.

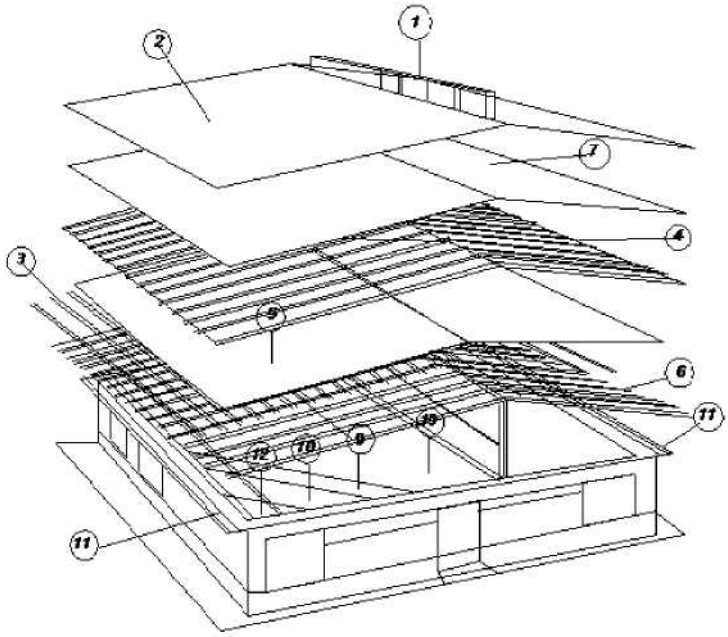


Рисунок 1.3 – Влаштування утепленої покрівлі з подвійною системою вентиляції: 1 – витяжний дефлектор; 2 – покрівельне покриття; 3 - решетування; 4 - контробрешітка (продух); 5 – антиконденсатна плівка; 6 - кроквяна система; 7 - вітрозахист; 9 – утеплювач; 10 – пароізоляція; 11 - карнизний продух; 12 - залізобетонне перекриття

Монтаж сендвіч-панелей потребує високої точності. Горизонтальність панелей перевіряється на кожному етапі, а замки з’єднуються максимально щільно. Кріплення здійснюється через металевий лист, тому всі отвори повинні бути розташовані строго перпендикулярно до поверхні панелі. Навіть незначні відхилення в конструкції або кріпленні можуть вплинути на якість робіт. Для запобігання деформації нижнього шару панелей та полегшення їх початкового вирівнювання використовують самоклейну стрічку, яку прикріплюють до несучих елементів конструкції.

Для облаштування такої покрівлі необхідно залучати професійну монтажну бригаду, а також використовувати спеціалізовану техніку, таку як автомобільні й баштові крани, вакуумні присоски та вантажозахоплювальні пристрої з подвійними механічними захватами.

Перед початком монтажних робіт здійснюється підготовка панелей, що включає розкрій і різання до необхідних розмірів. Зайвий утеплювальний матеріал видаляється за допомогою пилок або ножиць, використовуючи технологію холодного різання.

Хоча така покрівля позиціонується як швидкозбірна, її монтаж характеризується низкою труднощів: складність конструкції, деформативність «сендвіч-панелей», недостатня стійкість до динамічних руйнувань і тривалих навантажень (граничне навантаження становить 3,37 кН/м²), а також вимогливість до високої точності складання. Крім того, стики панелей і місця монтажу кріплень мають низьку герметичність, навіть за використання замкових систем типу Roof-Lock. У зонах стиків із несучими конструкціями потрібне додаткове встановлення ущільнювачів (рис. 1.4).

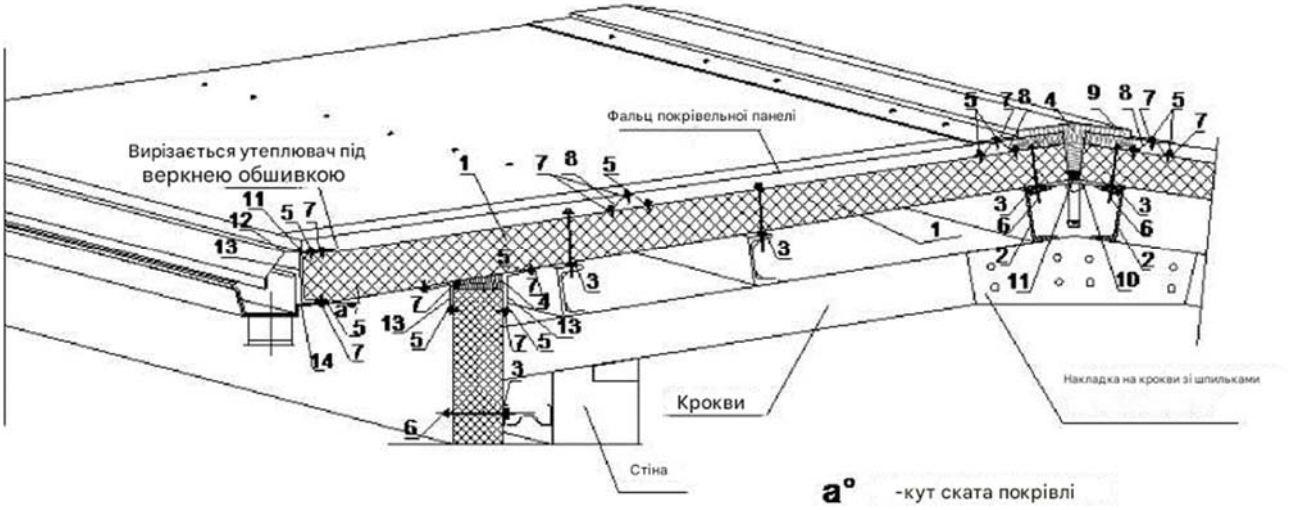


Рисунок 1.4 – Технологія монтажу покрівельних сендвіч-панелей: 1 - покрівельна сендвіч-панель; 2 - решетування; 3 - ущільнювальна стрічка; 4 - утеплювач (мін.вата, монтажна піна); 5 - самосвердлувальний шуруп; 6 - самосвердлувальний шуруп; 7 – герметик для зовнішніх робіт; 8 – фасонний елемент ФЕ – К 2; 9 - фасонний елемент ФЕ - ДО 18; 10 – фасонний елемент ФЕ – К 19; 11 - маса, що ущільнює (мастика); 12 - фасонний елемент ФЕ-К 7; 13 - фасонний елемент ФЕ - 8; 14 - тримач підвісного жолоба

Одним із суттєвих недоліків є вузли кріплення панелей. Монтаж виконується самонарізувальними гвинтами, проте при дії сильних вітрових навантажень можливе руйнування гофрованих елементів у місцях кріплення.

Використання волокнистих утеплювачів у конструкції «сендвіч-панелей» спричиняє низку проблем. Взимку утворення конденсату та льоду в зоні точки роси може призводити до промерзання та зледеніння стиків, що погіршує теплоізоляційні й міцнісні характеристики матеріалу. Для запобігання таким явищам доводиться застосовувати антиобмерзальні системи та нагрівальні кабелі, що збільшує складність експлуатації. Додаткові труднощі виникають при кріпленні водостоків, комунікацій тощо.

Проведений аналіз різних технологій утеплених фальцевих покрівель дозволив систематизувати їхні переваги й недоліки (таблиця 1.1). Варто зазначити, що більшість технологій не забезпечують можливості повторного використання утеплювачів та антиконденсатних плівок.

Таким чином, аналіз існуючих методів облаштування фальцевих покрівель свідчить про необхідність розробки нових науково обґрунтованих рішень. Це мають бути сучасні технології, які забезпечують зменшення тепловтрат, зниження трудомісткості, підвищення якості монтажних робіт і довговічності покрівель. Такі підходи мають ґрунтуватися на використанні новітніх теплоізоляційних матеріалів та уніфікованих конструкцій, здатних покращити експлуатаційні характеристики будівель.

1.2 Огляд утеплювачів даху та їх порівняння

На сьогодні для ефективного зменшення тепловтрат у будівлях в якості ізоляційного матеріалу для покрівель використовують скловолокно, базальтову вату, пінополістирол, екструдований пінополістирол та пінополіуретан.

Таблиця 1.1 – Переваги та недоліки різних технологій влаштування утеплених фальцевих покрівель

	Переваги	Недоліки
Класична технологія	Стандартна та добре відпрацьована технологія, отриманий покрівельний пиріг відрізняється герметичністю, добрими показниками теплозахисту та несучої здатності	Збільшення шару утеплювача веде до: вологонакопичення, садибного та температурним деформаціям, сповзання утеплювача, слабшає опір вітровому натиску, істотно збільшуються навантаження на розташовані нижче конструкції, виникають складності зі збереженням історичних висотних позначок
Технологія з подвійним вентиляційним зазором	Герметичність покрівельного покриття. Конструктивне рішення сприяє вивітрюванню. водяної пари та просушування намоклих матеріалів, хороші показники з термічного опору, конструкція не сприяє утворенню бурульок	Істотне збільшення навантаження на несучі конструкції будівлі, слід не допускати сповзання матеріалу утеплювача, виникають складності зі збереженням історичних висотних позначок, погіршення опору вітровим навантаженням, невисокий рівень збірності, збільшення трудовитрат та тривалості пристрої покрівельного покриття
Утеплення з допомогою «сендвіч-панелей»	Легка покрівельна конструкція заводського виготовлення, скорочення тимчасових витрат на зведення об'єкта, велике кількість фасонних деталей	Отримана конструкція повітронепроникна. Потрібно кранове, професійне та вантажозахоплювальне обладнання при монтаж; велика кількість підготовчих та вивірочних робіт; необхідна висока точність монтажу; необхідність додаткової герметизації стиків; висока деформативність панелей, у тому числі через добове коливання температур; необхідність зближення несучих елементів;
Утеплення з допомогою збірно-щитових плит	Герметичне покрівельне покриття. Скорочення тимчасових витрат на зведення об'єкта, щити заводського виготовлення, велика різноманітність розмірів, при використання утеплювачів 120 180мм хороші теплоізолюючі показники, жорстке закріплення утеплювача між шарами обшивок унеможливлює його можливість.	Потрібна наявність підйомних механізмів, збільшення навантаження на несучі конструкції будівлі, складність забезпечення повітряного зазору між покрівельним металевим покриттям та покрівельним щитом, можливість утворення та накопичення конденсату в

Мінеральна вата вперше була створена у 1840 році Едвардом Перрі з доменного шлаку. В Україні виробництво цього матеріалу почалося на початку XX століття, а масове виробництво стартувало в період між 1928 і 1932 роками. Найбільш відомий бренд мінеральної вати «ROCKWOOL» почав своє виробництво в 1937 році у Данії. Склад мінеральної вати має волокнисту структуру: скловата створюється з розплавленого кварцу, базальтова – із розплавленого базальтового каменю або шлаків.

Поліуретан був відкритий у 1937 році німецьким хіміком Отто Байєром. На основі розробок німецьких учених у 1957 році у США розпочалося промислове виробництво цього матеріалу, а в СРСР перші зразки з'явилися наприкінці 50-х років. Поліуретан – це еластичний матеріал, до складу якого входять уретанові групи -NHCOO. Його виготовлення не потребує складного обладнання, тому матеріал можна виготовляти як на заводах, так і безпосередньо на місці використання. Завдяки спеціальній обробці поліуретан отримує вогнестійкі властивості.

Полістирол був отриманий американським ученим Макінтайром Реєм під час Другої світової війни. У 70-х роках у СРСР значну частину продукції виготовляли саме з полістиролу завдяки його низькій вартості та простоті обробки. Сучасні екструдовані пінополістирольні матеріали виробляють з додаванням антипіренів, які зменшують ризик пожежі. Варто зазначити, що у деяких країнах, зокрема у США, використання пінопласту заборонено через певні екологічні та пожежні ризики.

Вибір утеплювального матеріалу безпосередньо впливає на технологію облаштування покрівлі. Основні вимоги до теплоізоляційних матеріалів – це низька теплопровідність, яка забезпечує захист внутрішніх конструкцій від коливань зовнішніх температур, та низьке водопоглинання, що дозволяє зменшити накопичення вологи.

Також важливими є такі характеристики, як простота монтажу, довговічність, експлуатаційна надійність і жорсткість. Рулонні утеплювачі, наприклад, втрачають свої властивості через усадку вже через 2–5 років. Крім

того, матеріали повинні бути екологічно чистими та безпечними для здоров'я. Усі ці фактори слід враховувати під час вибору утеплювача.

Порівняльні властивості теплоізоляційних матеріалів, що використовуються для утеплення покрівель, наведені у таблиці 1.2.

Проведений аналіз властивостей теплоізоляційних матеріалів показав відмінності у їх теплопровідності, довговічності та надійності під час експлуатації. Розрахунок термічного опору огороджувальних конструкцій проводиться за формулою:

$$R = d / \lambda, \quad (1.1)$$

де λ – коефіцієнт теплопровідності матеріалу (Вт/(м·°С)), d – товщина шару матеріалу (м).

Для волокнистих теплоізоляційних матеріалів, залежно від умов експлуатації, коефіцієнт теплопровідності у вологому стані перевищує показники сухого матеріалу на 10–25% (таблиці 1.3-1.5; рис. 1.5,1.6).

Протягом 30-річного періоду експлуатації коефіцієнт теплопровідності пінополіуретану змінюється приблизно на 30%, що значно менше, ніж у інших матеріалів. Вартість конструкцій з використанням пінополіуретану вища, ніж із мінеральною ватою. Проте, пінополіуретан не потребує додаткових витрат на укладання вітро- та вологозахисних плівок чи створення суцільного настилу для запобігання провисанню. Це скорочує час виконання робіт і зменшує додаткові витрати.

Водночас конструкції з мінеральною ватою мають більшу масу, а їх несуча здатність складає лише 25–35% від несучої здатності конструкцій із пінополіуретаном.

Розрахунок енергоефективності утеплювачів за методикою Пастушкова П.П. враховує теплопровідність матеріалу (Вт/(м·°С)) та його вартість (грн/м³):

Таблиця 1.2 – Порівняльні характеристики теплоізоляційних матеріалів, що використовуються

Показники	Пінополіуретан	Екструдований нийпінополістирол	Пінополістирол «ПСБ-С»	Плити з мінеральної (базальтової) вати	Мати та плити зі скляного штапельного волокна
Структура матеріалу	Газонаповнена пластмаса 92-95% закритих осередків, діаметром 0,2-0,8 мм	Закритий осередок, діаметром 0,5 1,2 мм	Пресовані спучені гранули, діаметр 2-5 мм	Волокнистий матеріал Діаметри волокон: 0,5-3 мкм (супертонкий) 3-6мм (тонкий)	Волокнистий матеріал, діаметр волокна 4-5 мкм
Щільність кг/м3	38-60, жорсткі плити до 160	35-45 (± 10%)	12 - 80 (± 10%)	37-180 (± 20 %) жорсткі плити в порівнянні з ППУ важчі	11-30 (± 20%)
Питома теплопровідність, 1, Вт/(м. ^{0}С),	0,019-0,028 Від вологості середовища не залежить	0,028-0,04	0,034-0,044	0,038-0,058	0,037-0,050
Еквівалентна товщина, мм	10	17	17,5	25	25
Теплопровідність Вт/(м. ^{0}С), за умов експлуатації «А»	0,019-0,028	0,029-0,04	0,041-0,048	0,042-0,049	0,042-0,048
Теплопровідність Вт/(м. ^{0}С), за умов експлуатації «Б»	0,019-0,028	0,03-0,04	0,043-0,050	0,045-0,060	0,046-0,055
Сорбційна вологість за 24 години за масою, %	Умови експлуатації «А» – 1,15; "Б" - до 4,4	Умови експлуатації «А» – 2; «Б» - 3	2...12	Умови експлуатації «А» – 3; "Б" - 15,5%	Умови експлуатації «А» – 3; "Б" - 15,5%
Водопоглинання, % за обсягом за 24 години	0,8 -2,0 (за 24 години) За 168 год, трохи більше 2,2	0,4-1,2 (за 24 години) 4% (30 діб)	2-8 (за 24 год.)	40-56 (для гідрофобізованих.), до 80%	40 - 60 (для гідрофобізованих.)
Паропроникність, мг/(м*ч*Па)	<0,05	0,013-0,018	0,015-0,023	0,30-0,32	0,32-0,47
Необхідна вимога до теплоізоляції збереження ізоляційних властивостей при зміні умов експлуатації. Теплопровідність води 0,58 Вт/(м. ^{0}З), льоду 2,3 Вт/(м. ^{0}З). Зміна температури та вологості навколишнього середовища викликають підвищення вологості в матеріалі, роблячи його провідником тепла. Наприклад: мінеральна вата у разі підвищення вологості на 5% збільшує теплопровідність до 50%. Волокнисті матеріали при зволоженні на 30% мають теплопровідність 0,18, згідно з ГОСТ 16381-77 матеріал не є теплоізолюючим.					
Довговічність фактична, років	30 і більше (для твердих ППУ)	Не більше 15 (з ремонтами (в інверсійній покрівлі, раз на 5 років)	2-15 (до руйнування)	1-10 років (при заявленій до 50 років) Часті ремонти (втрати в масі до 8% на рік, пилення)	1-7 років Часті ремонти (втрати в масі через пилення)
Вид сировинизв'язуюча в кам'яних матеріалів робить їх горючими.	Реакція поліолу з ізоціанатом	Гранули полістиролу, добавки, що спінюють.	суспензійний полістирол	Гірські породи, вулканічні шлаки, з органіч.	Кварцовий пісок, доломіт, глинозем, сполучна Фенолформальдегідні смоли < 5%

Продовження табл. 1.2

Показники	Пінополіуретан	Екструдований пінополі-стирол	Пінополістирол «ПСБ-С»	Плити з мінеральної (базальтової) вати	Мати та плити зі скляного штапельного волокна
Горючість	Самозагасаючий, токсини при горінні не виділяє, Г1-Г3,В1 PIR - панелі більш вогнестійкі, при горінні виділяється від 0,7 % до 1,6% ізоціанату, наявного в полісечовині та золі	Г3, В2, Д3, РП1 та (або) Г4, В3, Д3, Т3 (чадний газ, стирол), РП4 Отруйний дим	Г3, В2, Д3, Т2, Т3, РП4 (чадний газ стирол), можливе самозагоряння рясне виділення (267 мг/м ^{3}) токсичного чорного диму. (швидкість горіння біля 10,5 м/хв).	НГ, Т2 Волокнисті матеріали пропускають дим, випаровується сполучна речовина, матеріал просідає і обсипаються.	Для марок щільністю до 30 - НГ Для інших: Г1, Г2, Т2, РП1
Температура застосування, °С.	-100 ... +160 (-80 ... 140 - не змінює свої властивості) При t > 160 ° С. - починає оплавляється з виділенням токсичних речовин Необхідний	(-50...+80) При t > 80°С. -розкладається з виділенням токсичних речовин (мономер стирол)	(-50 ... +75) При t > 80 ° С. -розкладається з виділенням (мономер стирол) при t > 200°С. можливе самозаймання	(-180 до +250) При t > 250°С. - випаровується сполучна. Плавиться за t від 800 °С.	(-60 до +180) При t > 180°С. - випаровується сполучна речовина. Плавиться за 550°С
Стисність, %	< 2	< 4,5	< 30	до 30 встановлювати в каркасні конструкції	70-90 при навантаженні 2 кПа
Усадка, %	< 1 (під розрахунковим навантаженням	< 3,5 (під розрахунковим навантаженням)	< 30 (під розрахунковим навантаженням	< 10-20 (без навантаження), усадка з плином	< 15-50 (без навантаження), усадка з часом
Міцність на стиск при 10% лінійної деформації	0,3 МПа (Припустиме навантаження - 1,93 кг/см ^{2}) Після 140 циклів заморожування та відтавання міцність зменшується при зволоженні на 5% міцність на 20%	0,243МПа (при нагріві до 60°С міцність зменшується до 30%) Через 5 років експлуатації знижується на 11%	0,02-0,2 МПа (При нагріванні до 60С міцність зменшується до 30%)	0,018-0,045МПа	0,016-0,040МПа
Міцність на вигин, МПа	0,35-1,9	0,2-0,7 Через 5 років експлуатації знижується на 17	0,04-0,35		
Межа міцності на відрив , МПа	<0,1-0,3	< 0,08	< 0,08	< 0,01-0,03, можливе сповзання матеріалу	< 0,03, можливо сповзання матеріалу
*Для матеріалів схильних до де< деформацій конструкції, а значить юшку, *Експериментальні дослідження, в посилення конструкції з дерева, або ф		юрмації необхідно застосовувати додаткові захищають їх від цих щієнь термічного опору конструкції. в тому числі і автора, показали, завдяки адгезії пінополіуретану відбувається анери на 35%-120% залежно від матеріалів, що застосовуються.			

Продовження табл. 1.2

Показники	Пінополіуретан	Екструдовані йпінополі-стирол	Пінополістирол «ПСБ-С»	Плити з мінеральної (базальтової) вати	Мати та плити зі скляного штапельного волокна
Екологія	Екологічно нейтральний Сильно токсичний при спінювання до висихання. Не піддається	Не піддається утилізації	Не піддається утилізації	Необхідно при установці використовувати засоби індивідуального захисту, виділення великої кількості пилу, Алерген.	Необхідно при установці використовувати засоби індивідуального захисту, Не піддається утилізації

*Одиниці вимірювання: 1 т/м ^{2} = 0,1 кг/см2 = 10 кПа = 0,01 МПа = 9810 N/м2 = 9,81 кЛ/ ^{м2}
1 кал = 4,187 Дж або 1 Дж = 0,239 кал
**Дані взято та узагальнено в таблицю з підручника В.П. Ярцева, О.А. Кисельової «Прогнозування поведінки будівельних матеріалів за несприятливих умов експлуатації», та техніко-економічних показників постачальників матеріалів, www.teplotorg.com

Таблиця 1.3 – Розрахунок порівняльних характеристик теплоізоляційних матеріалів, що використовуються в залежності від умов експлуатації

Умови експлуатації	Назва матеріалів утеплювачів						
	ППУ	екстр.п-л (вкажіть який саме екструзований	Knaufгерм	Ursa	Isover	Paroc	Rockwool
Номінальні	0,024	0,03	0,039	0,043	0,044	0,045	0,048
А	0,024	0,039	0,04	0,045	0,046	0,046	0,052
Б	0,024	0,04	0,044	0,048	0,05	0,048	0,058
Зволоження на 2%	0,024	0,04	0,044	0,054	0,055	0,052	0,06
Зволоження на 5%	0,024	0,04	0,044	0,064	0,065	0,052	0,072
Зволоження на 25%	0,024	0,042	0,046	0,073	0,075	0,054	0,098

$$E = \lambda \times C / L, \quad (1.2)$$

де λ – теплопровідність, С – вартість утеплювача, а L – тривалість експлуатації. Результати показали, що різні матеріали можуть мати подібну енергоефективність на початкових етапах використання завдяки різниці у вартості та теплопровідності (таблиця 1.6; рисунок 1.7).

