МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ІНЖЕНЕРНИЙ НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ ІМ. Ю.М. ПОТЕБНІ
ЗАПОРІЗЬКОГО НАЦІОНАЛЬНОГО УНІВЕРСИТЕТУ

Кафедра промислового та цивільного будівництва

Кваліфікаційна робота/проект

_____другий магістерський рівень_____
(рівень вищої освіти)

на тему: Покращення властивостей сендвіч-панелей в будівлях що експлуатуються_____

Виконав: студент 2 курсу, групи 8.1922-пцб-дн
спеціальності 192 Будівництво та цивільна інженерія
(код і назва спеціальності)
освітньої програми промислове і цивільне будівництво
(код і назва освітньої програми)
_____Мішук Віталій Віталійович_____
(прізвище та ініціали)

Керівник _____доц., к.т.н., Полтавець М.О._____
посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали

Рецензент _____
посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали

Запоріжжя
2024

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ІНЖЕНЕРНИЙ НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ ІМ. Ю.М. ПОТЕБНІ
ЗАПОРІЗЬКОГО НАЦІОНАЛЬНОГО УНІВЕРСИТЕТУ

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

ЗАТВЕРДЖУЮ:
завідувач кафедри *промислового та цивільного будівництва*
проф. І.А. Арутюнян
"____" _____ 20___ року

З А В Д А Н Н Я
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ / ПРОЕКТ СТУДЕНТОВІ (СТУДЕНТЦІ)

Мішук Віталій Віталійович
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема кваліфікаційної роботи (проекту) Покращення властивостей сендвіч-панелей в будівлях що експлуатуються

керівник роботи Полтавець Марина Олександрівна, доц., к.т.н.,
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)
затверджені наказом ЗНУ від "30" 09 2024 року № *1486-с*
2. Строк подання студентом кваліфікаційної роботи *лютий 2025р.*

3. Вихідні дані до кваліфікаційної роботи існуючі будівлі з сендвіч-панелей, кошторисна документація монтажу сендвіч-панелей, теплотехнічні розрахунки огороджуючих конструкцій та їх з'єднань

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) Вступ, розділ 1 – Аналіз впровадження сендвіч-панелей як огороджувальних конструкцій; розділ 2 – Експериментально-теоретичне дослідження та оцінка стану сендвіч-панелей в експлуатованих будинках; розділ 3 – Шляхи вирішення усунення дефектів та пошкоджень сендвіч-панелей в будівлях, що експлуатуються; Висновки.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язк
креслень) 8 листів

6. Консультанти розділів кваліфікаційної роботи магістра

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

7. Дата видачі завдання

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Прі
1	Розділ 1	1.09.2024 - 13.10.2024	
2	Розділ 2	14.10.2024 – 20.11.2024	
3	Розділ 3	20.11.2024 – 17.12.2024	

Студент _____ Мішук В.В.
(підпис) (прізвище та ініціали)

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

Нормоконтроль пройдено

Нормоконтролер _____ Данкевич Н.О.
(підпис) (ініціали та прізвище)

АНОТАЦІЯ

Мішук Віталій Віталійович. Покращення властивостей сендвіч-панелей в будівлях що експлуатуються.

Кваліфікаційна випускна робота для здобуття ступеня вищої освіти магістра за спеціальністю 192 Будівництво та цивільна інженерія, науковий керівник М.О. Полтавець. Інженерний навчально-науковий інститут ім. Ю.М. Потебні Запорізького національного університету, кафедра промислового та цивільного будівництва, 2024.

В роботі розглянуті питання, які пов’язані з теоретичним та експериментальним дослідженням дефектів, що пов’язані з тепловтратами в експлуатуємих будівлях з огороджуючими конструкціями із сендвіч-панелей.

В роботі досліджено способи виробництва сендвіч-панелей, виявлено недоліки в процесі виготовлення та будівництва, отримано проблеми при експлуатації сендвіч-панелей.

Результати проведених досліджень можна представити в наступному: зроблен теплотехнічний розрахунок огороджуючих конструкцій, згідно якому найбільші тепловтрати відбуваються у вузла з’єднань панелей.

Розроблено рекомендації щодо використання теплоізоляційних матеріалів для утеплення вузлів сендвіч-панелей.

Ключові слова: сендвіч-панелі, теплотехнічний розрахунок, вузол сполучення, дефекти, тепловтрати

ABSTRACT

Mishuk Vitaliy Vitaliyovych. Improving the properties of sandwich panels in buildings that are in operation.