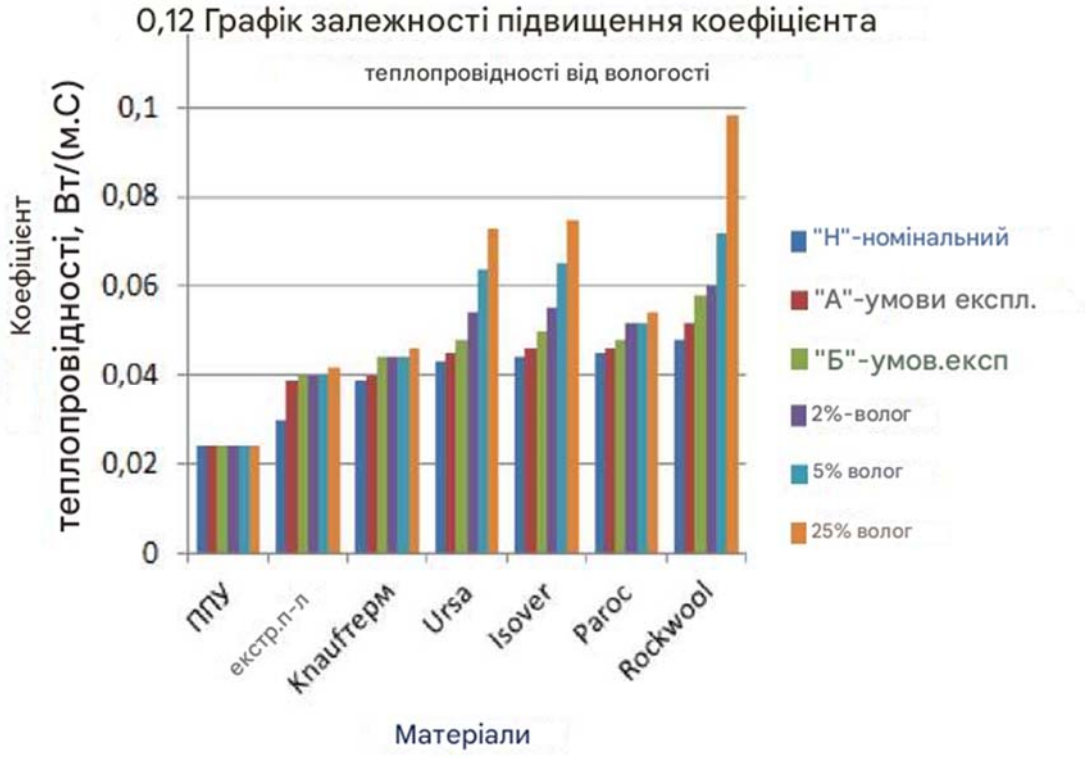


Рисунок 1.5 – Залежність підвищення коефіцієнта теплопровідності від вологості

Таблиця 1.4 – Розрахунок залежності підвищення коефіцієнта теплопровідності матеріалів від термінів експлуатації та довговічності матеріалу

Термін експлуатації	Назва матеріалів утеплювачів						
	ППУ	екстр.п-л	КпаіГтерм	Ursa	Isover	Paroc	Rockwool
1рік	0,024	0,03	0,039	0,043	0,044	0,045	0,048
2роки	0,024	0,04	0,044	0,054	0,055	0,052	0,058
3роки	0,025	0,048	0,048	0,073	0,075	0,056	0,065
5років	0,026	0,059	0,06	0,092	0,086	0,06	0,075
7років	0,028	0,078	0,079		0,096	0,082	0,092
10 років	0,032		0,1				0,12
15 років	0,036						
30 років	0,039						

На основі аналізу властивостей утеплювачів, а також конструкційних та експлуатаційних характеристик покрівель було встановлено, що найбільш ефективним матеріалом є жорсткий дрібнокомірчастий пінополіуретан. Він демонструє високу довговічність, надійність, низьку теплопровідність та

відповідає екологічним і пожежним вимогам. Хоча початкова вартість цього матеріалу є вищою, він забезпечує оптимальні експлуатаційні показники.

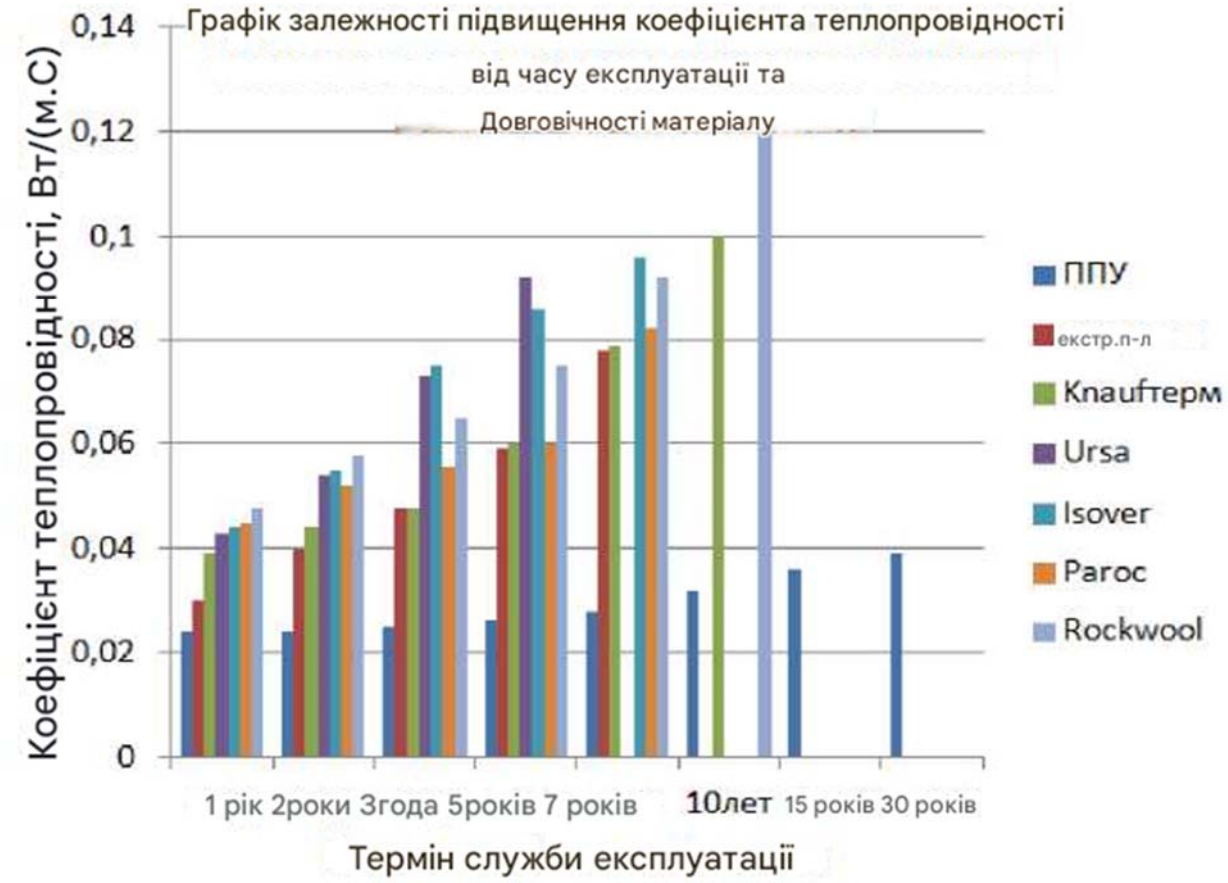


Рисунок 1.6 – Залежність підвищення коефіцієнта теплопровідності від термінів експлуатації та довговічність матеріалу утеплювача

Таблиця 1.5 – Порівняння вартості 1 м матеріалів утеплювачів

Назва матеріалу	Ціна, тис.грн/1м3	Коефіцієнт теплопровідності, Вт/(м. ^{0} С)
ППУ	4200	0,024
Екструдований п-стирол	3100	0,03
KNAUF термо	3700	0,039
URSA	2400	0,043
ISOVER	2300	0,044
PAROC	4400	0,045
Rockwool	3600	0,048

1.3 Аналіз способів кріплення покрівельної системи, що застосовуються у технології пристрою фальцевих покрівель

Процес встановлення утепленої металевої покрівлі є затратним і трудомістким. Тривалість монтажу залежить від складності укладання верхнього покрівельного шару та установки всієї покрівельної системи. Важливо враховувати сумісність усіх матеріалів, які використовуються в елементах покрівлі та кріпленні. Кріплення не повинні знижувати ефективність теплоізоляції та спричиняти утворення конденсату через можливі «містки холоду» в місцях встановлення сталевих кріпильних елементів, кількість яких може бути значною.

Кількість кріплень на 1 м² покрівлі та відстань між ними залежать від висоти будівлі, вітрових навантажень, форми та розмірів покрівлі. За нормами, для ремонту конструктивних елементів житлових будівель на 100 м² металевого покрівельного покриття витрачається 64 кг цвяхів.

При кріпленні покрівлі до металевих крокв часто використовують зварювальні роботи, що небажано при виконанні робіт на висоті. У випадках, коли зварювання неможливе, наприклад, при використанні легких сталевих конструкцій, застосовують болтові з'єднання. Спочатку кріпляться куточки обрешіток, а вже до них прикріплюється покрівельний матеріал. Це дозволяє зменшити трудовитрати та підвищити точність і якість монтажу покрівлі.

На дерев'яних кроквах обрешітка кріпиться за допомогою цвяхів або шурупів, після чого встановлюється паробар'єр, потім укладається утеплювач, який покривається антиконденсатною мембраною. Далі прибивається контробрешітка, і фіксується покрівельне покриття.

Сьогодні існує кілька методів кріплення покрівельних систем, які описані в роботах українських і закордонних вчених.

Один з відомих методів — конструкція «З'єднання металевих смуг», де вздовж країв металевих смуг виконуються отвори, через які пропускаються

елементи кріплення у вигляді саморізів для надійного закріплення смуг до дерев'яної решетування. Зверху конструкція захищається від впливу опадів наступною смугою.

Для з'єднання металевих смуг були розроблені спеціальні покрівельні верстати, здатні виробляти панелі з «клік-фальцем» та перфорованою рейкою для швидкого монтажу. До таких верстатів належать Schlebach Quadro (Німеччина) та покрівельний верстат СФПЗ (МОБІПРОФ, Україна) (рис. 1.8).

Серед недоліків цієї технології можна відзначити, що цей метод кріплення підходить тільки для «дерев'яних» кроквяних систем, які передбачають наявність суцільної решетування. В іншому випадку існує ризик пошкодження покрівельної конструкції через вітрові та снігові навантаження, що може призвести до зниження надійності кріплення. При утепленні покрівлі цей ризик тільки зростає, а також може відбутися стиснення утеплювача в місцях установки кріплень.

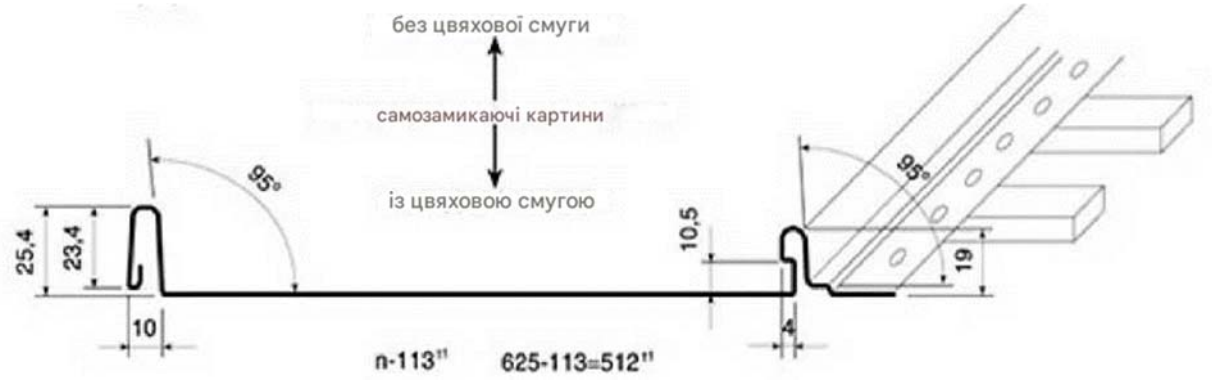


Рисунок 1.8 – Профіль картини фальця, що самозащіпується

Кріпильні елементи повинні бути сумісні з матеріалом покрівлі. Вони є головними джерелами утворення «містків холоду», тому їх потрібно ізолювати. Для цього в даний час застосовують додатковий шар утеплювача під або над кроквами, а елементи кріплення покриваються пластиком або використовуються дюбелі з пластиковими частинами, щоб звести до мінімуму контакт різнорідних металів.

Існують різні методи кріплення покрівельних систем, зокрема такі, як «Кріпильні системи та методи герметизації фасадів або дахів», «Метод розміщення елементів кріплення», «Кріпильний вузол для облицювальних конструкцій», «Метод фіксації ізоляційних матеріалів» та інші.

З усіх перерахованих методів найбільш технологічним є варіант корисної моделі «Кріпильного вузла для складових облицювальних конструкцій» (рисунок 1.9), де покрівля кріпиться за допомогою клямерів, що мають вигнуту форму. У першому варіанті клямер служить для закріплення елементів покрівлі, а в другому — має отвір для установки на дюбель, що утримує утеплювач на будівельній конструкції.

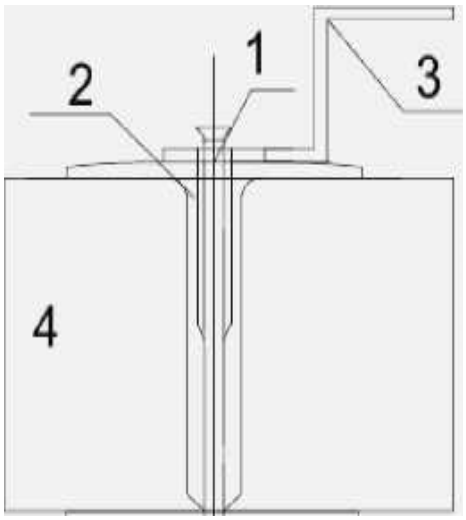


Рисунок 1.9 – Кріпильний вузол складових облицювальних конструкцій:
1 - елемент кріплення; 2 – дюбель; 3 - клямер; 4 - встановлюваний елемент;
5 - несучий елемент

Однак цей метод має свої недоліки, зокрема складність виконання і високі трудовитрати. Крім того, підвищена частка прихованих робіт потребує високого професіоналізму, а помилки можуть проявитися лише в процесі експлуатації даху, що загрожує відривом покрівлі через вітрові та снігові навантаження. На рисунку 1.9 видно, що дюбель не є несе конструкцією і після його установки необхідно виконувати додаткове кріплення за допомогою шурупа «наосліп». У

разі наявності утеплювача, довжина шурупа може не завадити його висмикуванню під час експлуатації.

Основними недоліками методів кріплення покрівлі при влаштуванні фальцевих покрівель, що вентилюються, є складність виконання та трудомісткість робіт, а також можливе утворення «містків холоду» в місцях установки кріпильних елементів. Дюбелі не є тимчасовими конструкціями, їх установка вимагає додаткових зусиль для закріплення за допомогою шурупів або цвяхів, що погіршує надійність кріплення. Невідповідна форма капелюшка кріпильних елементів може знизити надійність фальцевого з'єднання. Для виконання цих робіт необхідні кваліфіковані працівники, а помилки виявляються тільки в процесі експлуатації даху, що може призвести до відриву покрівельного покриття.

Отже, при розробці технології утеплення металевих покрівель необхідно створювати нові методи кріплення, які дозволять зменшити тривалість, трудовитрати і вартість робіт.

2 ДОСЛІДЖЕННЯ ВИБОРУ РАЦІОНАЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ ДЛЯ УТЕПЛЮВАЧА

2.1 Експериментальні дослідження обґрунтування вибору матеріалу утеплювача

Вибір матеріалу для утеплення має великий вплив на технологію монтажу, якість і довговічність покрівлі. Це рішення приймається після аналізу властивостей матеріалів, що використовуються як утеплювачі, зокрема енергоефективності, довговічності, надійності в експлуатації, а також з урахуванням вимог пожежної і екологічної безпеки.

Порівнюючи теплопровідність матеріалів при тривалому використанні, яке відповідає 30-річному експлуатаційному терміну, зміна коефіцієнта теплопровідності пінополіуретану становить близько 30%, що значно менше за показники інших теплоізоляційних матеріалів, використовуваних в будівництві (див. рис. 1.5, 1.6).

Також було встановлено, що різні матеріали можуть мати однакові енергоефективні показники, особливо в перші роки експлуатації, завдяки їх початковій теплопровідності та вартості утеплювачів (див. рис. 1.7).

Для практичного застосування найбільше значення мають показники теплопровідності та довговічності матеріалів, які в значній мірі залежать від їх здатності поглинати і утримувати вологу.

У результаті практичних досліджень автором було встановлено, що вагове поглинання вологи у пінополіуретану становить 20% від обсягу, у кам'яної вати — 80%, а у пінопласту — 46%. Волокнистий матеріал кам'яної вати, при зволоженні, втрачає форму, здатний вбирати значно більше води і набагато повільніше її віддає під час висихання, що може призвести до утворення цвілі (рис. 2.1, 2.2).

З огляду на підвищені вимоги безпеки до будівельних конструкцій, автор провів експериментальні дослідження базальтової вати і пінополіуретану під температурним впливом з контрольованим нагріванням. Полістирол, як матеріал, схильний до самозаймання, не було випробувано на термостійкість.



Рисунок 2.1 – Кам'яна вата через два тижні просушування після проведення експерименту на водопоглинання зі слідами плісняви



Рисунок 2.2 – Знімок сендвіч панелі з базальтовим волокном, через півтора роки з моменту встановлення

Метою експерименту було перевірити термостійкість кам'яної вати та визначити запас міцності робочих властивостей ПВП. Для цього використовувався сушильний шафа Drying Oven ES-4610 з температурою до 300°C (температура початку випаровування сполучної речовини базальтового

волокна становить 250-300°С). Під час експерименту контролювалися зміни маси зразків, термічні зміни обсягу, хронометраж нагрівання та фотофіксація результатів (рисунок 2.3).

В результаті проведеного дослідження було встановлено, що базальтова вата Rockwool зазнає найбільших змін, зокрема усадки та втрати маси зразка, що супроводжуються виділенням диму з наявністю фенольних речовин (див. рис. 2.3), які наповнюють повітря різким і їдким запахом. Це спостерігалося на початковому етапі експерименту при температурах від +150 до +210°С. Пінополіуретан витримав нагрівання до температури +170°С без видимих змін, а подальше нагрівання до +293°С у сушильному шафі Drying Oven ES-4610 призвело до втрати форми через термічне розширення та подальшої втрати маси, зі зміною своїх властивостей (початок спікання), але без самозаймання. З огляду на отримані результати можна зробити висновок, що термостійкість пінополіуретану значно вища, ніж зазначена раніше, і складає понад +160°С.



Рисунок 2.3 – Проведення порівняльних експериментів на термостійкість пінополіуретану та кам'яної вати

Щільність матеріалу безпосередньо впливає на вагу конструкції та її вартість, оскільки сировина є основним фактором вартості матеріалу. Щільність кам'яної вати і пінополістиролу не має значного впливу на зміну теплопровідності матеріалу утеплювача, але визначає його міцнісні

характеристики. Пінополіуретан має значні коливання щільності, що впливає не лише на його вартість, але і на теплопровідність.

Автор, за погодженням з виробниками, безпосередньо брав участь у виробництві плит з пінополіуретану та пінополістиролу. Оскільки в осередках пінополіуретану поблизу поверхні формується більш щільна структура через тривалий процес спінювання, на виробництві матеріали з різною щільністю на поперечному зрізі називаються інтегральними. Такі зміни у масі пінополіуретану важко спостерігати.



Рисунок 2.4 – Вид пінополіуретану та кам'яної вати після випробувань

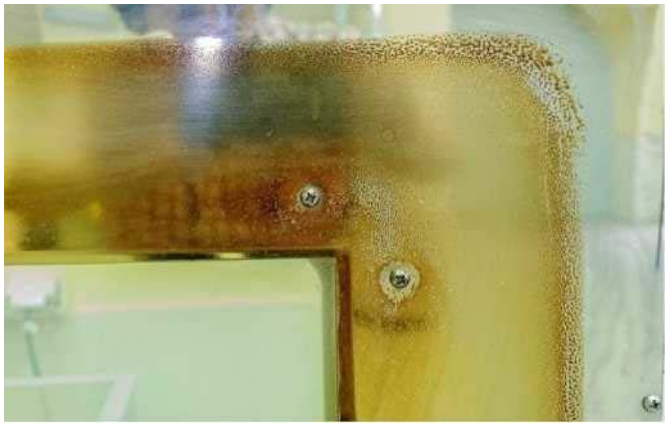


Рисунок 2.5 – Вид панелі сушильної шафи з характерним нальотом, що виділилися при випробуванні на термостійкість смол

З огляду на важливість зазначеного факту, а також тісний зв'язок між щільністю пінополіуретану, його ціною і впливом коефіцієнта теплопровідності на необхідну товщину елемента, автор провів випробування з використанням приладів для визначення теплопровідності та термічного опору матеріалів при

температурах від +15°С до +42°С, із застосуванням автоматичного термостатування температури холодильника і нагрівача в процесі випробувань (прилади ІТП-МГ4-250 і «Зонда», див. рисунок 2.6).

Таблиця 2.1 – Дані експерименту на температурний вплив

Показники	**Назва матеріалу**	
	ППУ	Кам'яна вата "Rockwool"
Початок випробувань	13.10	13.10
Початкові розміри зразка	99,96х100,68х101,31мм	106,11х107,26х104,65мм
Розміри після проведення випробувань	100,96х102,11х106,67мм	96,95 х 101,58 х 99,58мм
Початкова вага, гр	53,255	140,33
Вага після проведення	48,64	137,55
Температура початкових зміни у матеріалах 150°С	Видимих змін не помітно	Вата почала просідати, почав виділятися газ
175,3°С	Злегка збільшується в розмірах (починає «підходити»)	=
199,3°С	Починають округлятися кути	=
207°С	Жовтіє колір і внизу куба з'являються осадові тріщини	Вата продовжує осідати, з виділенням диму
230°С	Починають утворюватися тріщини, з характерним звуком, що розтріскується , нижня частина панелі куба поступово коричневіє	вата трохи темніє
Час проведення випробувань 13.30, 1 = 240 ° С	Висота зразків починає порівнюватися, ППУ просідає	Зміна не істотні, темніють зовнішні волокна
Час проведення випробувань 13.35, 1 = 260 ° С	Низ куба коричневий, але куб поки вище вати	=
Час проведення випробувань 13.38, 1 = 273 ° С	Стінки куба темно-коричневі, їх починає вигинати, з'являються. складки	
Час проведення випробувань 13.43, 1 = 282 ° С	Низ куба темно-коричневий	=
Час проведення випробувань 13.45, 1 = 290 ° С	З'являється запах	=
Час проведення випробувань 13.50, 1 = 295 ° С, час припинення випробувань	Характерні бавовни з розтріскуванням , камеру затягує димом...	Їдкий дим, складно визначити якому матеріалу він належить, вата помітно змінила колір волокон

Метою цих випробувань було визначити коефіцієнти теплопровідності кількох зразків, вирізаних із різних частин однієї пінополіуретанової плити, для підтвердження впливу ущільнення матеріалу під час спінювання на щільність і теплопровідність окремих ділянок пінополіуретанових панелей.



Рисунок 2.6 – Термовипробування вимірювачем теплопровідності ІТП-МГЦ-250

Для проведення експериментальних випробувань було підготовлено три зразки з різних ділянок однієї пінополіуретанової плити розмірами 100 х 100 х 50 мм, виготовленої компанією «БудІзоляція» (див. таблиця 2.2). Всі зразки попередньо зважувалися за допомогою електронних ваг AG 200, що мають точність до 0,001 г. Випробування теплопровідності проводились із застосуванням вимірювача теплопровідності ІТП-МГЦ-250, який підтвердив зміну коефіцієнта теплопровідності в залежності від зміни щільності матеріалу під час спінювання (найменша щільність в центрі і найбільша по краях).

У дослідженнях, присвячених біонічним властивостям пінополіуретану, які проводив керівник НДДКР к.б.н. А.І. Поливода, була запропонована ідея використання різної щільності матеріалу при напиленні шарами. Спочатку застосовується більш щільний матеріал біля внутрішньої поверхні, далі — менш щільний, і поверхня покривається знову більш щільним матеріалом. Виходячи з цього, можна припустити, що пінополіуретан має здатність змінювати свою щільність при спінюванні в пресформах, наближаючись до поверхні і утворюючи більш щільну структуру, що в свою чергу покращує його несучу здатність.

Таблиця 2.2 – Результати випробувань на теплопровідність, проведені автором

	Зразки пінополіуретану		
	Приклад проміж.	Зразок з цент.	Зразок з краю плити
Розмір зразків	98x101x100	100x101, 6x102	99,3x100,81x96,8
Вага зразків, гр	53,4	51,51	53,98
Щільність, р кг/м3	53,95	49,72	55,71
Уд.теплоємність , кДж/(кг°С)	1, 47	1,47	1,47
Коеф. Теплопров-ти, Z Вт / (м ° С), виміряний. камерою	0,022	0,0191	0,028
Температ.коеф. об'ємного розшир.АТ	35-15	35-15	35-15
Тепловий опір зразка, R м. Про С/Вт	1,136	1,041	2,1
Еталон Зонд, Z	0,024	0,0193	0,030

Ця характеристика дозволяє виготовляти пінополіуретанові плити з низьким коефіцієнтом теплопровідності, але з достатньою жорсткістю на зовнішній поверхні завдяки ущільненню осередків піни. Завдяки цьому можна зменшити товщину шару утеплювача, що позитивно впливає на масу та вартість конструкції, що є особливо важливим для покрівельних матеріалів.

Враховуючи важливість взаємозв’язку між щільністю пінополіуретану та його ціною, а також можливість зниження щільності при збереженні несучих характеристик, було проведено додаткові дослідження для визначення оптимальної щільності пінополіуретану. Ці дослідження включали випробування різних зразків, що мали різну густину, з метою визначення впливу щільності на термостійкість, енергоефективність, несучу здатність і експлуатаційну надійність матеріалу, а також його міцність на стиск при 10% лінійній деформації. Всі експерименти проводились відповідно до стандартів ГОСТ.

Для випробувань були підготовлені пінополіуретанові плити різної щільності — 38-42 кг/м³ і 49-54 кг/м³, виготовлені компанією «БудІзоляція», з

яких вирізали 10 зразків розміром 100 х 100 х 100 мм та 9 зразків розміром 50 х 50 х 100 мм. Для порівняння були також використані зразки пінополістиролу Therm Knauf з щільністю 20-25 кг/м³. Всі зразки були виміряні штангенциркулем з точністю до 0,01 мм, при цьому здійснювався триразовий вимір кожного ребра (довжина, ширина, товщина), а середнє значення приймалося як результат. Вага зразків визначалася з точністю до 0,5%, і обчислювався їх обсяг.

Випробування на міцність проводились за допомогою двоколонної машини Instron 5969 50 кН в автоматичному режимі при швидкості навантаження 5 мм/хв (див. рисунок 2.7). Визначалося зусилля, що викликає 10% лінійну деформацію зразків (див. рисунки 2.7-2.12).



Рисунок 2.7 – Випробування на стиск при 10% лінійної деформації

Результати випробувань на стиск при 10%-ній лінійній деформації показали, що міцність пінополіуретану в 4–6 разів перевищує таку у зразків полістиролу з аналогічною формою. Так, міцність пінополіуретанових зразків коливається в межах 0,17–0,26 МПа, тоді як для полістиролу цей показник становить лише 0,038 МПа. Це підтверджує різницю в структурах матеріалів, де полістирол має слабші зв'язки між зернами, на відміну від пінополіуретану з його жорсткою комірчастою структурою, що суттєво впливає на міцність. Зразки пінополіуретану з більшою щільністю показують менші значення міцності порівняно з менш щільними зразками. Це обумовлено тим, що на початкових етапах (до 2-3% деформації) матеріали меншої щільності.

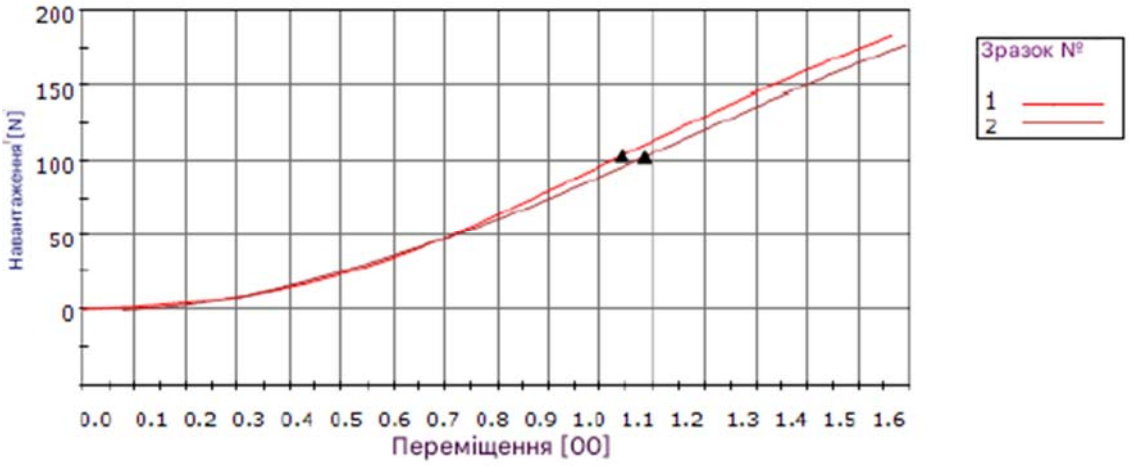


Рисунок 2.8 – Результати випробувань на стиск при 10 % деформації полістирольних зразків 100 х 50 х 50

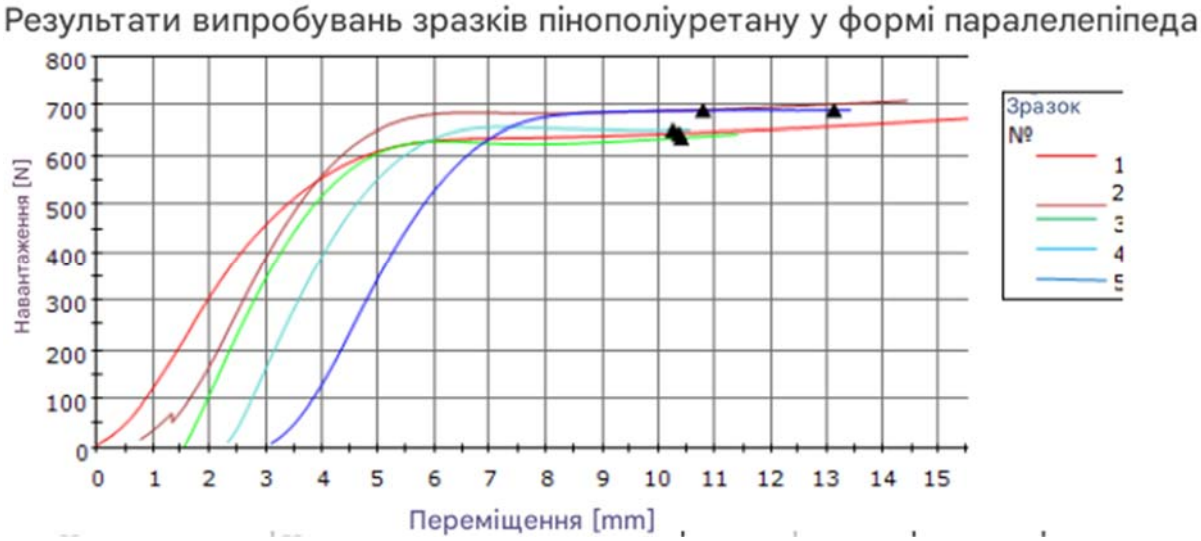


Рисунок 2.9 – Результати випробувань на стиснення при 10 % деформації поліуретанових зразків

Зразки у кубічній формі здатні витримувати більше навантаження, оскільки паралелепіпедні зразки зазнають не лише стискаючих, а й згинаючих навантажень (див. рисунки 2.7-2.12), що знижує їх межу міцності. Максимальна гранична величина навантаження склала 3078,39 N, при цьому середнє значення навантаження, яке витримали зразки, становило 2478,734 N. Перевірка розмірів зразків до і після випробувань, проведена через добу, підтвердила здатність пінополіуретану, як умовно пластичного матеріалу, відновлювати свою форму.



Рисунок 2.10 – Результати випробувань на стиск при 10 % деформації поліуретанових зразків

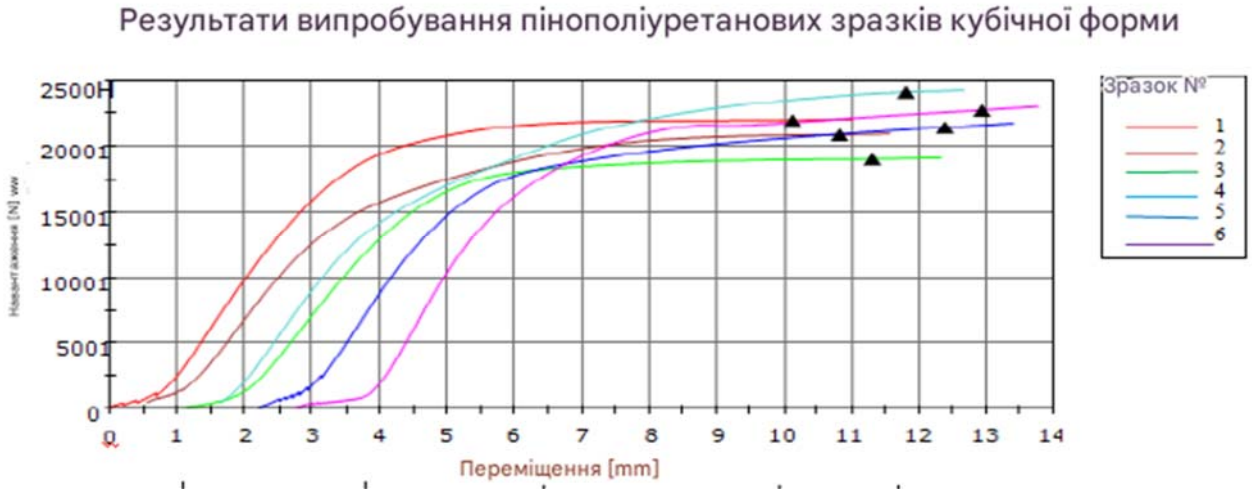


Рисунок 2.11 – Результати випробувань на стиск при 10% деформації поліуретанових зразків кубічної форми

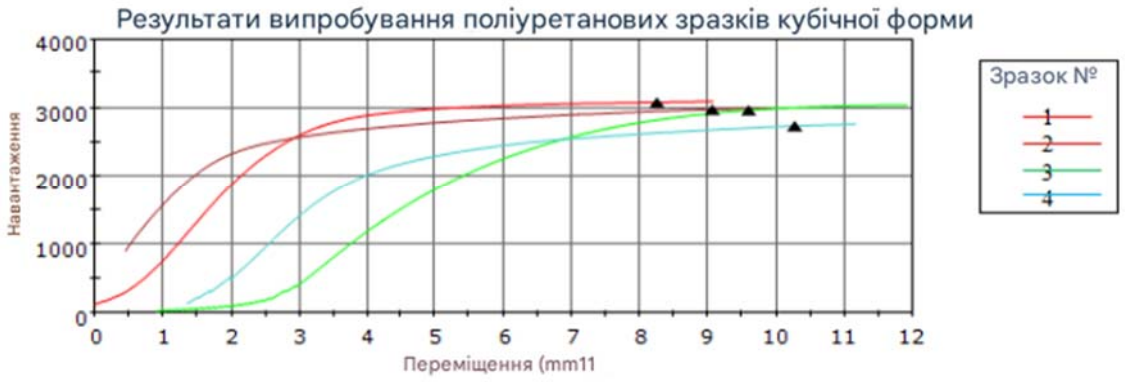


Рисунок 2.12 – Результати випробувань на стиск при 10% деформації поліуретанових зразків кубічної форми

Експериментальні дослідження підтвердили важливі характеристики пінополіуретану, такі як здатність ущільнюватися ближче до поверхні при спінюванні та під навантаженням, що підвищує його несучу здатність. Це дозволяє використовувати матеріал з меншою щільністю, що в свою чергу знижує масу покрівельної конструкції та її вартість.

Для оцінки легкості матеріалу було використано відношення щільності до його міцності, що дозволяє визначити здатність матеріалу витримувати навантаження. Враховуючи результати експериментальних і аналітичних досліджень, як утеплювач був обраний пінополіуретан з дрібнокомірчастою жорсткою структурою і щільністю 38–42 кг/м³, що має низьку гігроскопічність та коефіцієнт теплопровідності 0,022–0,024 Вт/м·К. Цей матеріал відноситься до важкозаймистих самозагасних матеріалів (Г2), що підтверджується сертифікатом виробника пінополіуретану. За результатами проведених досліджень, термічна стійкість пінополіуретану значно перевищує заявлені показники (+160 °С). При належному виготовленні та експлуатації можливе повторне використання пінополіуретанових конструкцій. Пінополіуретан володіє хорошою адгезією, є екологічно безпечним, оскільки при його виробництві не використовуються фреони, і може застосовуватись при покрівельних роботах малоповерхових будівель, що підтверджується зведенням правил СП 17.13330.2011 «Покрівлі».

2.2 Експериментальні випробування пінополіуретанової панелі на міцність

Для спрощення монтажу, зменшення кількості складальних одиниць і їх уніфікації, перенесення частини робіт на заводи, підвищення енергозберігаючих характеристик покрівлі, а також для зниження вартості та маси покрівельного пирога необхідно розробити конструкцію основного несучого елемента

швидкозбірної покрівлі – Термопанелі. Оскільки пінополіуретан не є конструкційним матеріалом, автор припустив, що завдяки високій адгезії цього матеріалу можливо виготовлення покрівельних плит, які для збільшення їх жорсткості можуть бути армовані внутрішнім каркасом.

Згідно з вимогами, конструкція панелі повинна бути розрахована за двома граничними станами: на втрату несучої здатності через руйнування або втрату стійкості, а також на непридатність конструкції для нормальної експлуатації через перевищення максимально допустимого прогину, який для плит покриття не має перевищувати значення $f / l = 1/120$.

Для встановлення механічних характеристик та несучої здатності плит з пінополіуретану були сплановані і проведені експериментальні дослідження. Метою цього експерименту є визначення максимальної несучої здатності плит, не допущення їх обвалу. Під час експерименту за допомогою Прогібомірів 6-ПАО було складено таблицю, що показує залежність переміщень від прикладеного навантаження. Потім порівнювалися результати прогинів з розрахунковими значеннями максимального навантаження для плит покриття, що дозволяє оцінити необхідність посилення пінополіуретанової плити просторовим каркасом або нижнім покриттям із склотканини.

Для проведення досліджень на базі ТОВ «БудІзоляція» було виготовлено три панелі розмірами 1200 х 600 х 100 мм з жорсткого пінополіуретану щільністю 50–54 кг/м³ без зовнішнього покриття і з наявністю дефектів (нерівностей і раковин) (див. рисунок 2.13). Розміри панелей були обрані відповідно до чинних стандартів і норм будівництва, а для запобігання можливому обвалу їх арматували по краях фанерними смугами товщиною 10 мм і шириною 154 мм, що охоплюють всю довжину панелі.

Експериментальні дослідження були проведені відповідно до встановлених стандартів, не раніше ніж через п'ять днів після виготовлення панелей, при цьому використовувались панелі через 10 днів після їх виготовлення. Середня вага панелей без покриття становила 6,430 кг.



Рисунок 2.13 – Вид пінополіуретанової плити без покриття, з характерними утвореннями раковин через відсутність покриття

Для проведення випробувань та попередніх розрахунків на деформативність було здійснено збір різних видів навантажень: постійних (вага покрівельної системи), тимчасових (снігова навантаження) і короткочасних (вітрове навантаження) на 1 м² плит з пінополіуретану (таблиця 2.3).

Межа міцності конструкції залежить від співвідношення загального тиску цих навантажень і вимірюється в кг/м². У розрахунках використовуються стандартні значення навантажень. Для переведення нормативних навантажень з кг/м² у кН відстань між опорами умовно приймається рівною 1 м:

g = 228,2864 = 2,28 кН; g н = 300,07774 = 3,0 кН.

Випробування зразка проводились за схемою ступінчастого навантаження - навантаження поступово збільшувалося рівномірно розподіленим, короткочасним навантаженням, яке тривало 20 хвилин з подальшим 20-хвилинним періодом зняття навантаження. Кожен етап навантаження збільшувався на величину трохи більше 0,2 кН. Для випробувань використовувався гідравлічний прес AEG 5000 кН з домкратом.

Прогини панелі вимірювались у шести точках за допомогою прогібоміру 6-ПАО з ціною розподілу 10^-2 мм. Для точніших вимірів випробування проводились вручну, а зняття показань здійснювалось за допомогою

електронного динамометра Мегавес ДАЦ-С-100-2 з тензодатчиком, встановленим під верхньою навантажувальною платформою преса, та індикатором, що фіксував пікові значення навантаження.

Таблиця 2.3 – Нормативні та розрахункові навантаження

Вид навантаження	Нормативне навантаження	Коефіцієнт навантаження Y	Розрахункове навантаження
Постійне навантаження			
Сталевий лист м2; товщина листа 0,8 мм	4х0,984 = 3,936 кг/м2	1,3	5,1168
Пінополіуретанова панелі	6,43	1,6	10,288
РАЗОМ	10,366		15,4048
Скориговане навантаження залежно від кута нахилу покрівлі по формулі: $g = g^{н} \cdot \gamma \cdot cos\alpha$ (3)			0,866х15,2768 = 13,4055
СнігоневантаженняСНіП 2.01.07-85 $Sg=s \cdot \mu \cdot \gamma\mu\ \gamma п \cdot cos\alpha$ (4)	180 кг/м2	1,6	249,408 кг/м2
Вітрове навантаження $W=Wн \cdot k \cdot \gamma пс$ (5) =38(кгс/м2)-0,96-1,4-(-0,7), с - аеродинамічний коефіцієнт. Для двосхилих покрівель з=-0,7 w_0 - нормативне значення вітрового тиску; *k*- коефіцієнт, що враховує зміну вітрового тиску по висоті	38кг/м2	1,4	37,44
Повне навантаження на 1м покриття $д_н$	228,366 кг/м2		$д^{н}$=300,188 кг/м2

Для організації експерименту було розроблено конструктивну схему, яка дозволяла закріпити панель у максимально відповідному робочому положенні. Панель закріплювали вузькими кінцями на елементах конструкції, що імітують встановлення панелей на крокви, фіксуючи їх у місцях передбачуваного кріплення. Випробування проводились за схемою ступінчастого навантаження з поступовим збільшенням рівномірно розподіленого короткочасного навантаження (див. рисунки 2.14, 2.15).

Результати проведення випробувань представлені у таблиці 10.