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

The work considers issues related to the theoretical and experimental study of defects associated with heat loss in buildings in operation with enclosing structures made of sandwich panels.

The work investigates methods for producing sandwich panels, identifies shortcomings in the manufacturing and construction process, and identifies problems in the operation of sandwich panels.

The results of the research can be presented as follows: a thermal calculation of the enclosing structures was made, according to which the greatest heat losses occur at the junction of the panels.

Recommendations were developed on the use of thermal insulation materials for insulation of sandwich panel joints.

Keywords: sandwich panels, thermal calculation, junction, defects, heat losses

ЗМІСТ

	ВСТУП……	5
1	Аналіз впровадження сендвіч-панелей як огороджувальних конструкцій ……	8
1.1	Історичний огляд застосування сендвіч-панелей у будівництві……..	8
1.2	Аналіз конструктивних рішень сендвіч-панелей…….....	11
1.2.1	Матеріали, що застосовуються для виготовлення сендвіч-панелей……	14
1.2.2	Особливості технології виготовлення сендвіч-панелей….....	19
1.2.3	Особливості монтажу сендвіч-панелей……	24
1.3	Проблеми під час експлуатації сендвіч-панелей…….	28
2	Експериментально-теоретичне дослідження та оцінка стану сендвіч-панелей в експлуатованих будинках……..	35
2.1	Тепловізійне обстеження експлуатованих будівель із сендвіч-панелей на наявність містків холоду……..	35
2.2	Визначення залежності між коефіцієнтом теплопровідності та температурою поверхні вузла з’єднання сендвіч-панелей у програмному комплексі ANSYS Multiphysics……..	40
3	Шляхи вирішення усунення дефектів та пошкоджень сендвіч-панелей в будівлях, що експлуатуються……	57
3.1	Практичні рекомендації щодо усунення дефектів у вузлах сполучень та кріплень сендвіч-панелей……...	57
3.2	Визначення економічної доцільності вибору матеріалу підвищення теплозахисту вузла сполучення сендвіч-панелей ……..	63
	ВИСНОВКИ……	72
	СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ……	74

ВСТУП

Актуальність роботи. Початок XXI століття є періодом активного формування ефективних інноваційних технологій при будівництві та реконструкції будівель і споруд. Вирішення проблем ресурсозбереження при зведенні будівель є одним із важливих напрямів підвищення ефективності будівництва.

На сьогоднішній день енергозбереження стає дедалі актуальнішою проблемою. В усьому світі вже давно ведеться пошук шляхів зниження енерговитрат з допомогою його оптимального застосування.[1]

Для вирішення цього завдання необхідне проведення різноманітних енергозберігаючих заходів:

- застосування ефективних та екологічно безпечних теплоізоляційних матеріалів;

- використання довговічних огороджувальних конструкцій;

- зниження тепловтрат;

- підвищення якості теплотехнічного проєктування будівель.

На сьогоднішній день значну частку у сфері будівництва займають швидкобудуюємі будівлі та споруди, що складаються з:

- металоконструкцій (каркас);

- сендвіч-панелей (огороджувальна конструкція);

- добірних елементів (обрамлення для покрівельного елемента та вузлів стику);

- кріпильних систем (зварювання або різьбове з’єднання).

У зв’язку з широким впровадженням в будівництво сендвіч-панелей як огороджувальних конструкцій стає актуальним дослідження, спрямовані на визначення дефектів під час експлуатації будівлі.

Для цього необхідно виконати деякі дослідження об’єктів з огороджувальними конструкціями із сендвіч-панелей для виявлення дефектів під час експлуатації будівель.

Метою роботи є аналіз причин виникнення дефектів в будівлях що експлуатуються з огороджувальними конструкціями із сендвіч-панелей для виявлення тепловтрат в зонах сполучення сендвіч-панелей.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі **завдання**:

1) провести огляд інформаційних джерел для виявлення проблем при експлуатації панелей, а також виконати аналіз існуючих конструктивних рішень сендвіч-панелей;

2) провести тепловізійне обстеження об'єктів з огороджувальними конструкціями із сендвіч-панелей на наявність містків холоду;

3) виконати розрахунки в ANSYS Multiphysics з позиції теплоперенесення різних типових вузлових варіантів з'єднань сендвіч-панелей для виявлення причин містків холоду;

4) навести приклади варіантів вузлів для усунення теплових втрат у вузлових з'єднаннях та примиканнях сендвіч – панелей;

5) розробити практичні рекомендації щодо мінімізації тепловтрат та усунення дефектів у вузлових з'єднаннях із сендвіч-панелей на стадії проєктування;

6) виконати техніко-економічне обґрунтування доцільності застосування прийнятого утепленого варіанту вузла в умовах м. Конотоп для підвищення довговічності теплоізоляційного варіанту.