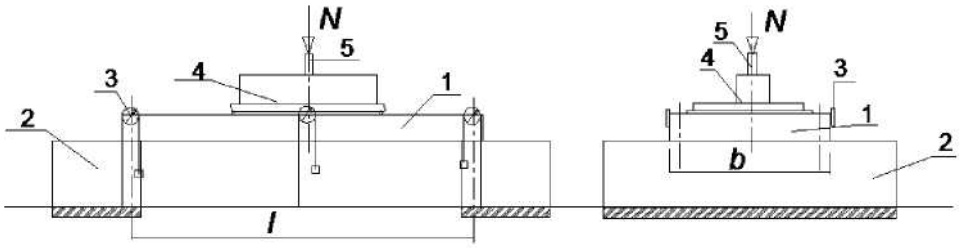


Рисунок 2.14 – Конструктивна схема встановлення та навантаження зразка, розстановки, що фіксують переміщення приладів і додається у вигляді штампу розподіленого навантаження: l - Розрахункова довжина зразка, b - ширина зразка, 1 - пінополіуретанова панель, 2 - конструктивні тумби, на яких була зафіксована панель, 3 - Прогібомір ПАТ-6 з противагою, - розподільна плита у вигляді штампу, для передачі навантаження, що додається на панель, 5 - передавальний елемент



Рисунок 2.15 – Випробування пенополиуретановой панелі без покриття склотканью з фіксацією максимальної навантаження

Конструкція швидко накопичувала залишкові переміщення від втоми матеріалу. При навантаженні в 12,19 кН експеримент було припинено через поломку фанери та загрозу обвалу. Максимальне переміщення в центральній частині панелі на 10-му етапі навантаження-розвантаження досягло 226,2 мм, що значно перевищує допустимі значення, оскільки максимальний рівень

переміщення за стандартами має бути [f/l] = 1/120 = 0,0083 м = 8,3 мм (див. рисунок 2.16, таблиця 2.4).

Одна з панелей без покриття була піддана кліматичним випробуванням з лютого по травень 2014 року. Ці випробування підтвердили необхідність додаткового верхнього і нижнього захисного покриття для пінополіуретанових панелей.



Рисунок 2.16 – Характерні зміни при випробуваннях без покриття: максимальний прогин, продавлювання на опорах, залишкова деформація через добу після зняття навантаження

Експериментальні дослідження показали, що пінополіуретан має властивість ущільнюватися під навантаженням, зберігаючи хороші характеристики при згинанні. Матеріал виявився пластичним, але має низьку згинальну міцність. Він добре адгезує, що дозволяє інтегрувати в конструкцію внутрішній просторовий каркас, а також верхнє і нижнє покриття зі склотканини для забезпечення монолітності.

Таблиця 2.4 – Проведення натурних випробувань виявлення максимальної несучої здатності панелі з пінополіуретану з плоскими смужками фанерного каркаса

Дозволене навантаження кН	Показники переміщень на прогібомірах-6-ПАТ						
		Опора КПП	С1п	Опора КПЛ	Опора КЛП	С2л	Опора КЛЛ
показники до навантаженн	свідчення	0,37245	6,0108	7,5541	0,57590	9,81128	0,22087
	переміщення	0	0	0	0	0	0
2,5	свідчення	0,87381	7,35011	8,0402	1,17963	9,88098	0,71486
	переміщення	0,50136	1,33931	0,4861	0,60373	1,40684	0,49399
4,5	свідчення	1,06055	8,08476	8,2191	1,36042	0,54869	0,90497
	переміщення	0,18674	0,73465	0,1789	0,18079	0,67753	0,19011
0	свідчення	0,51369	7,12221	7,62985	0,75925	8,54111	0,33755
	переміщення	-0,54686	-0,96255	-0,58925	-0,60117	-0,89664	-0,56742
5,5	свідчення	1,21062	9,42212	8,38617	1,47792	1,82	1,04329
	переміщення	0,69693	2,29991	0,75632	0,71867	2,04599	0,70574
6,5	свідчення	1,31944	9,8998	8,50595	1,58867	1,2154	1,15305
	переміщення	0,10882	0,47768	0,11978	0,11075	0,50896	0,10976
0	свідчення	0,65369	7,1395	7,8741	0,9689	8,12557	0,50288
	переміщення	-0,66575	-2,7603	-0,63185	-0,61977	-2,6157	-0,65017
2,1	свідчення	1,11613	9,12536	8,36522	1,44552	0,23222	0,98355
	переміщення	0,46244	1,98586	0,49112	0,47662	2,07682	0,48067
3,8	свідчення	1,37928	0,90557	8,64563	1,74866	1,00329	1,295
	переміщення	0,26315	1,78021	0,28041	0,30314	1,65611	0,31145
6,3	свідчення	1,6754	5,88241	8,91121	2,02852	2,07663	1,58312
	переміщення	0,29612	4,97684	0,26558	0,27986	5,07899	0,28812
8,3	свідчення	1,84095	6,74381	9,08778	2,1886	2,20563	1,77319
	переміщення	0,16555	10,8614	0,17657	0,16008	10,129	0,19007
9,1	свідчення	1,96647	0,96061	9,2074	2,30995	6,28283	1,90084
	переміщення	0,12552	14,2168	0,11962	0,12135	14,0772	0,12765
10,19	свідчення	2,09576	8,63411	9,34526	2,42981	3,28103	2,02373
	переміщення	0,12929	17,6735	0,13786	0,11986	16,9982	0,12289
0	свідчення	0,5053	3,46671	7,64337	0,81511	8,33251	0,34393
	переміщення	-1,59046	-5,1674	-1,70189	-1,6147	-4,94852	-1,6798
12,19 злам каркас.	свідчення	2,18188	3,37101	9,36451	2,51294	8,34931	2,19889
	переміщення	1,67658	19,9043	1,72114	1,69783	20,0168	1,85496
0	свідчення	0,77168	8,99249	7,85658	1,04151	2,77224	0,60201
	переміщення	-1,4102	-5,62148	-1,50793	-1,47143	-5,38835	-1,59688
	Залишковий	0,39923	2,98169	0,30248	0,46561	2,96096	0,38114
	Максимальне	1,80943	22,62331	1,81041	1,93704	22,46975	1,97802

У такій конструкції пінополіуретан може працювати як умовно конструктивний матеріал, здатний відновлювати свою форму після зняття

навантаження протягом певного періоду часу, що не ускладнюється мембраною з склотканини, на відміну від сендвіч-панелей з металевим покриттям.

2.3 Удосконалення «термопанелі» як основного несучого елемента швидкозбірної покрівлі з просторовим каркасом із фанери

Фанера має високу стабільність і практично не схильна до змін розмірів через розширення або усадку, що робить її надійною в експлуатації. Вона стійка до розщеплення, тріщин та скручування. Спеціальна орієнтація шарів підвищує механічну міцність матеріалу, що дозволяє використовувати його в конструктивних елементах, де важливо правильно розподіляти навантаження.

Основною перевагою каркасів з фанери є їхня проста виготовлюваність. Такі каркаси дозволяють встановлювати «термопанелі» безпосередньо на крокви, при цьому забезпечуючи рівномірний розподіл навантажень по всій площі панелі завдяки взаємодії з пінополіуретаном. Це визначає її роль як основного несучого елемента в покрівельних системах.

Кількість поздовжніх та поперечних ребер каркасу залежить від розмірів панелі. На відміну від «сендвіч-панелей», де основна функція покладена на стінки, «термопанель» можна умовно віднести до типу сотопластів. У таких конструкціях смуги орієнтуються у двох перпендикулярних напрямках, де вони з'єднуються за допомогою прорізів.

Розміри «термопанелей» визначаються згідно з існуючими будівельними стандартами та нормами проектування, а також з урахуванням стандартних розмірів утеплювачів. Стандартні розміри «термопанелей» складають 1200 х 600 х 100 мм. Для забезпечення безпеки при монтажі крок решетування не повинен перевищувати 0,25–0,30 м. Щоб підвищити згинальну жорсткість конструкції, внутрішній просторовий каркас проектується з визначеним кроком поздовжніх і поперечних ребер. Поздовжні ребра розташовуються на відстані більше ніж 25

см одне від одного, а поперечні — з інтервалом не більше 26 см. Каркас з'єднується за допомогою пінополіуретану, а для підвищення здатності сприймати згинальні та стискаючі навантаження, зовнішній шар пінополіуретану армують склотканиною типу мембранної тканини «TEND» ТОВ «Парагон». Склотканина є негорючим матеріалом, має високу міцність на розтягування та відносне подовження при розриві, а завдяки чудовій адгезії до пінополіуретану створює монолітну конструкцію «термопанелі».

Для забезпечення стабільної роботи верхньої обшивки під дією зосереджених навантажень, для покращення ефективності фанерного каркасу, використано спеціальну конструкцію, де фанера розміщується на ребро. Це дозволяє збільшити момент інерції перерізу. Враховуючи, що висота панелі становить 100 мм, висота ребра каркаса — 50 мм, довжину визначають за розрахунками, а товщину фанери обирають, спираючись на потрібні характеристики моменту інерції. Для розробки «термопанелей» використовується фанера товщиною 15 мм (рис. 2.17, 2.18).

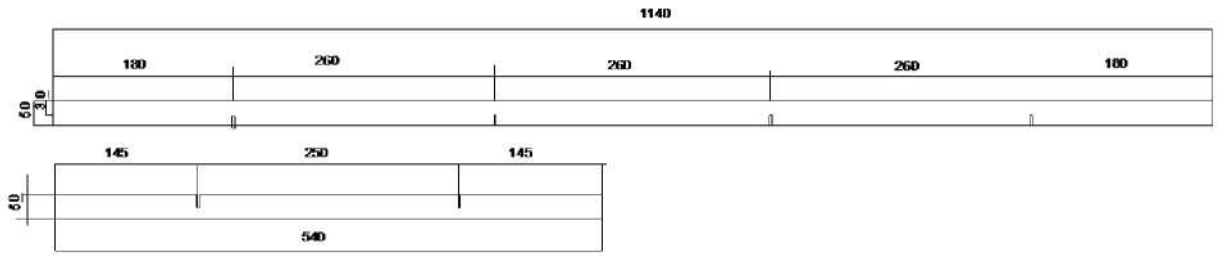


Рисунок 2.17 – Розкрий фанери для каркасу в термопанелі розміром 1200 х 600 х 100 мм

Для правильної установки панелей необхідно враховувати ширину опорного майданчика (близько 5 см) і розташування установчих отворів на відстані не менше 3,5 см від краю бічної поверхні панелі. За допомогою таких плит можна перекривати прольоти до 1100 мм.

З метою забезпечення монолітної роботи конструкції, всі навантаження, що виникають в «термопанелях», мають сприйматися ребрами каркасу і

пінополіуретановим шаром, що з'єднує їх, а також зовнішнім шаром пінополіуретану та склотканиною.

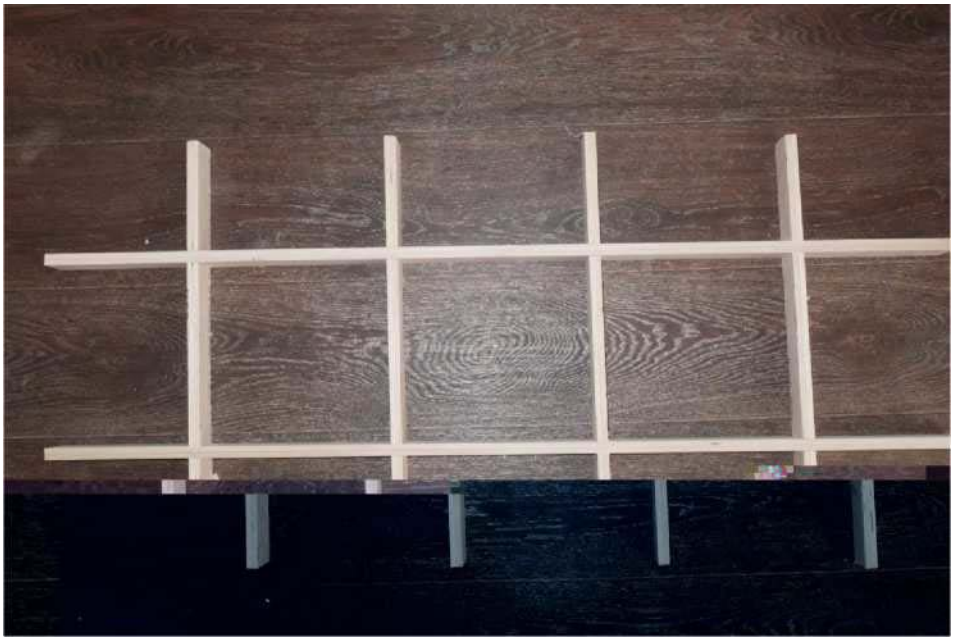


Рисунок 2.18 – Фото просторового фанерного каркасу

Розрахунок «термопанелей» проводили як балки, під навантаженням, розподіленим рівномірно. Максимальний момент припадає на центр прольоту (рис. 2.19). Згідно з отриманими даними, реакція опор від нормативного навантаження становить 1,14 кН, а для розрахункового навантаження — 1,48 кН.

Враховуючи відстань між балками, що дорівнює 1 м, максимальний згинальний момент складає 1,104 кНм. При монтажі зосереджене навантаження від робітника з вантажем має значення 1,2 кН. Розрахунок максимального моменту від цього навантаження показав, що максимальний момент від зосередженої сили дорівнює 0,458 кНм.

Міцність і стійкість конструкції при нормативному навантаженні також були оцінені. Момент інерції для прямокутного перерізу розраховувався відповідно до стандартних формул, а максимальний прогин від розрахункового навантаження для панелі становить 26,7 мм, що перевищує нормативні вимоги (8,2 мм).

Розрахунок прогину панелі при різних навантаженнях показав, що максимальний прогин під дією всіх навантажень буде складати 0,0633 м, що також значно перевищує допустиме значення.

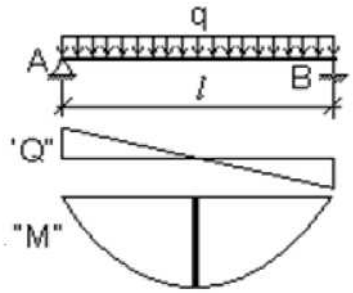


Рисунок 2.19 – Епюри сил та моментів від розподіленого навантаження

Враховуючи ці результати, було прийнято рішення про необхідність коригування перерізу фанерного каркасу. Згідно з розрахунками, мінімальна ширина перерізу повинна бути 3,727 см. Для досягнення потрібної жорсткості в каркасі було вирішено застосовувати фанеру товщиною 18,6 мм, хоча така товщина є досить великою і ускладнює виготовлення каркаса, а також збільшує його вартість.

При цьому враховувався вплив пінополіуретанового шару та обшивок з мембрани на основі скловолокна, що сприяють підвищенню несучої здатності фанерного каркасу, як це було визначено методами професора Гриня.

2.4 Експериментальні дослідження несучої здатності «термопанелі» у напружено-деформованому стані та висновок про залежність наростання переміщення фанерного каркасу від навантаження при спільній роботі пінополіуретану та фанерного каркасу

Експериментальні дослідження проводили з метою визначення міцності та несучої здатності панелей, зокрема, для виявлення закономірностей деформацій,

що залежать від складу матеріалу. Метою випробувань було визначення опору "термопанелей" до початкових пластичних деформацій при тривалому статичному навантаженні, ступінчастому навантаженні, а також оцінка їхньої міцності та здатності до витримування навантажень. Окрім цього, досліджувалася величина максимального навантаження при утворенні найбільшого прогину зразків після проведених випробувань.

На основі показань прогібометрів під час експериментів було складено таблиці залежності переміщень від прикладеного навантаження, а також отримано середні показники змін переміщень при динамічних та статичних навантаженнях. Ці результати порівнювались з розрахунковими для виявлення максимальної несучої здатності панелей.

Для проведення експерименту була виготовлена партія пінополіуретанових панелей розмірами 1200 х 600 х 100 мм, з внутрішнім каркасом та верхнім і нижнім покриттям мембранною склотканиною "TEND". Використовувався жорсткий пінополіуретан з щільністю 38-42 кг/м³, а внутрішній каркас був з фанери товщиною 15 мм. Покриття панелей складалося з негорючої мембрани на основі скловолокна, що використовувалася для захисту експлуатованих покрівель, з високою розривною здатністю не менше 420 Н/кгс.

Наявність мембранного покриття покращує якість верхніх площин (відсутність раковин та порожнин), а конструкція з просторовим каркасом дозволяє використовувати пінополіуретан меншої щільності, що зменшує вагу панелі до 6,35 кг, включаючи вагу каркасу і покриття. Це на 0,08 кг менше за панелі без каркасу.

Плити виготовлялися у прес-формі. Спочатку на дно прес-форми укладалося покриття, після чого встановлювався просторовий каркас з фанери. Потім заливалася суміш, що спінюється, і після початку твердіння відкривалася кришка прес-форми, притоплюючи покриття.

Експеримент проводився згідно з встановленими стандартами. Проводили випробування панелей на тривале статичне навантаження, ступінчасте навантаження, а також на поступове збільшення навантаження. Протягом

випробувань навантаження збільшувалося на величину понад 0,2 кН. Для тестувань використовувався гідравлічний прес потужністю 5000 кН.

Зразки під час механічних випробувань розміщувалися на двох опорах і фіксувалися. Прогини панелей вимірювалися у 6 точках за допомогою прогібометра, з ціною розподілу 0,01 мм. Для точних вимірів випробування проводились вручну. Також використовувався електронний динамометр для визначення пікових значень навантаження.

Перед проведенням випробувань на ступінчасте навантаження, яке було рівномірно розподілене, спочатку провели тестування панелей за умовним монтажним навантаженням, рівним 1,2 кН (середня маса людини). Результати цих експериментів подано в таблицях 11-13 та на рисунках 2.20-2.28. Випробування пінополіуретанових панелей з покриттям і просторовим каркасом на ступінчасте навантаження, що поступово збільшується, проводились при рівномірному короткочасному навантаженні та представлені в таблицях 2.5 і 2.6. Було здійснено 25 циклів тестувань другої панелі з покриттям і каркасом, де кожен цикл включав навантаження та розвантаження (таблиця 2.6).

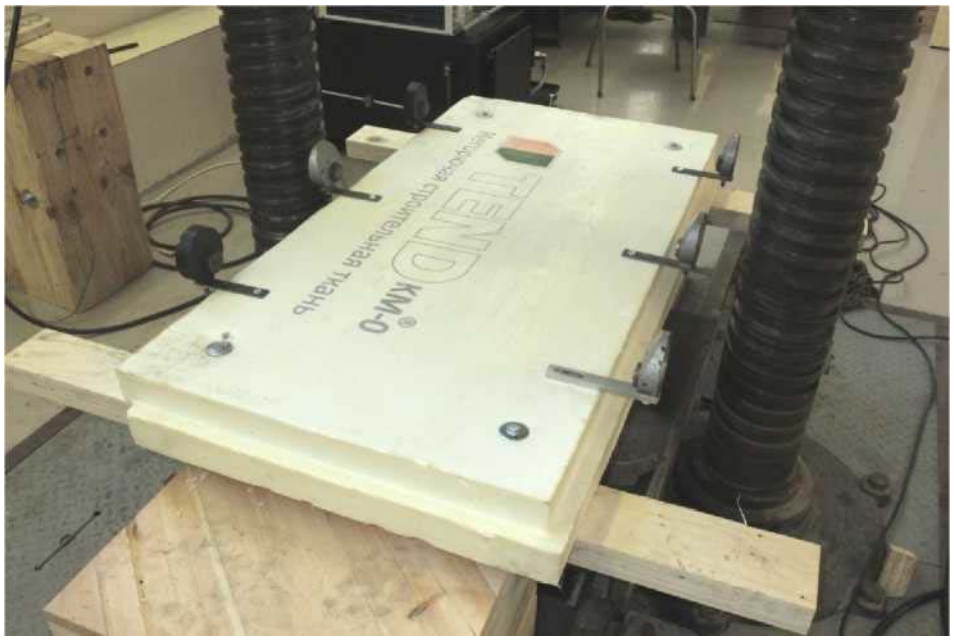


Рисунок 2.20 – Встановлення «термопанелі» для проведення випробувань

Результати випробувань на ступінчасте навантаження представлені в діаграмах на рисунках 2.20-2.22. Згідно з отриманими результатами, виявлено



Рисунок 2.21 – Максимальний зафіксований прогин

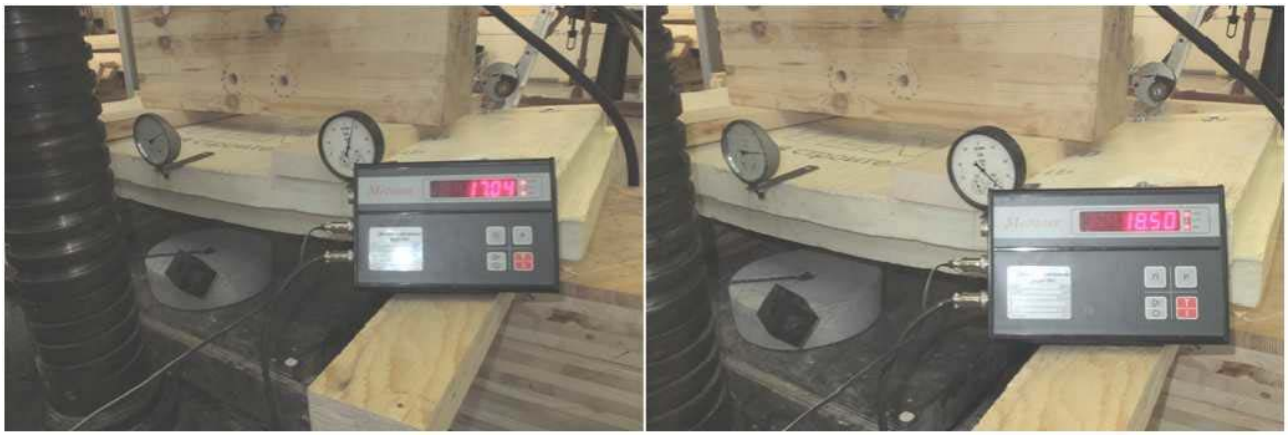


Рисунок 2.22 – Максимальні зафіксовані навантаження

Таблиця 2.5 – Результати натурних випробувань виявлення максимальної несучої здатності і максимального прогину «термопанелі»№1

Дозволене навантаження	Показники переміщень на прогібомірах-6-ПАТ						
		Опора КПП	С1п	Опора КПЛ	Опора КЛП	С2л	Опора
Показники до навантаження	свідчення	1,65897	1,97973	8,94546	0,61898	9,9090	0,54224
	переміщення	0	0	0	0	0	0
4,2	свідчення	1,7104	2,0548	9,03758	0,75702	0,00709	0,64105
	переміщення	0,05143	0,07507	0,09212	0,13804	0,09809	0,09881
0	свідчення	1,67563	1,97413	8,95653	0,68386	0,01841	0,56115
	переміщення	-0,03477	-0,08067	-0,08105	-0,07316	-0,07968	-0,0799
6,4	свідчення	1,83561	2,60786	9,0786	0,80355	0,70901	0,72840
	переміщення	0,15998	0,63373	0,12207	0,11969	0,6906	0,16725
0	свідчення	1,67890	1,89716	8,99629	0,69436	0,03224	0,6287
	переміщення	-0,15671	-0,7107	-0,08231	-0,10919	-0,67677	-0,0997
6,8	свідчення	1,94353	2,59223	9,17878	0,90536	0,70198	0,89214
	переміщення	0,26463	0,69507	0,18249	0,211	0,66974	0,26344
0	свідчення	1,67228	2,22187	8,95173	0,74097	0,24235	0,70545
	переміщення	-0,27125	-0,37036	-0,22705	-0,16439	-0,45963	-0,18669
11,3	свідчення	2,40086	3,16754	9,83085	1,48545	1,12225	1,64665
	переміщення	0,72858	0,94567	0,87912	0,74448	0,8799	0,9412
12,8	свідчення	2,9885	3,61968	0,25748	1,88550	1,65342	1,98939
	переміщення	0,58764	0,45214	0,42663	0,44005	0,53117	0,34274

Продовження табл. 2.5

Дозволене навантаження кН	Показники переміщень на прогібомірах-6-ПАТ						
		Опора КПП	С1п	Опора КПЛ	Опора КЛП	С2л	Опора КЛЛ
0	свідчення	1,97890	2,14648	8,99627	0,9448	0,12771	0,91990
	переміщення	-1,0096	-1,4732	-1,26121	-0,9407	-1,52571	-1,06949
15	свідчення	3,22337	3,32328	0,38857	2,38093	1,33787	2,3327
	переміщення	1,24447	1,1768	1,3923	1,43613	1,21016	1,4128
17,4	свідчення	3,86387	4,03415	0,92867	2,82539	2,03218	2,9411
	переміщення	0,6405	0,71087	0,5401	0,44446	0,69431	0,6084
18,5	свідчення	4,29344	4,68098	1,41860	3,24548	2,77305	3,44542
	переміщення	0,42957	0,64683	0,48993	0,42009	0,74087	0,50432
0	свідчення	2,10246	2,29338	9,21055	1,27530	0,36550	1,3975
	переміщення	-2,19098	-2,3876	-2,1131	-1,97018	-2,40755	-2,04792
16,6	свідчення	4,06353	5,29106	0,97904	3,03430	3,4612	3,23872
	переміщення	1,96107	2,99768	1,76849	1,759	3,0957	1,84122
0	свідчення	2,18568	2,31209	8,97325	1,03435	0,37420	1,35553
	переміщення	-1,87785	-2,97897	-2,00579	-1,99995	-3,087	-1,88319
16,7	свідчення	4,7682	5,45530	1,88109	3,93085	4,10971	4,04125
	переміщення	2,58252	3,14321	2,90784	2,8965	3,73551	2,68572
0	свідчення	2,5912	1,65537	9,36150	0,98085	0,34535	1,86882
	переміщення	-2,1770	-3,79993	-2,51959	-2,95	-3,76436	-2,17243
16,3	свідчення	4,87012	5,69095	1,92213	3,50550	4,28231	4,15665
	переміщення	2,27892	4,03558	2,56063	2,52465	3,93696	2,28783
0	свідчення	2,78882	1,88205	9,24208	0,99855	0,42655	1,86765
	переміщення	-2,0813	-3,8089	-2,68005	-2,50695	3,85576	-2,289
15,7	свідчення	5,28568	4,7862	1,99826	3,86784	3,45118	4,23096
	переміщення	2,49687	2,90415	2,75618	2,86929	3,02463	2,36331
0	свідчення	3,58556	1,0909	9,9813	1,66552	9,8011	2,30955
	переміщення	-1,70013	-3,6953	-2,01696	-2,20232	-3,65008	-1,92141
15,5	свідчення	5,47893	5,12748	1,94216	3,46421	3,81638	4,2606
	переміщення	1,89337	4,03658	1,96086	1,79869	3,91528	1,95105
0	свідчення	3,60551	1,4375	9,98985	1,57652	9,9709	2,6107
	переміщення	-1,87342	-3,68998	-1,95231	-1,88769	-3,84548	-1,6499
13,8	свідчення	5,2897	4,87211	1,81625	3,50551	2,86680	4,1055
	переміщення	1,6842	3,43461	1,8264	1,92899	2,8959	1,4948
13,5	свідчення	5,08019	4,5353	1,58562	3,30894	2,42325	4,0918
	переміщення	-0,20952	-0,33681	-0,24078	-0,19657	-0,44355	-0,0137
0	свідчення	3,48651	2,0509	9,74922	1,74045	0,01135	1,9886
	переміщення	-1,59368	-2,4844	-1,8364	-1,56849	-2,4346	-2,1032
13	свідчення	5,16238	4,76558	1,61534	3,59088	2,66013	4,16663
	переміщення	1,67587	2,71468	1,86612	1,85043	2,64878	2,17803
0	свідчення	2,35556	2,9866	9,92075	1,76441	1,0884	1,98175
	переміщення	-2,80682	-1,77898	-1,69459	-1,82647	-1,57173	-2,18488
	Залишковий	0,69659	1,00687	0,97529	1,14543	0,9974	1,43951
	Максимальне	3,81996	3,71122	3,0528	3,31187	4,37331	3,71836



Рисунок 2.23 – Діаграма залежності переміщень центральної частини термопанелі №1 при циклічних механічних випробуваннях від кількості проведених навантажень

Таблиця 2.6 – Результати випробувань

Дозволене навантаження кН	Показники переміщень на прогібомірах-6-ПАТ						
		Опора КПП	С1п	Опора КПЛ	Опора КЛП	С2л	Опора КЛЛ
Показники до	свідчення	6,006543	0,1096	5,51544	1,86524	6,0967	0,15172
	переміщення	0	0	0	0	0	0
4,93	свідчення	6,03196	0,1463	5,53423	1,88962	6,1352	0,17151
	переміщення	0,02542	0,0367	0,01879	0,02438	0,0385	0,01979
0	свідчення	5,9079	0,0803	5,52033	1,8756	6,0613	0,15901
	переміщення	-0,0124	-0,066	-0,0139	-0,01402	-0,0739	-0,0125
5,58	свідчення	5,95029	0,1763	5,64113	1,9865	6,1478	0,19141
	переміщення	0,04239	0,0960	0,0308	0,0409	0,0865	0,0324
0	свідчення	5,9084	0,0901	5,59853	1,9519	6,0552	0,15531
	переміщення	-0,04189	-0,0862	-0,0426	-0,0346	-0,0926	-0,0361
6,0	свідчення	5,98996	0,2298	5,67403	2,0351	6,1847	0,23051
	переміщення	0,08156	0,1397	0,0755	0,0832	0,1295	0,0752
0	свідчення	5,9057	0,11	5,61423	1,9586	6,0768	0,16076
	переміщення	-0,08426	-0,1198	-0,0598	-0,0765	-0,1079	-0,06975
6,7	свідчення	6,04561	0,3467	5,75983	2,0984	6,2936	0,29926
	переміщення	0,13991	0,2367	0,1456	0,1398	0,2168	0,1385

Продовження табл. 2.6

Дозволене навантаження кН	Показники переміщень на прогібомірах-6-ПАТ							
		Опора КПП	С1п	Опора КПЛ	Опора КЛП	С2л	Опора КЛЛ	
7,6	свідчення	6,06429	0,37138	5,76174	2,10024	6,33068	0,30121	
	переміщення	0,001868	0,02468	0,001908	0,00184	0,03708	0,00195	
0	свідчення	5,8637	0,08228	5,56014	1,89594	6,06378	0,10231	
	переміщення	-0,20059	-0,2891	-0,2016	-0,2043	-0,2669	-0,1989	
8,1	свідчення	6,09568	1,14198	5,78764	2,12684	7,15028	0,33281	
	переміщення	0,23198	1,0597	0,2275	0,2309	1,0865	0,2305	
9,0	свідчення	6,1013	1,24778	5,79214	2,13234	7,25878	0,41881	
	переміщення	0,00562	0,1058	0,0045	0,0055	0,1085	0,086	
10,0	свідчення	6,10313	1,51678	5,79405	2,13429	7,53178	0,42066	
	переміщення	0,00183	0,269	0,00191	0,00195	0,2730	0,00185	
0	свідчення	5,76737	0,15828	5,55856	1,87868	6,11869	0,17006	
	переміщення	-0,33576	-1,3585	-0,23549	-0,25561	-1,41309	-0,2506	
7,1	свідчення	6,09937	1,42968	5,8089	2,18688	7,32864	0,45856	
	переміщення	0,332	1,2714	0,2533	0,3082	1,20995	0,2885	
10,6	свідчення	6,10771	1,76668	5,8279	2,87649	7,63664	0,47746	
	переміщення	0,00834	0,337	0,019	0,06896	0,3080	0,0189	
0	свідчення	5,67181	0,58588	5,426	2,47969	6,38004	0,08846	
	переміщення	-0,4359	-1,1808	-0,4019	-0,3968	-1,2566	-0,389	
8	свідчення	6,10591	1,92638	5,893	2,68131	7,78374	0,52446	
	переміщення	0,4341	1,3405	0,467	0,20162	1,4037	0,436	
10,65	свідчення	6,12167	2,03088	5,91476	2,70299	7,88694	0,54746	
	переміщення	0,01576	0,1045	0,02176	0,02168	0,1032	0,023	
13,36	свідчення	6,22179	2,64598	6,03499	2,8038	8,49154	0,64896	
	переміщення	0,10012	0,6151	0,12023	0,10081	0,6046	0,1015	
15	свідчення	6,43313	3,47538	6,34551	3,0401	9,23604	0,89816	
	переміщення	0,21134	0,8294	0,31052	0,2363	0,7445	0,2492	
16	свідчення	6,65736	3,74588	6,55941	3,21984	9,57094	1,11386	
	переміщення	0,22423	0,2705	0,2139	0,17974	0,3349	0,2157	
14	свідчення	6,44722	3,60608	6,3191	2,91824	9,42964	0,89496	
	переміщення	-0,21014	-0,1398	-0,2403	-0,3016	-0,1413	-0,2189	
0	свідчення	5,88077	0,74438	5,6216	1,93764	6,60334	0,32406	
	переміщення	-0,56645	-2,8617	-0,6975	-0,9806	-2,8263	-0,5709	
15,8	свідчення	6,67978	3,56708	6,2283	2,79818	9,50038	1,07166	
	переміщення	0,79901	2,8227	0,6067	0,86054	2,89704	0,7476	
0	свідчення	6,07631	1,24368	5,6197	1,90802	7,21901	0,27296	
	переміщення	-0,60347	-2,3234	-0,6086	-0,89016	-2,28137	-0,7987	
0	Залишковий	0,066557	1,13408	0,10426	0,04278	1,12231	0,12124	
	Максимальн	0,673237	3,49648	0,71286	0,93294	3,47704	0,96214	



Рисунок 2.24 – Діаграма залежності переміщень центральної частини термопанелі 2 при циклічних механічних випробуваннях

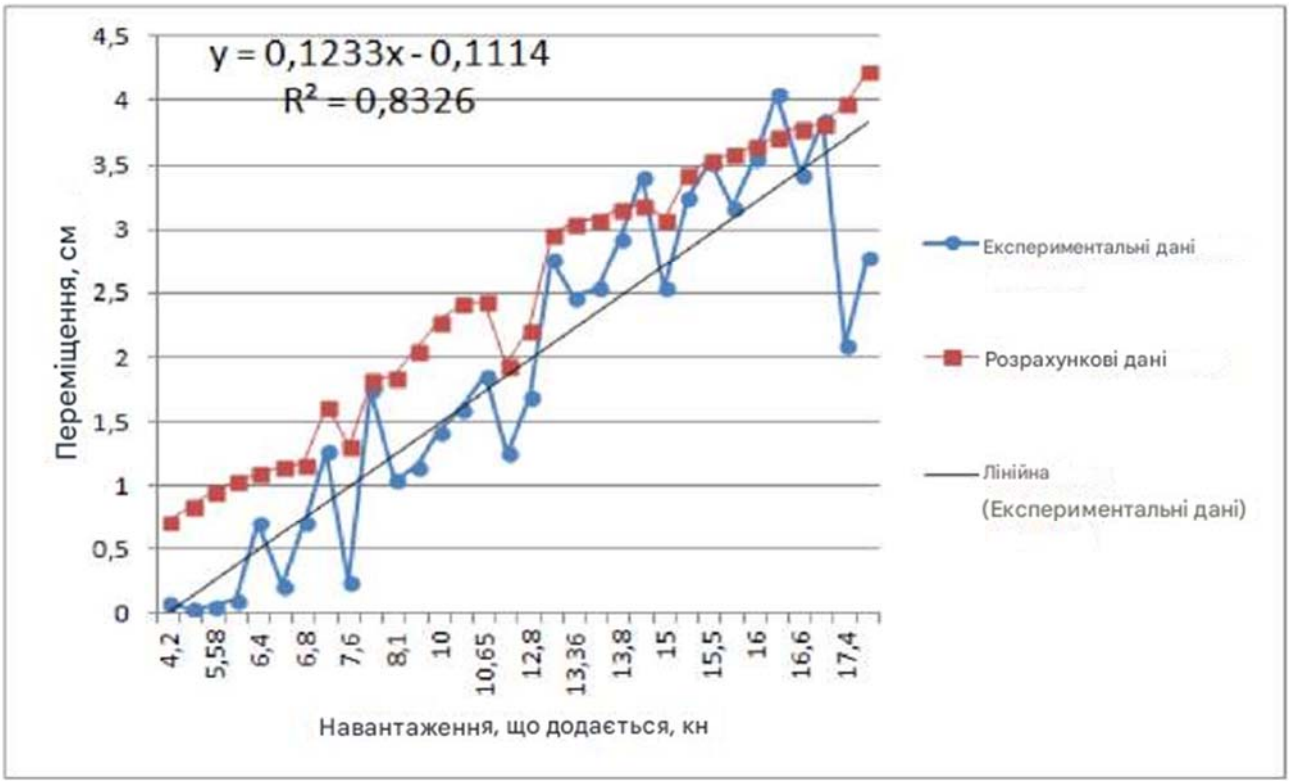


Рисунок 2.25 – Залежність наростання експериментальних та розрахункових переміщень центральної частини панелі від навантаження та кількості проведених експериментів при механічних випробуваннях



Рисунок 2.26 – Залишкова деформація через місяць після зняття навантаження з поліуретанової панелі та через годину - панелі, що має зовнішнє покриття та внутрішній каркас



Рисунок 2.27 – Види залишкової деформації

значне підвищення несучої здатності фанерного каркаса при комбінованому використанні з пінополіуретаном, в середньому на 27-49%. Побудовано графік, що показує залежність переміщень від прикладеного навантаження, а також визначено середні показники переміщень при модулі пружності фанери E = 7500 МПа.

Під час навантаження вимірювались прогини в середині прольоту зразків для кожного етапу навантаження, на основі яких визначалося максимальне руйнівне навантаження. У даному випадку це навантаження, при якому спостерігається максимальний прогин без руйнування, і воно склало 18,5 кН/м.

Випробування на тривале розподілене та ступінчасте навантаження підтвердили гіпотезу про поступове збільшення переміщень, а також показали, що наявність покриття з склотканини та внутрішнього каркасного каркаса підвищують просторову жорсткість панелей, обмежуючи зайві переміщення, що призводять до руйнування панелей без покриття.

В результаті експериментів було виявлено залежність несучої здатності панелей від змінюваних параметрів, таких як щільність пінополіуретану, наявність та розташування каркаса, покриття зі склотканини, а також довжина панелі. Панелі без покриття та каркаса виявляються значно більш деформованими, і максимальний прогин виникає швидше, оскільки панелі мають низький модуль пружності. Без можливості використання експериментальної установки ці панелі б швидко руйнувалися, спричиняючи часткову незворотну деформацію. Залишковий прогин складав 39,8 мм, і навіть через два місяці після зняття навантаження залишкова деформація залишалася на рівні 19,6 мм.

«Термопанелі» з обшивкою з тканини та фанерним каркасом мають вищу несучу здатність, що дозволяє їм краще витримувати навантаження на стиск, зсув і розтягування завдяки мембрані з склотканини і пінополіуретановому шару. На основі результатів досліджень можна припустити, що «термопанель» працює подібно до «дерев'яної балки» під навантаженням, в якій можливо поступове збільшення переміщень із часом. З підвищенням кількості циклів навантаження і розвантаження, переміщення зростають, тоді як сприйняте навантаження зменшується. Наявність покриття з склотканини та внутрішнього каркаса збільшує жорсткість панелей, обмежуючи небажані переміщення.

Невеликі відмінності в переміщенні точок, зафіксованих центральними прогібомірами, а також асиметричні зміщення в чотирьох точках опори, ймовірно, зумовлені похибками в роботі приладів та неправильним розташуванням панелей, хоча загалом панелі переміщувались симетрично під навантаженням.

Під час випробувань було встановлено, що панелі без покриття і без каркаса мають максимальне навантаження в 12,19 кН/м, при цьому максимальний прогин складає 226,2 мм. Панелі з покриттям і просторовим каркасом витримують навантаження в межах 16,8 - 18,5 кН/м, при прогині 68,6 - 80 мм, що значно менше, ніж максимальний прогин без каркаса, який дорівнює 8,2 мм. Залишкова деформація через годину після зняття навантаження становила 83 мм, а через місяць — 24 мм. Отже, панелі з покриттям і каркасом можна віднести до умовно пружно деформованих.

Експерименти також підтвердили, що якщо навантаження на панель не перевищує певної межі, то деформації мають загасаючий характер. Після досягнення цієї межі пінополіуретанова «термопанель» відновлює свою форму. Протягом доби після зняття навантаження 10 кН/м максимальна залишкова деформація склала близько 1 мм. Умовна межа пружності панелей, після якої починаються залишкові деформації, дорівнює напрузі 14 кН/м, що супроводжується незворотними наслідками: залишковий прогин, продавлювання на опорах та складки по центру панелі від стискання верхнього шару пінополіуретану.

При випробуванні «термопанелей» з фанерним каркасом виявлено такі ознаки пластичної деформації:

а) наявність залишкового прогину;

б) утворення складок, що виникають під дією стискаючих напруг, що перевищують критичні значення;

в) не було зафіксовано відшарування склотканини від пінополіуретану або проривів;

г) руйнування пінополіуретану, яке проявляється у вигляді пригнічення під опорами та вм'ятин, що виникають через перевищення межі міцності верхнього шару;

д) відчутні на слух тріщини фанерного каркаса.

Експериментальні дослідження, метою яких було визначити тривалу несучу здатність термопанелі, проводилися поступовим рівномірним статичним

навантаженням із використанням плоских чавунних гир та їх комбінацій загальною вагою 10,5 кг. Це навантаження розраховувалося для одного квадратного метра покрівлі з урахуванням постійного навантаження і запасу міцності, що становило 250 кг. Статичне навантаження трималося на панелі протягом двох місяців, а переміщення фіксувалися за допомогою «Прогібометрів 6-ПАТ», призначених для вимірювання зміщень конструкцій під дією статичних навантажень.

Термопанель була встановлена на дві опори, що імітують кроквяні ноги, і закріплена в місцях передбачуваних кріплень. Прогібоміри були встановлені в чотирьох точках: по два на центральних точках панелі з обох боків, а також на двох опорах з лівої сторони (рисунок 2.28, таблиця 13).



Рисунок 2.28 – Загальний вигляд панелі під час її випробування статичним навантаженням

Поступове навантаження дозволяє визначити межу міцності термопанелі, тривалу її опірність постійному статичному навантаженню та реальну міцність, що визначається спільною роботою пінополіуретану і фанерного каркасу. За результатами експериментів була побудована асимптотична крива тривалого опору при розрахунковому модулі пружності фанери E = 7500 МПа (рисунок 38, таблиця 14).

Асимптотична форма кривої показує (див. рисунок 2.28), що межа міцності стабілізується до певного постійного значення під впливом поздовжніх сил. З певного моменту величина прогину різко збільшується, тобто до постійного навантаження додаються пружні деформації, а з часом у фанерному каркасі виникають як пружні, так і залишкові деформації, зокрема пов'язані з процесом повзучості, коли деформація зразка відбувається без збільшення навантаження. Середній максимальний прогин під впливом постійного навантаження 250 кг за два місяці склав 7,8 мм, що менше розрахункового значення 8,2 мм, що підтверджує правильність розрахунків жорсткості конструкції.

Зниження міцності матеріалів під впливом циклічних напруг відбувається швидше, що призводить до розвитку втомної деформації. Граничні значення навантажень і кількість циклів навантаження повинні забезпечувати, щоб максимальний прогин не перевищував значення [f/l] = 1/120 = 0,0083 м, з експериментальних даних видно, що для ступінчастого навантаження, відповідно до цих вимог, максимальні навантаження не повинні перевищувати 6,8 - 8,1 кН/м.



Рисунок 2.29 – Випробування фанерного каркаса на здатність, що несе.

Експериментально було підтверджено, що пінополіуретан значно зменшує переміщення фанерного каркаса, працюючи як демпфер, що збільшує несучу здатність панелі, завдяки гарній адгезії з фанерою. Максимальний прогин панелі був значно меншим, ніж очікуваний за розрахунками. Якщо руйнування плити з пінополістиролу з фанерним каркасом та покриттям мембранною тканиною

«TEND» відбувалося при навантаженні 3,68 кН, то навантаження в 18,5 кН, яке виникло під час експерименту на термопанелі, не призвело до руйнування конструкції. Для досягнення високих характеристик каркас слід розташовувати ближче до центру панелі.

Для підтвердження демпфуючих властивостей пінополіуретану з фанерного каркаса, який використовується для виготовлення термопанелей, були проведені випробування каркасних смуг аналогічного розміру. Випробування проводилися на гідравлічному пресі AEG5000, а для зняття показників використовувався динамометр Мегавес ДАЦ-С-100-2 з тензодатчиком, встановленим під верхньою платформою преса. Було проведено три експерименти, і середнє навантаження на дві лінії каркаса з фанери товщиною 15 мм та висотою 50 мм склало 1,8 кН, що є недостатнім для використання фанери як несучого елемента в конструкціях з легкими утеплювачами.