Наукова новизна. Визначені дефекти в будівлях з огороджуючими конструкціями із сендвіч – панелей; виявлено основні причини тепловтрат в таких будівлях виходячи з розрахункової комп'ютерної моделі за допомогою програмного комплексу ANSYS Multiphysics; отримано залежності між коефіцієнтом теплопровідності монтажної піни і температурою зовнішньої та внутрішньої поверхні стінового огородження у вузлах сполучення; представлені результати техніко-економічної ефективності застосування різних теплоізоляційних матеріалів, які використовуються місцевими забудовниками з урахуванням особливостей кліматичних умов м. Конотоп для усунення тепловтрат у вузлових з'єднаннях сендвіч-панелей; запропоновано

варіанти утеплення існуючих вузлів в місцях кріплень сендвіч-панелей, що виключають тепловтрати в будинках.

Практична значимість. Виконано дослідження вузлових з’єднань із сендвіч-панелей, що дозволяють виявити за рахунок чого відбуваються тепловтрати в експлуатованих будинках. Запропоновано рекомендації щодо усунення дефектів та пошкоджень сендвіч-панелей в будинках що експлуатуються. Результати можуть бути покладені в основу проеєктних рішень для будівництва енергоефективних будівель з огороджувальними конструкціями із сендвіч–панелей.

1 АНАЛІЗ ВПРОВАДЖЕННЯ СЕНДВІЧ-ПАНЕЛЕЙ ЯК ОГОРОДЖУВАЛЬНИХ КОНСТРУКЦІЙ

1.1 Історичний огляд застосування сендвіч-панелей в будівництві

Так звані сендвіч–панелі з’явилися ще у XIX столітті. Пращурами сендвіч-панелей можна вважати будівельні конструкції, які винайшов та запропонував американський інженер Франк Ллойд Рейтон в тридцяті роки XIX століття. Полегшені, міцні та зручні деталі для будівництва – це прогрес виробництва, новий ступінь у розвитку будівельних технологій. Але, як і будь-який новий винахід, сендвіч-панелі для облицювання потрібно було ще істотно вдосконалювати. І вже у п’ятдесяті роки XIX століття Олден Б. Доу створив так званого пращура сучасних сендвіч-панелей. Саме він презентував світові перші дуже ергономічні сендвіч-панелі, що відрізнялися унікальними якісними характеристиками, завдяки чому вони і стали дуже швидко популярними в будівельній сфері. [3]

Стінові сендвіч-панелі були прості у використанні, зберігали тепло та давали можливість на існування дизайнерської думки. Правда, в них був і один явний недолік: їх виробництво вимагало суттєвих часових витрат. Для зменшення часових витрат потрібно було вдосконалити устаткування виробництва сендвіч - панелей.[3]

У 1960 р. компанія Alside вирішила цю проблему. Фахівці компанії внесли низку необхідних вдосконалень в процес виробництва стінових сендвіч -панелей, завдяки чому й досягли поставленого завдання – підвищили швидкість виготовлення. У зв’язку із запуском масового виробництва сендвіч - панелей, у світі розпочався будівельний бум в області швидкомонтованих споруд. [3]

В радянські часи сендвіч–панелі з'явилися на початку 1960-х років. Проте імпортні сендвіч - панелі виявилися недешевими, а власне виробництво розвивалося дуже повільно. Спочатку в нашій країні використовувалися сендвіч - панелі з наповнювачем з горючих матеріалів – пінополістиролу та пінополіуретану.

Вперше сендвіч - панелі з металевими обшивками застосували у 1965 році при будівництві збагачувальної фабрики на півночі. Панелі мали гладкі алюмінієві обшивки зі сплаву, середній шар з полістирольного пінопласту та комбінованого обрамлення за контуром у вигляді фанерної смуги з приклепаними алюмінієвими куточками. З дещо зміненим, Z-подібним, металевим обрамленням і середнім шаром плитного пінополівінілхлориду аналогічні панелі були застосовані як покриття телескопа астрофізичної обсерваторії. Крім того, сендвіч - панелі з попередньо напруженими гладкими алюмінієвими обшивками були застосовані для покриття ТЕЦ та промислових цехів.