Рисунок 2.30 – Виготовлення плит з пінополістиролу

Для порівняння демпфуючих характеристик пінополіуретану та пінополістиролу були проведені дослідження зразків пінополістирольних плит, виготовлених за аналогією з термопанелями. Три плити з пінополістиролу з внутрішнім каркасом та мембранним покриттям «TEND» на основі склополотна були виготовлені для тестів. Як сполучний матеріал між каркасом і обшивками з склотканини використовувався пінополістирол марки «Knauf Therm», що має коефіцієнт теплопровідності Х = 0,039 (Вт/м·К) та міцність на стиск 70 кПа.

Плити були встановлені на опори короткими кінцями та зафіксовані. Випробування проводилися за допомогою гідравлічного преса «AEG5000», а для вимірювання навантаження використовувався електронний динамометр «Мегавес ДАЦ-С-100-2» з тензодатчиком, розташованим під верхньою платформою преса. Індикатор фіксував пікові значення навантаження на дисплеї. Крок навантаження становив ± 0,2 кН.

Максимальне навантаження до руйнування склало 3,68 кН, що практично дорівнює розрахунковому навантаженню, але виявилося недостатнім з огляду на необхідний запас міцності. Характер руйнування пінополістиролової плити вказує на різні властивості матеріалів, а саме відсутність згинальної міцності пінополістиролу, погане зчеплення з фанерою та склотканинами, що обмежує несучу здатність пінополістиролових плит (рисунки 2.31, 2.32).



Рисунок 2.31 – Експерименту на здатність пінополістирольних плит, що несе, з фіксацією середнього навантаження в 3,18 кН

Зважаючи на поступове наростання переміщень, для регресивного аналізу побудована експоненційна лінія тренду, яка наближено описує процес (див. рис. 34):

$$y = 0.1233x - 0.111$$

З використанням цієї лінії отримано рівняння для інтерполяції зниження переміщення від навантаження, порівняно з розрахунковим, що враховує демпфуючі властивості пінополіуретану у співпраці з фанерним каркасом:

$$y = -1.023 - 0.314827x$$

де \(y\) – зниження переміщення від розрахункового навантаження, мм, а \(x\) – навантаження, що додається.



Рисунок 2.32 – Характерні ознаки руйнування пінополістирольної плити: тріщини в каркасі, відшарування склотканини у верхній частині плити, та розкриття тріщин у нижній частині плити, що утримуються від подальшого обвалення тільки склотканини

У запропонованій конструкції термопанелі пінополіуретан не лише виконує роль з'єднувального шару між обшивками, а й забезпечує несучі та теплоізоляційні функції, поглинаючи частину напружень, що виникають при згині плити. Це дозволяє забезпечити ефективну взаємодію фанерного каркаса та склотканини.

Таким чином, згинальний момент сприймають тканинні покриття і фанерний каркас, які з’єднані пінополіуретановим шаром, а поперечні зусилля розподіляються між пінополіуретановим шаром і бічними ребрами каркаса завдяки хорошій адгезії пінополіуретану до каркасу.

На відміну від покрівельних сендвіч-панелей, які не утворюють жорсткої дискової структури, термопанелі, згідно з отриманими результатами, мають

більшу несучу здатність при невеликій власній масі та високій міцності. Обшивки зі сталі не мають значної жорсткості на вигин і при навантаженнях 8-10 кН отримують незворотні деформації, на відміну від обшивок зі склотканини.

Експерименти показали, що термопанелі мають достатній запас міцності (до запасу = 1,28). При використанні профільованих поверхонь на багатошарових панелях їх несуча здатність зростає.

Для досягнення вимог пожежної безпеки можна виготовляти панелі з пінополіізоціанурату або модифікацій пінополіуретану (Г1), з каркасом з базальтового волокна та прошарком кам'яної вати між пінополіуретаном і склотканиною.

Експериментальні дослідження для перевірки теплових характеристик запропонованої конструкції термопанелі проводилися в спеціальній камері за допомогою тепловізора TESTO 875-1 (рисунок 2.33).

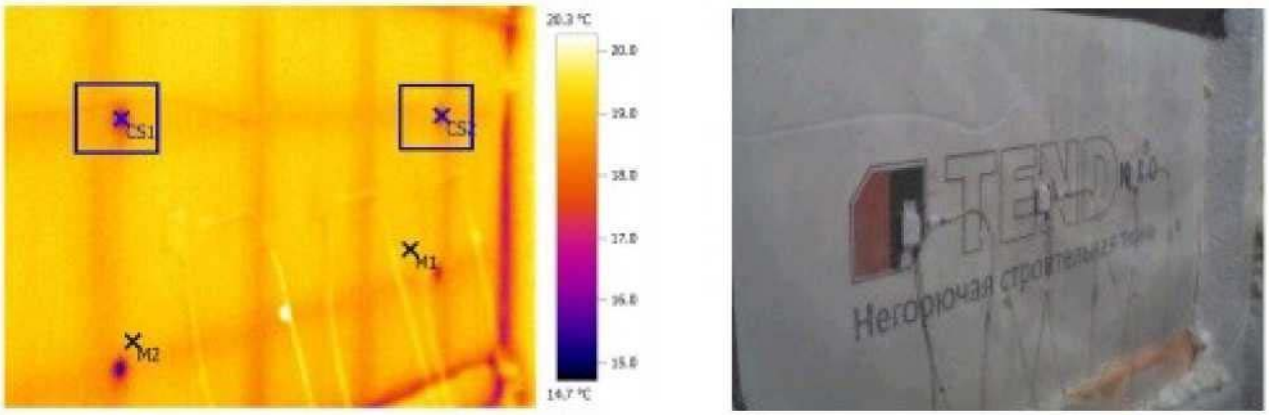


Рисунок 2.33 – Термовипробування в камері з використанням тепловізора TESTO 875-1

2.5 Розробка конструкції «термопанелі» як основного несучого елемента з каркасом із базальтового волокна

Для покращення вогнестійкості та підвищення несучої здатності термопанелей пропонується використовувати каркас з базальтового волокна. Це

матеріал з хорошими адгезивними властивостями, який є незаймистим, стійким до електромагнітних випромінювань і не проводить електричний струм, що є важливим для конструкцій покрівлі. Розробка базальтового волокна в СРСР почалася в 50-х роках для використання в авіаційній промисловості, а останнім часом цей матеріал почали застосовувати для створення каркасів фундаментів і армуючих сіток у дорожньому будівництві.

Фізико-механічні властивості базальтової арматури залежать від типу волокна і в'яжучого матеріалу. Товщина арматури вибирається з урахуванням необхідних навантажень. Для каркасу термопанелей передбачено використання базальтової арматури діаметром 8 мм (див. рисунок 2.34, таблиця 2.7). Розрахункові характеристики арматури для оцінки її несучої здатності мають ґрунтуватися на результатах випробувань та враховувати коефіцієнти надійності і тривалість навантажень, тому планується провести дослідження міцності матеріалу на розтяг та розрив.



Рисунок 2.34 – Моток базальтової арматури

Метою експерименту з поздовжнього розтягування є перевірка міцності базальтової арматури в результаті натягу, а також порівняння отриманих результатів з характеристиками сталевої арматури для подальших розрахунків.

Для тестування зразки арматури діаметром 8 мм були вирізані з витків довжиною 0,25 м. Діаметр зразків був додатково виміряний штангенциркулем, і виявлено, що насправді базальтова арматура має нерівномірний діаметр по всій довжині витка. Середній діаметр зразків становив 7,6 мм при заявленому значенні 8 мм. Випробування проводилися на розривній машині Instron 5969 100 кН в автоматичному режимі зі швидкістю навантаження 10 мм/хв (див. рисунок 2.35).

Таблиця 2.7 – Щільність та теплофізичні властивості базальтової арматури

Щільність г/мс3	1,25/2,2
Теплофізичні властивості	
Максимальна робоча температура (°C)	320
Мінімальна робоча температура (°C)	-100
Теплопровідність (Вт/м^К)	0,031/0,038
Температура плавлення	820



Рисунок 2.35 – Експериментальне встановлення для випробувань базальтової арматури

Результати випробувань показали, що при розтягуванні арматури спостерігається крихке руйнування без утворення витягнутого шийки розриву, що характерно для таких матеріалів, як поліамідне волокно або сталь (рисунки 35, 36, 37). З результатів видно, що зрив верхньої поверхні базальтової арматури відбувається швидше за її розрив і руйнування (див. рис. 49). Це вказує на те, що базальтова арматура має високу розривну жорсткість, але знижену згинальну

міцність. Середнє подовження арматури при розтягуванні становило лише 5,58%.

Отримані результати аналогічні характеристикам холоднотянутого дроту класу «В» діаметром 6 мм, що є на один міліметр меншим за діаметр базальтового волокна. Проте, базальтове волокно має низьку вагу, не схильне до корозії та іржі, не створює «містків холоду» і здатне забезпечити високу енергоефективність термопанелей.

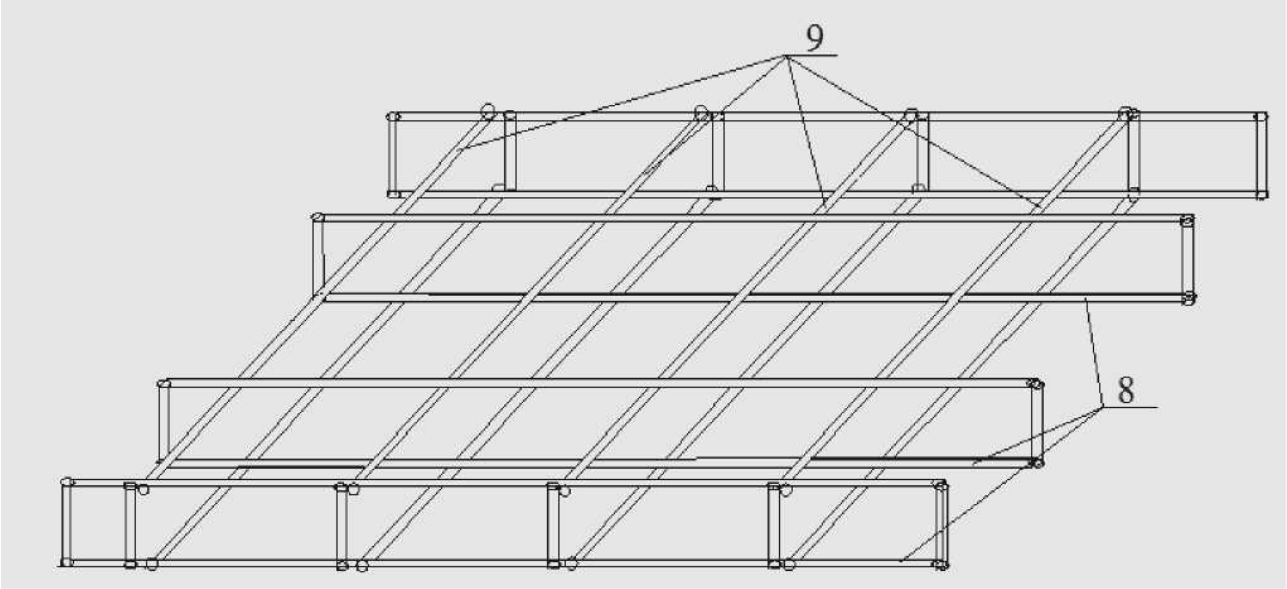


Рисунок 2.36 – Просторовий каркас із базальтової арматури: 8 - поздовжні ребра; 9 – поперечні

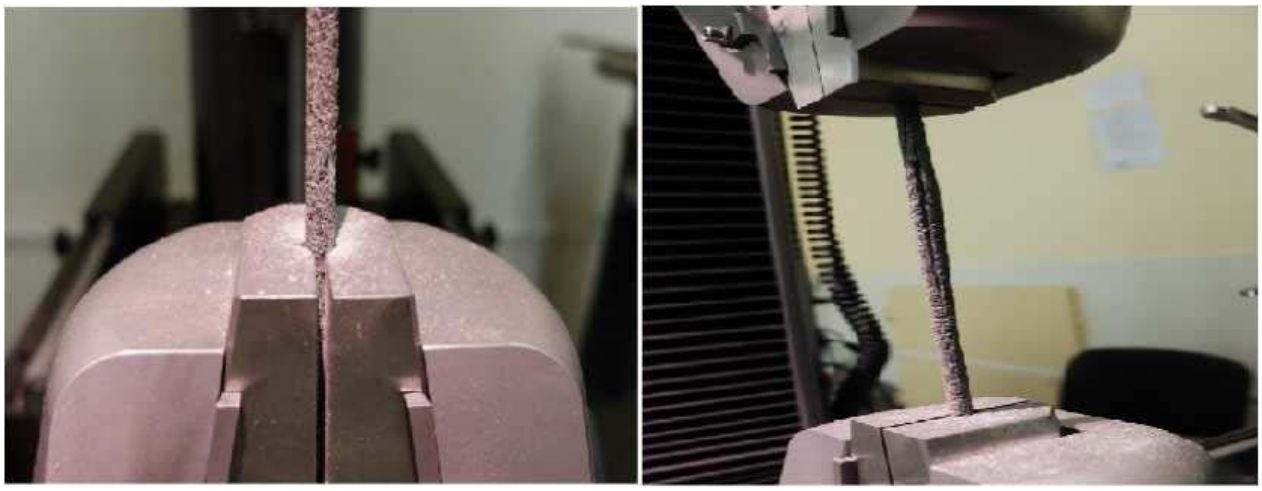


Рисунок 2.37 – Характерні особливості руйнування базальтової арматури

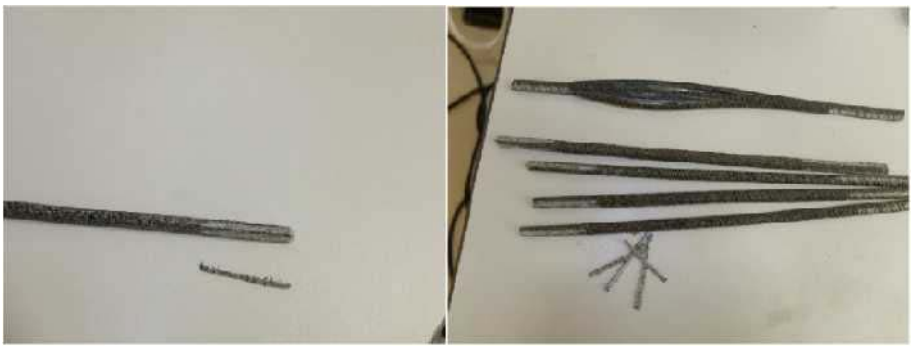


Рисунок 2.38 – Базальтова арматура після проведення експериментів на розтяг, з характерними ознаками руйнування

В 2015 році в ЦНДІБК ім. В. А. Кучеренка разом з фахівцями університету дружби народів були проведені дослідження, що підтвердили ефективність використання арматурних сіток з базальтового волокна для посилення покрівельних конструкцій. Це дозволяє покращити теплопровідність і підвищити міцність при стисканні.

Завдяки хорошій адгезії базальтового волокна з пінополіуретаном можна створити міцну монолітну конструкцію, яка буде мати високу несучу здатність, значно перевищуючи показники інших конструкцій покрівель з низьким рівнем теплопровідності. Однак, основним недоліком використання базальтового волокна як каркасного матеріалу є необхідність застосування спеціальних сіток або стрижнів заводського виготовлення.

3 ВИРОБНИЧІ ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ВЛАШТУВАННЯ І РЕКОНСТРУКЦІЇ ВЕНТИЛОВАНОЇ ФАЛЬЦЕВОЇ ПОКРІВЛІ З УНІФІКОВАНИХ ШВИДКОЗБІРНИХ ЕЛЕМЕНТІВ

3.1 Виробнича перевірка пропонованої технології пристрою вентильованої фальцевої покрівлі в умовах будмайданчика

Виробнича перевірка запропонованої технології здійснювалася в умовах будівельного майданчика на базі забудови у місті Запоріжжя. У ході перевірки було підтверджено, що застосування уніфікованих швидкозбірних елементів («термопанелей») та використання дюбельної системи кріплення покрівлі дозволяє перенести частину технологічних операцій у заводські умови. Це включає виготовлення термопанелей, пробивку отворів у кроквах, а також їхнє просочення захисними речовинами.

Ключовим етапом розробленої технології є «суха» установка заводських термопанелей на кроквяну систему, що здійснюється із застосуванням дюбельних з'єднань та подальшим укладанням гідроізоляційного покрівельного покриття.

Допоміжні процеси включають підготовчі роботи, такі як транспортування, переміщення матеріалів та обладнання, а також контроль якості виконання робіт. Перед початком монтажу покрівлі необхідно повністю завершити зведення надземної частини будівлі.

На заводі виготовляються комплектуючі для покрівлі, включно з термопанелями, які мають установочні отвори на бокових поверхнях, а також крокви з пробитими монтажними отворами. Для підвищення вогнестійкості всі дерев'яні елементи, зокрема крокви, проходять обробку спеціальними захисними складами.

Металеві конструкції та крокви покриваються захисними сумішами на основі рідкого скла, терморозширюваного графіту та колоїдного кремнезему. Дерев'яні елементи просочують вогнезахисними речовинами, такими як Латик КД, ВАНН-1 або антипірени серій «ПП», «МС» та «МС 1:1».

Наступним етапом є попереднє укрупнене складання та підгонка всіх елементів відповідно до проектних розмірів. Виконується маркування крокв, лежнів, розтяжок, конькових прогонів та мауерлатів, визначається проектне розташування кроквяних ніг та перевіряється висота стійок.

Підготовлені матеріали, інструменти та обладнання транспортуються на будівельний майданчик, після чого здійснюється їх підйом на покрівлю з урахуванням необхідного запасу комплектуючих для проведення робіт упродовж зміни.

Послідовність виконання операцій у розробленій технології монтажу фальцевої покрівлі з використанням уніфікованих швидкозбірних елементів включає такі етапи:

- Перевірка підготовчих робіт: оцінюється рівність місць примикання, контролюється стан страхувальних пристроїв та засобів захисту. Усі працівники забезпечуються індивідуальними засобами безпеки (каски, спеціальний одяг, страхувальні пояси, взуття з протиковзкою підошвою). Проводиться обов’язковий інструктаж з техніки безпеки та пожежної безпеки, а також оформлюється відповідний акт-допуск перед кожною зміною.

- Встановлення дюбелів у крокви перед їхнім підйомом на покрівлю.

- Монтаж мауерлатів, затяжок і лежнів, після чого виконується закріплення стійок та монтаж конькових прогонів. Встановлення прогонів та стійок здійснюється поступово, безперервно, до повного завершення фіксації всіх конструктивних елементів.

- Стропування та підйом крокв на покрівлю. Монтаж кроквяних ніг до мауерлата та конькового прогону виконується «маячковим» методом: спочатку фіксують крайні крокви, а потім – проміжні, дотримуючись однакового кроку згідно з розміченими мітками.

- Стропування, підйом та встановлення «термопанелей», що мають бічні та поздовжні з'єднання типу шип-паз або зі зміщенням, що забезпечує безперервний ізоляційний шар та запобігає утворенню «містків холоду» (рисунок 3.1).



Рисунок 3.1 – Монтаж «термопанелей» на попередньо встановлену дюбельну систему

- Облаштування карнизних звисів і зовнішньої системи водостоку. Виготовлення покрівельних картин із паралельним нанесенням антиконденсатного покриття на покрівельних верстатах.

- Монтаж клямерів на дюбельну систему та закріплення конструкції з «термопанелями» до кроквяної системи за допомогою кріпильних елементів. Якщо відстань між кроквами менше 900 мм, можливе безклямерне кріплення фальцевого листа з використанням кріпильної стрічки.

- Закриття фальцевого з'єднання за допомогою механізованих пристроїв для фальцезакатки (рисунок 3.2) або універсальних фальцезакатних машинок, що виконують одночасне закриття Г-подібного або подвійного стоячого фальца. Покрівельні листи з’єднуються методом подвійного стоячого фальца або самозащіпного фальца (див. рисунок 2.2).

- Монтаж конькових вузлів, що завершує процес облаштування покрівлі.

Під час перерв у роботі всі незакріплені деталі та інструменти мають бути прибрані з покрівлі або надійно зафіксовані.



Рисунок 3.2 – Дозакриття фальців рамками другого проходу

Будівлю поділяють на захватки, які, у свою чергу, розподіляються на монтажні та робочі зони. На кожній із них виконується лише один тип робіт, що забезпечує чітку технологічну послідовність.

Кількість робітників у бригаді визначається на основі складності процесів, оптимального поєднання професій і кваліфікаційних рівнів, а також необхідності виконання всіх етапів у мінімальні строки з дотриманням якості.

Монтаж «термопанелей» здійснюється поетапно, починаючи з лівого нижнього кута будівлі, у напрямку справа наліво та від карниза до ковзана. Перша «термопанель» встановлюється у крайню нижню точку, з перекриттям нижніх і верхніх рядів покрівельних листів.

Процес укладання покрівельного покриття розпочинається з підшивки карнизного звису правого кута будівлі, рухаючись ліворуч і зверху вниз. Такий метод дозволяє бригаді, поділеній на дві ланки, працювати одночасно на кількох захватках, забезпечуючи міжопераційну затримку не більше 15 хвилин. Це сприяє рівномірному розподілу роботи та зведенню простоїв до мінімуму (рисунок 3.3).

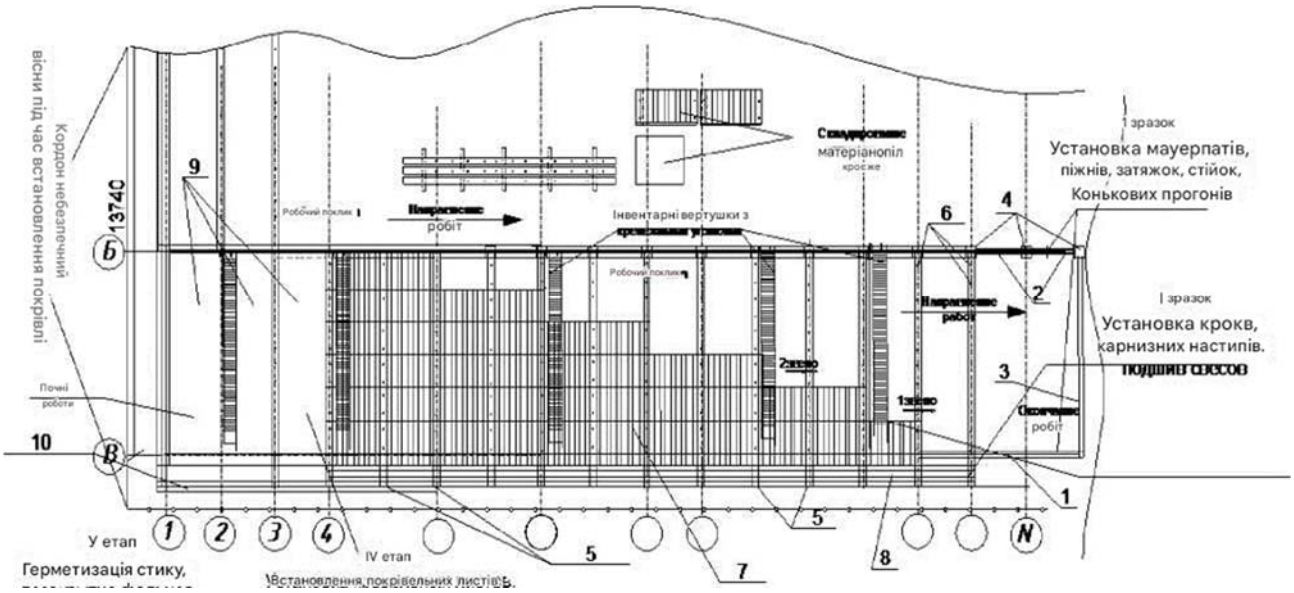


Рисунок 3.3 – Технологія монтажу фальцевої покрівлі вентильованої з уніфікованих швидкозбірних елементів, з визначенням основних етапів монтажу: 1 - мауерлати; 2 - лежні; 3 – затяжки; 4 – стійки; 5 - крокви; 6 – дюбеля; 7 – «термопанель»; 8 - підшив звісу; 9 - покрівельні листи рядового покриття; 10 - картина настінного жолоба

Відсутність необхідності проведення зварювальних і точних регулювальних робіт безпосередньо на висоті, а також відсутність вузлів, що монтуються «всліпу», дає змогу підвищити ефективність процесу. Завдяки цьому трійка покрівельників виконує монтаж «термопанелей» та покрівельного покриття з високою точністю, тоді як ще двоє працівників займаються подачею матеріалів.

При зведенні великопрогонових споруд, таких як ангари або промислові комплекси, монтаж окремими елементами є досить складним, адже потребує додаткових страхувальних пристроїв і спеціального обладнання для закріплення. Запропонована технологія дає змогу виконувати монтаж без використання складної підйомної техніки, зберігаючи всі переваги рулонного покриття.

У випадку багатопролітних будівель дана методика дозволяє здійснювати покрокове введення об'єкта в експлуатацію. Крім того, «термопанелі» можуть

тимчасово виконувати функцію покрівлі до завершення остаточного облаштування.

Технологія «розкочування» термопанелей, запропонована автором, передбачає попереднє збирання панелей на всю довжину ската (рисунки 3.4–3.6). Усередині конструкції передбачені пластикові трубки, крізь які протягнуті гумові шнури з кількох міцних жил, покритих зовнішнім обплетенням для підвищення жорсткості. Це не лише полегшує розгортання панелей і монтаж, а й забезпечує додаткове поглинання вібрацій, що сприяє підвищенню міцності покрівлі.

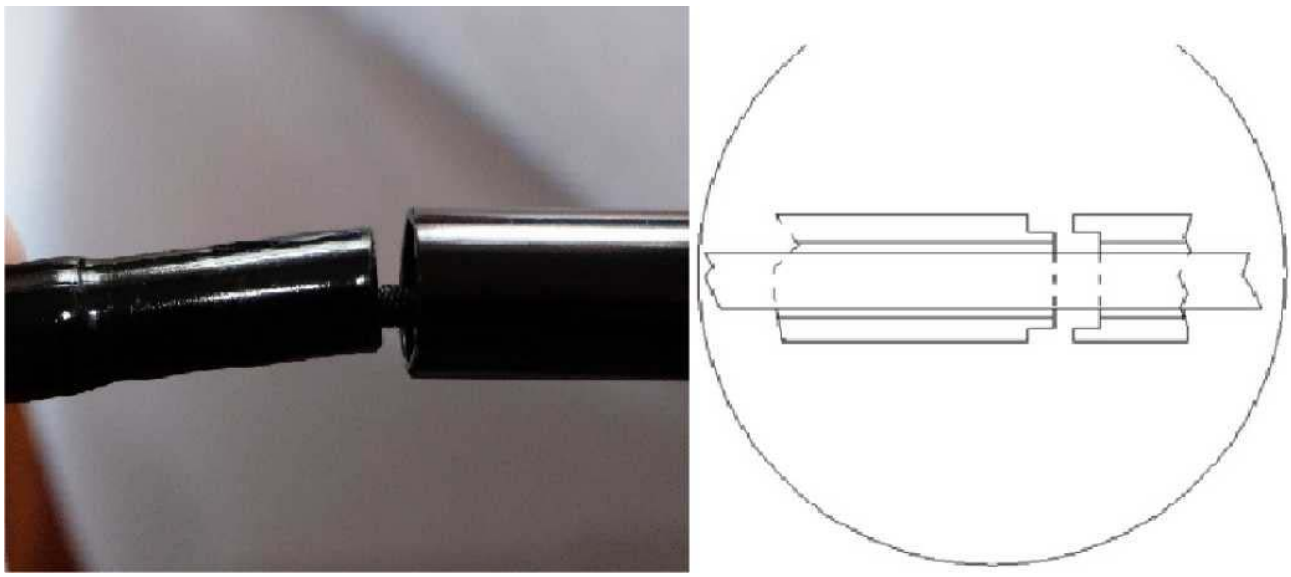


Рисунок 3.4 – Вузол з'єднання внутрішніх трубок термопанелей

Готові термопанелі, змонтовані по довжині ската, піднімаються на дах (див. рисунки 3.5–3.7) та розгортаються від карниза до ковзана. Для першої панелі дюбельні кріплення встановлюються у відповідні отвори біля карниза, а наступні – у міру розкочування, після чого всі елементи фіксуються кріпильними деталями (рисунок 3.7).

При будівництві ангарів і холодильних сховищ із використанням ЛСТК (легких сталевих конструкцій) зварювальні роботи є неможливими, тому застосування дюбельної системи для кріплення «термопанелей» повністю вирішує це питання.

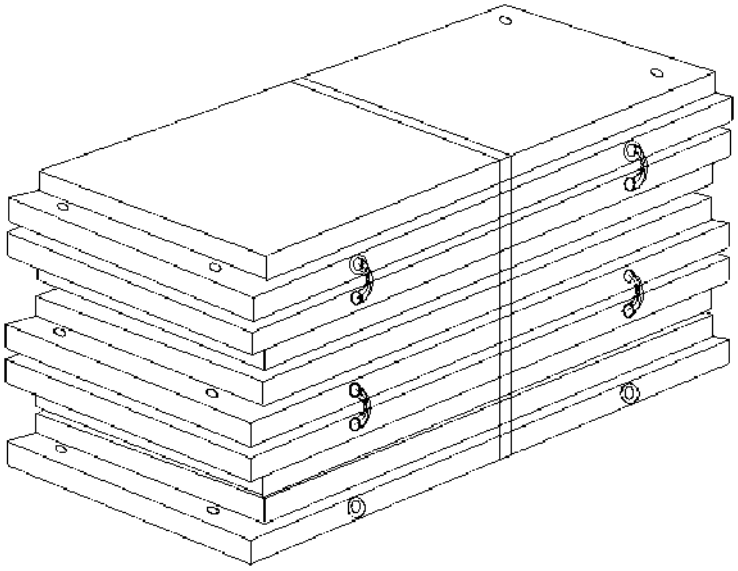


Рисунок 3.5 – Панель у зібраному вигляді, схематичне зображення

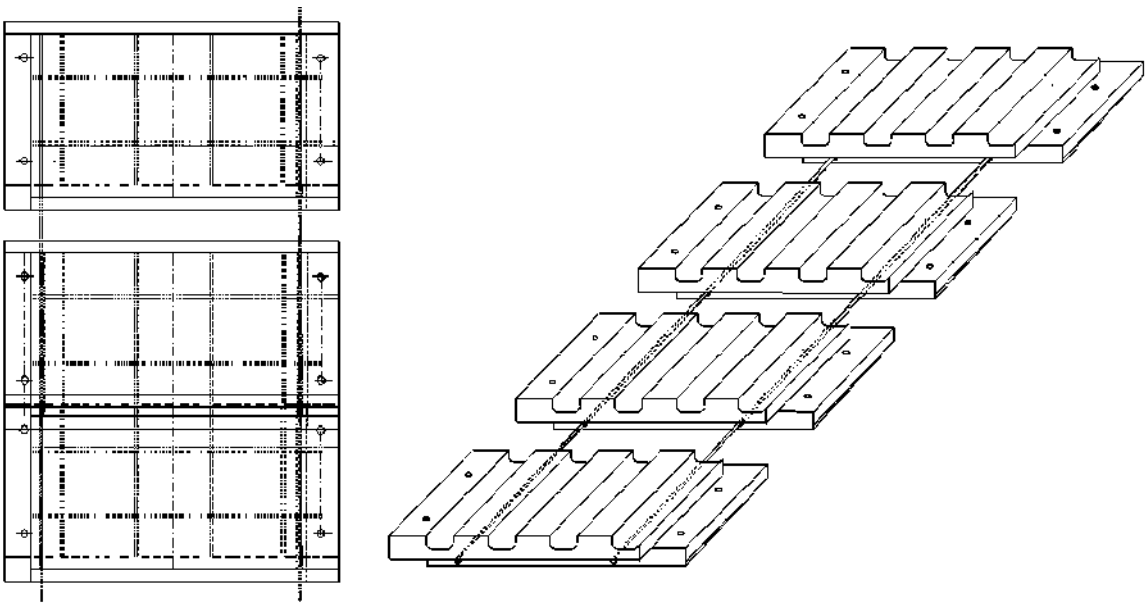


Рисунок 3.5 – Схема розтягнутих на гумках термопанелей перед з'єднанням (без промальовування ребристого покриття та під кутом 45°). Пунктиром показаний внутрішній каркас, з поперечних і поздовжніх ребер, що перетинаються

Оскільки профілі з ЛСТК можуть бути «містками холоду», що є неприпустимим для холодильних приміщень, можливий додатковий монтаж внутрішнього шару плоских термопанелей. Це створює додатковий повітряний прошарок, що підвищує енергоефективність споруди.

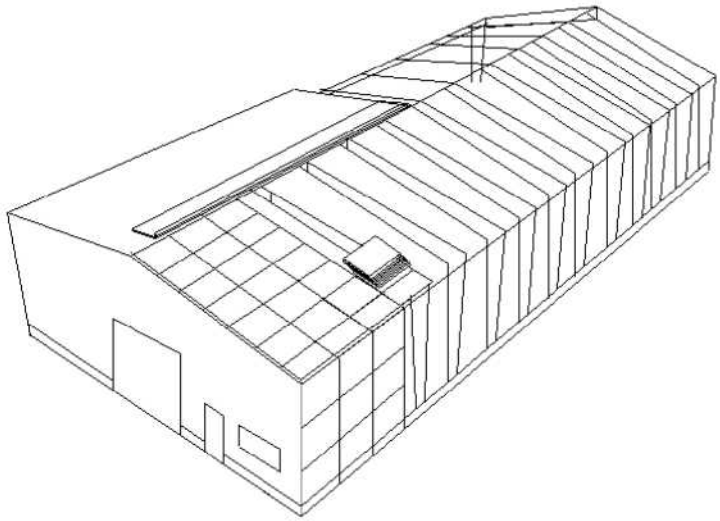


Рисунок 3.6 – Схема «розкочування» «термопанелей» по скату ангару (без промальовування ребристого покриття)

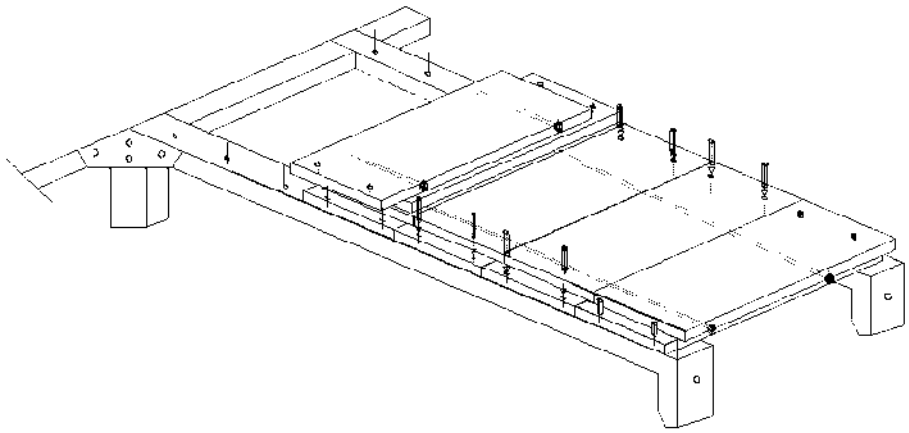


Рисунок 3.7 – Схема «розкочування» «термопанелей» (без промальовування ребристого покриття)

Перед монтажем у кроквах попередньо встановлюються дюбельні кріплення, на які фіксуються термопанелі. У разі двостороннього монтажу зовнішня сторона виконується з використанням ребристих термопанелей, на які монтується металева фальцева покрівля. Нижній лист покрівлі фіксується кріпильним елементом, а верхній – замикається наступним листом через засувку.

Внутрішня частина кріпильного елемента фіксується за допомогою поліамідної гайки з ковпачком (рисунок 3.8).

Перед початком покрівельних робіт необхідно розробити будівельний генеральний план, у якому зазначаються місця зберігання матеріалів, розташування під'їзних шляхів, а також небезпечні зони з відповідними забороннними знаками.

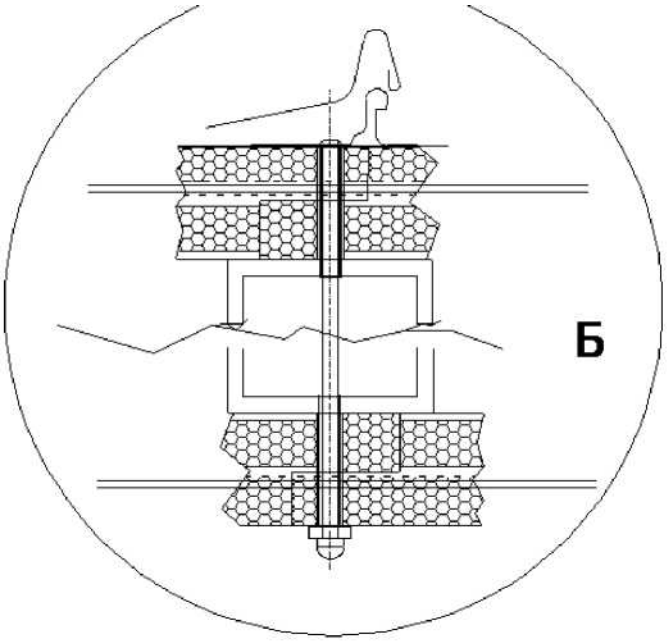


Рисунок 3.8 – Вузол з'єднання покрівельної «термопанелі» із кроквами та нижньою підшивкою

Якщо довжина будівлі дозволяє поділити її більш ніж на дві захватки, можна застосовувати два лебідкові крани, розташовані з протилежних боків будівлі. Це дає змогу виконувати монтажні роботи у напрямку один до одного, дотримуючись вимог безпеки (рисунок 3.9).

Щоб гарантувати безпечні умови праці покрівельників, необхідно встановити огородження, облаштувати ходові містки та натягнути додаткові захисні сітки. Для робітників слід передбачити тимчасові споруди, включно з приміщеннями для відпочинку, прийому їжі та гігієнічних процедур. Також важливо забезпечити працівників засобами індивідуального захисту, зокрема страхувальними поясами з міцним тросом, касками та спеціальним взуттям із гумовою підошвою для зменшення ризику ковзання.

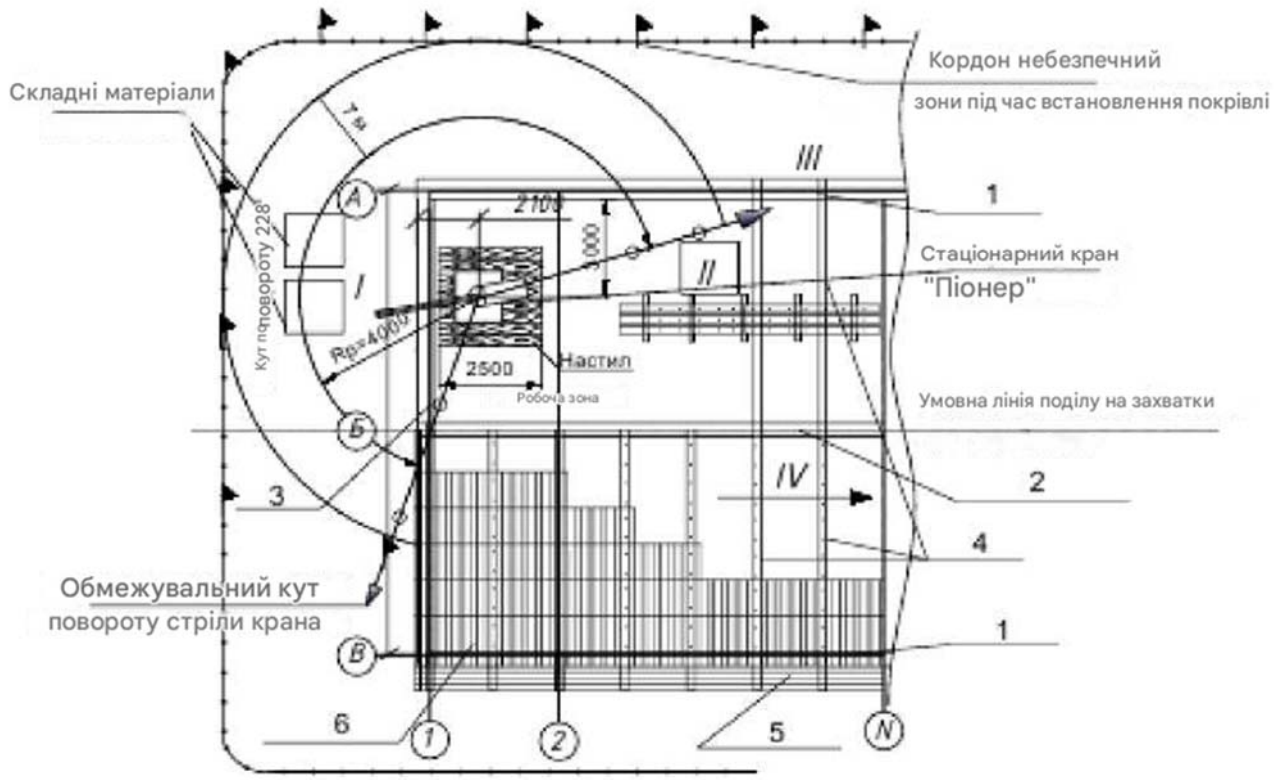


Рисунок 3.9 – Послідовність монтажу "термопанелей" (робота крана повинна бути завершена до початку встановлення "термопанелей"): - підйом матеріалів на монтажний горизонт, II - складування крокв, панелей, та кріпильних елементів; стійок і крокв у проектне положення; "термопанелей"; 1 – мауерлат, 2 – коньковий прогін, 3 – затяжка, 4 – крокви, 5 – підшивка звису, 6 – «термопанелі»

Перед початком робіт кожен працівник повинен пройти інструктаж з техніки безпеки, що підтверджується підписом у відповідному журналі.

У процесі виробничих випробувань була протестована нова методика монтажу фальцевої покрівлі, що передбачає використання швидкозбірних елементів безпосередньо на будівельному майданчику. Була розроблена оптимальна послідовність монтажу, яка має низку переваг перед традиційними підходами:

- Виготовлення, складання та маркування конструктивних елементів здійснюється на заводі, що значно спрощує та прискорює монтаж, мінімізуючи ймовірність дефектів.

- Використання болтових з'єднань дозволяє за необхідності розбирати конструкцію та повторно використовувати її елементи.

- Відсутня потреба у додатковому посиленні несучих конструкцій каркаса будівлі.

- Панелі у розібраному вигляді є компактними та легкими, що полегшує їх транспортування.

- Монтаж не потребує застосування спеціального обладнання або залучення висококваліфікованих монтажників.

- Під час зведення збірно-розбірних ангарів, особливо у стислі терміни або складних кліматичних умовах, панелі можуть формувати суцільне полотно по всій довжині ската або герметичної ділянки стіни.

- Впровадження цієї технології сприяє скороченню трудових витрат, зменшенню термінів облаштування покрівлі, підвищенню якості робіт та загальному зниженню витрат на будівництво.

3.2 Пооперaційний хронометраж технологічних процесів влаштування вентильованої покрівлі з уніфікованих швидкозбірних елементів

Пооперaційний хронометраж процесу монтажу вентильованої покрівлі з уніфікованих швидкозбірних елементів (термопанелей), де утеплювач з'єднується з кроквами (металевими або дерев'яними) за допомогою металевих і пластикових (поліамідних) кріплень, проводився для визначення технологічних параметрів. До них відноситься норма часу, загальна тривалість виконання робіт, необхідна кількість працівників, матеріалів, обладнання, а також оптимальна послідовність виконання основних і допоміжних операцій.

Оскільки у технологічних етапах запропонованого методу не застосовуються механізовані засоби, хронометраж розраховувався виключно для покрівельників.

Для встановлення норми часу, необхідної для монтажу дюбелів у крокви та закріплення термопанелей, здійснювався детальний облік усіх витрат часу. Вимірювання проводилося з точністю до 1 секунди, враховуючи тривалість підйому та подачі матеріалів до місця монтажу, виконання необхідних рухів (нахили, присідання, переходи між робочими зонами), встановлення дюбелів, маніпуляції руками та корпусом під час переміщення панелей з риштувань, їхнього встановлення та закріплення. Окремо фіксувалися зайві рухи, що спричиняють втрату робочого часу і порушують ритм виконання операцій.

Замірювання часу та підрахунок рухів здійснювалися двома працівниками одночасно: один фіксував кількість рухів за допомогою електронного лічильника, інший вів облік часу секундоміром «Casio HS-70W-1DF» (Японія) із точністю до 1/1000 секунди, пам’яттю на 200 результатів і можливістю визначення найкращого та найгіршого часу виконання операцій. Отримані дані усереднювалися, враховуючи результати провідного робітника, а також необхідну кількість працівників нижчої кваліфікації.

Спостереження велося нерегулярним методом: на перших 20 етапах встановлення дюбелів та 10 циклах монтажу термопанелей фіксувався лише перший рух, після чого аналізувалися наступні етапи.

За результатами експерименту було визначено кількість встановлених елементів за одну годину роботи. Усі технологічні етапи були розроблені з урахуванням вимог охорони праці, техніки безпеки, проведення обов’язкового інструктажу, визначення робочих місць, зон складування матеріалів та небезпечних ділянок. Дані заносилися до змішаних таблиць фотообліку (ФС), де фіксувалися всі етапи процесу протягом однієї години з розбивкою на 30-секундні інтервали. Для зручності аналізу на графіку були позначені лише перші 9 циклів. Дії працівників нижчого розряду не документувалися.

Під час хронометражу використовувалися допоміжні засоби, що підвищують продуктивність, зокрема «фартух-корабейник», у патронташних кишенях якого знаходилося не менше 30 дюбелів, або поясна сумка з кріпленнями (таблиці 20, 21).

У ході пооперaційного хронометражу було отримано такі результати: для встановлення 20 дюбелів знадобилося 4,0 хвилини, а на монтаж 10 термопанелей – 4,8 хвилини. Під час спостережень, що проводилися з 10:00 до 11:00, було зафіксовано продуктивність у 300 дюбелів на годину, а в проміжку з 11:00 до 12:00 змонтовано 120 термопанелей.

Для визначення норми часу на встановлення дюбелів та монтаж 100 термопанелей враховувалися різні чинники, зокрема підвищений коефіцієнт корисної дії в ранковий час і короткочасність експерименту. Отримані показники коригувалися з використанням так званого коефіцієнта невиправданих рухів або коефіцієнта приведення за фактором часу.

За спрощеною методикою розрахунку фактичної годинної продуктивності з урахуванням цього коефіцієнта отримано такі значення:

- Продуктивність при встановленні дюбелів:

P = 270 дюбелів/год

де U – загальна продуктивність за фактором часу, Г – експериментальна продуктивність, а 0,93 – коефіцієнт приведення.

Оскільки роботи виконувалися на нульовій позначці, підвищувальний коефіцієнт не застосовувався.

- Продуктивність монтажу термопанелей з урахуванням коефіцієнта приведення 0,86:

Г = 103 панелі/год

де N – загальна продуктивність за годину, Г – експериментальна продуктивність, а 0,86 – поправочний коефіцієнт.

Зважаючи на площу однієї панелі (0,72 м²), норма часу для монтажу 100 термопанелей розраховується наступним чином:

E = (N × 1,5) = 2,09 людино-години**

де E – норма часу, N – загальна годинна продуктивність, а 1,5 – коефіцієнт, що враховує роботу на висоті та товщину утеплювача понад 120 мм.

Таким чином, норма часу для встановлення дюбелів за запропонованою технологією склала 2,7 людино-години на годину, а для монтажу термопанелей – 2,09 людино-години на годину.

Порівняльний аналіз нормативних показників укладання теплоізоляції з пінополіуретанових плит традиційним методом і за новою технологією свідчить про підвищену ефективність останньої (результати наведено в таблиці).

Дані пооперaційного хронометражу підтвердили доцільність використання заводських комплектуючих, зокрема уніфікованих термопанелей та спеціалізованої системи кріплення покрівлі.

На основі отриманих результатів розроблено ключові положення та оптимальну технологічну послідовність виконання робіт із влаштування фальцевої покрівлі з уніфікованих швидкозбірних елементів.

3.3 Розробка технологічної карти та технологічного регламенту на влаштування вентильованої фальцевої покрівлі

Послідовність виконання технологічних операцій при монтажі та реконструкції вентильованої фальцевої покрівлі з уніфікованих швидкозбірних елементів представлена на рисунках 3.10–3.18 відповідно до розробленої монтажної схеми.

Процес встановлення дюбелів у крокви здійснюється у заздалегідь підготовлені отвори, які пробиваються в заводських умовах, що дозволяє значно скоротити час робіт безпосередньо на об’єкті. Монтаж термопанелей є максимально спрощеним і не потребує високої кваліфікації покрівельників.

На основі результатів хронометражу та обчислених норм часу для виконання технологічних процесів було складено калькуляцію трудовитрат на покрівельні роботи як для традиційного способу монтажу, так і для

запропонованої технології. Це дозволило провести їх детальне порівняння (таблиці 23, 24).

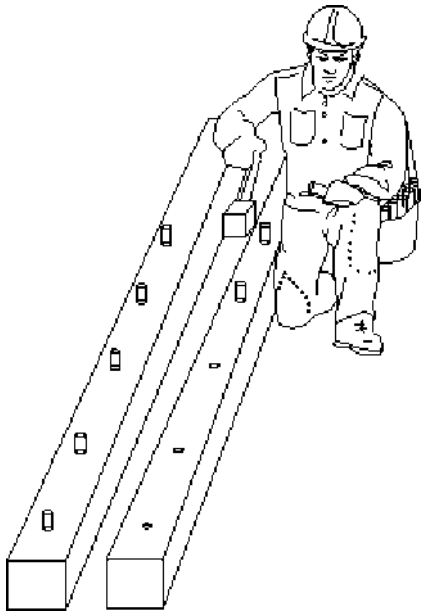


Рисунок 3.10 – Встановлення дюбелів у крокви

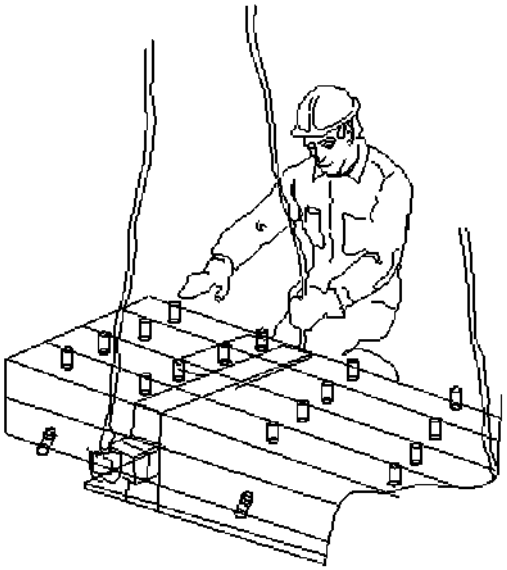


Рисунок 3.11 – Стропування крокв перед підйомом на покрівлю

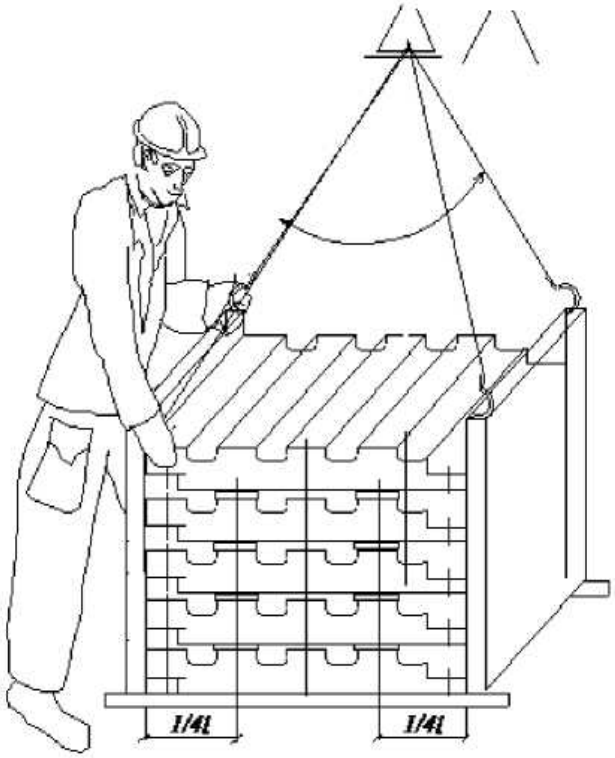


Рисунок 3.12 – Схема стропування контейнера з термопанелями

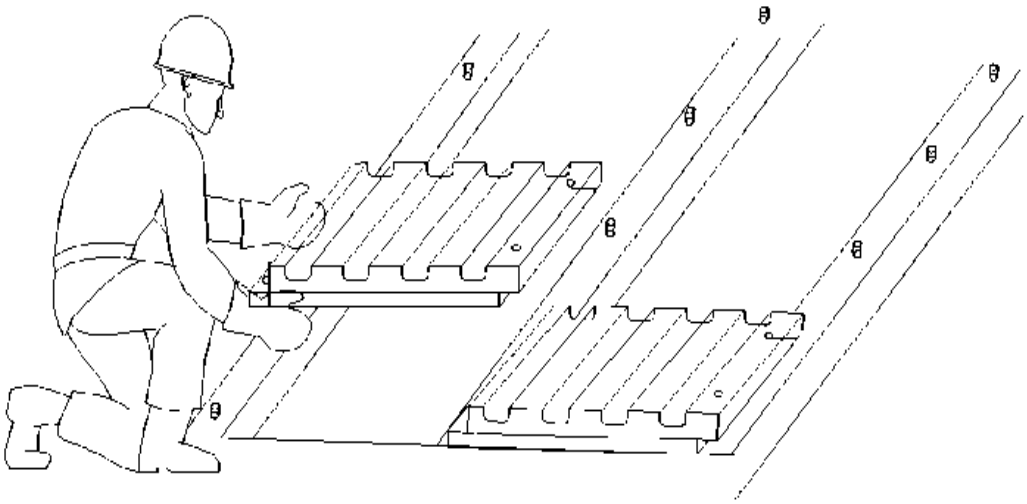


Рисунок 3.13 – Схема монтажу першого ряду термопанелей на попередньо встановлену дюбельну систему

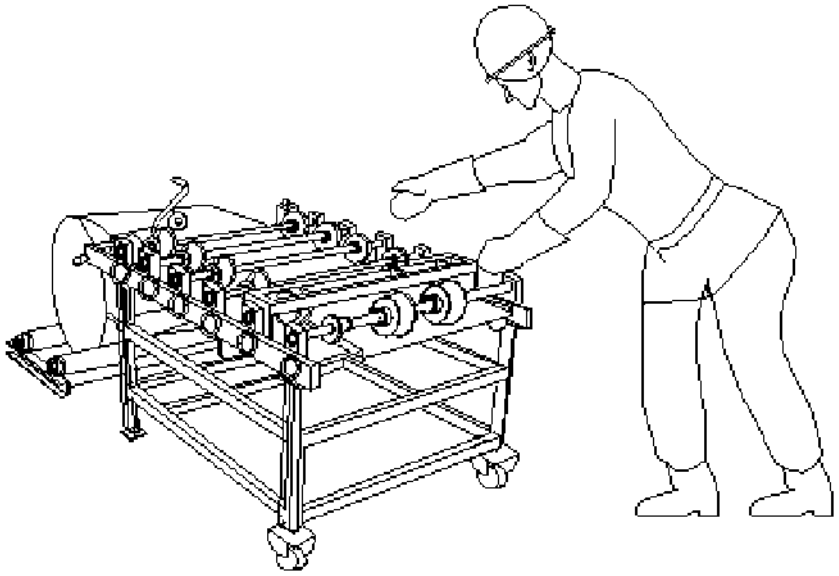


Рисунок 3.14 – Прокатка покрівельних листів з одночасним приєднанням антиконденсатного покриття на верстатах МОБІПРОФ

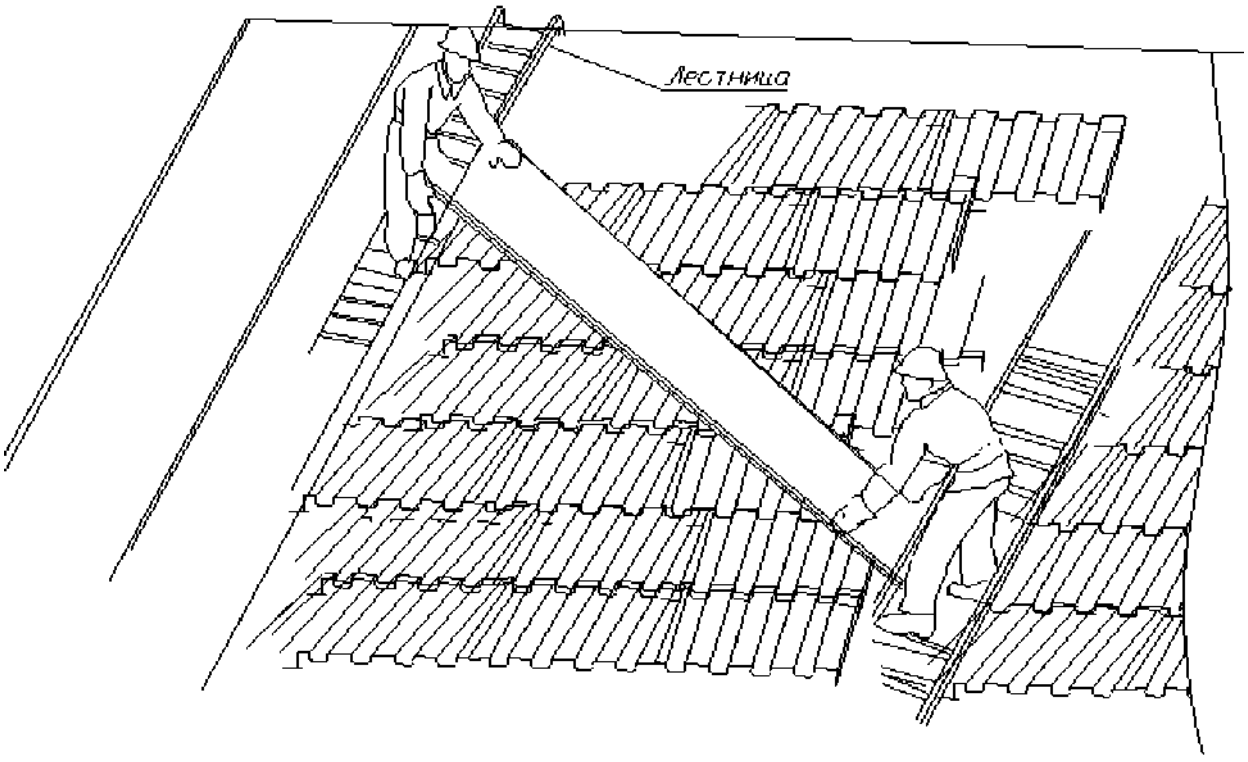


Рисунок 3.15 – Підняття покрівельних листів на дах та встановлення від ковзана до ската покрівлі



Рисунок 3.16 – Дозакриття фальцевого з'єднання рамками другого проходу

Для аналізу ефективності нової методики влаштування та реконструкції вентильованої фальцевої покрівлі використовували житлові будинки серії 1-434 із загальною площею покрівлі 394 м² (13,74 × 28,67 м).

При виконанні технологічної операції зі встановлення дюбелів у крокви було визначено оптимальний склад робочої бригади:

- Установник дюбелів (3-й розряд) – 1 особа.

- Різноробочі (2-й розряд) – 2 особи, які займаються подачею та розміщенням крокв.

Для монтажу термопанелей на стандартний двосхилий дах залучалися:

- Монтажник термопанелей (3-й розряд) – 1 особа.

- Різноробочий (2-й розряд) – 1 особа, яка здійснює подачу матеріалів.

У випадках, коли необхідне додаткове припасування термопанелей (наприклад, для вальмових дахів), залучався монтажник 4-го розряду – 1 особа.

Перевірка фактичних трудовитрат здійснювалася за такою формулою:

$Q = H \times V \times K$

де:

- Q – фактична трудомісткість;

- H – норма часу на монтаж панелей;

- V – загальний обсяг робіт;

- K – коефіцієнт продуктивності праці, який враховує можливі втрати часу.

Основними перевагами запропонованої технології є попередня пробивка отворів та встановлення дюбелів у заводських умовах, що забезпечує високу точність і мінімізує ризик дефектів при подальшому монтажі. Це дозволяє уникнути додаткових операцій, таких як натягування монтажної стрічки, проведення розмітки та коригування безпосередньо на покрівлі.

Дослідження також підтвердили, що завдяки уніфікації елементів та перенесенню частини технологічних процесів у заводські умови можливо значно скоротити тривалість виконання робіт. Це, у свою чергу, знижує загальну вартість монтажу, особливо при використанні малої механізації.

На основі отриманих даних у програмах Microsoft Project 2010 та AutoCAD були створені та порівняні календарні плани покрівельних робіт за традиційною методикою монтажу утепленого покрівельного покриття та за запропонованою технологією (таблиці 25, 26).

Таким чином, на основі виробничої перевірки було встановлено працездатність запропонованої технології. Даний метод дозволяє монтувати покрівлі з уніфікованих елементів у стислий термін.

ВИСНОВКИ

1. На підставі виконаного огляду та аналізу існуючих технологій влаштування та реконструкції металевих покрівель виявлено їх суттєві недоліки, такі як: висока теплопровідність, що не відповідає сучасним вимогам енергоефективності; відсутність уніфікації елементів покрівлі; висока трудомісткість та вартість виконання робіт; низька якість покрівлі, що викликає необхідність її дострокового ремонту. Встановлено, що технологія улаштування утепленого покрівельного покриття залежить від способів з'єднання покрівлі зі кроквами та утеплювачем, а також використовуваних теплозахисних матеріалів та кріпильних елементів.

2. В результаті експериментальних досліджень підтверджено, що пінополіуретан добре працює на вигин, має властивість пластичності та згинальної міцності, опираючись дії прикладених навантажень, до певного періоду, відновлює початкову форму.

3. Запропоновано оптимальну технологічну послідовність виконання робочих операцій з влаштування покрівлі з уніфікованих швидкозбірних елементів, що дозволяє вести безвивірочний монтаж з мінімізацією можливих дефектів монтажу за рахунок геометрично точних елементів заводського виготовлення.

4. Встановлено параметри факторів, що впливають на вибір технологічного рішення щодо влаштування та ремонту скатної покрівлі: технологічність (визначено показник уніфікації конструкції та коефіцієнт її збірності), трудомісткість, вартість, енергоємність та термін служби:

- для традиційної технології утепленої покрівлі показник уніфікації становив 14%; нової – 50 %.
- коефіцієнт збірності: для традиційної – 0,57; нової – 0,9.
- енергоефективність пінополіуретану за термін експлуатації до 25 -30 років підвищується з 0,005 до 0,092 кВт*год/м^3 рік.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Якименко О.В., Морковська Н.Г., Жигло А.О. Технологія будівельного виробництва: конспект лекцій. Харків, 2021. 215 с.

2. Сучасні технології в будівництві : підручник / за. ред. О.І. Менейлюка. Київ : Освіта України. 2011. 534 с.

3. Giacomo Di Foggia Energy efficiency measures in building for achieving sustainable development goals. Heliyon. 2018. Vol. 4, Issue 11.

4. ДБН А.2.2-3-2014 Склад та зміст проектної документації на будівництво [чинний від 2014-10-01]. Вид. офіц. Київ: Мінрегіон України, 2014.

5. ДСТУ Б В.2.6-187:2013 Теплогідроізоляція монолітна пінополіуретанова, що напилюється. Загальні технічні умови. [Чинний з 2014–07–01 Бабічева П.; Войналович І.; Галінський О., Максимов А. та ін. Київ : ДП «Укрархбудінформ», 2014. 36 с. (Національний стандарт України).

6. Технологія будівельного виробництва: підручник / за ред. В.К. Черненка, М.Г. Ярмолена. Київ: Вища шк., 2002. 430 с.

7. ДБН А.3.1-5-2016. Управління, організація і технологія. Організація будівельного виробництва. [Чинний від 2016 05 05] Вид. офіц. Київ : Мінрегіон України. 2016. 52 с.

8. ДСТУ Б В.2.7-101-2000 Матеріали рулонні покрівельні та гідроізоляційні. Загальні технічні умови. [Чинний від 2010 07 01]. Вид. офіц. Київ : Мінрегіон України. 2010. 34 с.

9. ДСТУ-Н Б В.2.6-203:2015. Настанова з виконання робіт при виготовленні та монтажу будівельних конструкцій. [Чинний від 2016 04 01]. Вид. офіц. Київ : Мінрегіон України , 2015. 62 с.

10. Кривенко П.В., Пушкарьова Е.К.. Барановський В.Б. Будівельне матеріалознавство, підручник. Київ: Либідь, 2012. 245 с.

11. Офіційний сайт Міністерства розвитку громад, територій та інфраструктури України. URL: https://mtu.gov.ua/ (дата звернення 10.11.2024).

12. Наукові основи розвитку будівельної галузі України монографія /за ред. І. А. Арутюнян. Запоріжжя : ЗДІА, 2017. 460 с.

13. Якименко О.В., Кіктьова К.О. Технічна експлуатація будівель та споруд: навч. посібник. Харків: ХНУМГ ім. О.М. Бекетова, 2019. 247 с.

14. Клименко Є.В. Технічний стан будівель і споруд: монографія. Одеса: ОДАБА. 2010. 284 с.

15. ДСТУ Б Л.3.2-11:2009. Роботи покрівельні та гідроізоляційні. Вимоги безпеки [Чинний кіл 2009 12 04] Київ: Мінрегіон України ,2010. 13 с.

16. Пушкарьова К.К. Сучасні українські будівельні матеріали, вироби та конструкції. Київ: Асоціація «ВСВБМВ». 2012. 664 с.

17. ДСТУ ISO 9001: 2015 Система управління якістю. Вимоги: - [Чинний від 2015-12-31]. Київ : ДП УкрНДНЦ, 2016. 31 с. (Національні стандарти України).

18. ДБН В.2.6.-220:2017. Покриття будівель і споруд [Чинний від 2017 06 06]. Вид. офіц. Київ : Мінрегіон України, 2017. 46 с.

19. ДБН Л.3.2-2-2009. Система стандартів безпеки праці. Охорона праці і промислова безпека у будівництві. Основні положення. [Чинний від 2012 04 01]. Вид. офіц. Київ : Мінрегіон України. 2012. 94 с.