Принципові зміни у цьому способі будівництва відбулися вже у 90-ті роки, коли з'явилися перші будинки, побудовані із застосуванням сучасного будматеріалу – сендвіч-панелей, у найпростішому варіанті з тришаровою конструкцією. Будівельна конструкція повинна бути певною мірою жорсткою, оскільки вона виконує огороджувальні функції. Тому два шари – внутрішній та зовнішній – є свого роду шкаралупою, що закриває з двох сторін утеплювач, який є третім шаром. Ця своєрідна теплоізолююча серцевина, як правило, виконана із сучасних, високоефективних теплоізоляційних матеріалів - мінераловатних плит на основі базальтового волокна або пороплastів (пінополістиролу та пінополіуретану самозагасних марок).

Склеювання всіх компонентів відбувається двома способами: гаряче та холодне пресування [4].

Досвід застосування перших сендвіч-панелей виявився загалом успішним. Зокрема, за рахунок їх використання вдалося суттєво знизити масу будівель, трудовитрати при монтажі, а також експлуатаційні витрати на

утримання будівель. Однак у процесі будівництва та експлуатації будівель з таких конструкцій було виявлено низку недоліків.

По-перше, через те, що обшивки, як правило, виготовлялися з гладких листів, з'явилася необхідність у додаткових заходах щодо підвищення їх стійкості. По-друге, обрамлення з фанерної смуги та прикріплених до неї двох металевих куточків вимагали виконання великої кількості операцій під час виготовлення. По-третє, для кріплення обшивок до ребер, що обрамляють, за допомогою заклепок або самонарізних гвинтів потрібні великі трудовитрати, до того ж, у місцях їх з'єднань під час експлуатації виявили низьку герметичність. Крім того, була відзначена мала продуктивність при спінюванні полістирольного пінопласту [7]. З урахуванням зазначених недоліків було розроблено вдосконалені конструкції сендвіч-панелей з профільованими сталевими та алюмінієвими обшивками та середнім шаром із заливних пінопластів, одержуваних шляхом спінювання компонентів у порожнині між обшивками [8].

Особливий інтерес представляє влаштування стиків у таких сендвіч-панелях: за допомогою уступів та виступів, розташованих на верхніх та нижніх обшивках суміжних сендвіч-панелей з різних боків. За допомогою самонарізних гвинтів і комбінованих заклепок сендвіч-панелі кріпляться до прогону і з'єднуються між собою [9].

Панелі використовували в Україні аж до початку 80-х років, як правило, для будівництва промислових об'єктів і лише з 90-х років цим будівельним матеріалом почали цікавитися решта сегментів забудов, згодом відмовляючись від основних його конкурентів: дерева, цегли та бетону.

Як масову продукцію сендвіч-панелі вже багато років випускають у США, Англії, Франції, Канаді, Голландії, Італії, Німеччини, Бельгії та інших країнах, проте зарубіжна практика їх виробництва та застосування має низку своїх особливостей. Так, панелі які випускаються за подібною технологією в Німеччині та Іспанії - безреберні, панелі які з'єднуються внахлест за допомогою болтових з'єднань мають істотний для вітчизняних умов недолік -

більшу ймовірність промерзання у місцях кріплення анкерних болтів.[14]

Деякі фірми виготовляють сендвіч-панелі, маючи багаторічний досвід їх виготовлення. Наприклад, американська фірма «Кері» - понад 60 років, французька фірма «Соба» - понад 50 років. Випробування різних типів тришарових панелей вели деякі фірми що виробляють їх.

Дослідження сендвіч-панелей проводилися Національним центром з будівництва та Експериментальною станцією у Франції, Дослідницьким центром національної асоціації житлового будівництва у США. Сендвіч-панелі, перевірені останньою організацією, були схвалені Федеральним управлінням з житлового будівництва США [3].

В даний час сендвіч-панелі знайшли широке застосування в сучасному будівництві в якості навісних самонесучих стін та несучих елементів покриття. Вони застосовуються як при будівництві невеликих будівель типу павільйонів, так і промислових та цивільних будівель: торгівельно-розважальних комплексів, льодових палаців, спортивних та інших споруд. [4]

1.2 Аналіз конструктивних рішень сендвіч-панелей

Сендвіч-панель – це композитна конструкція. На риснку 1 представлена конструкція сендвіч-панелі.

Сендвіч-панель складається з двох тонких обшивок із досить міцного матеріалу (несучих зовнішніх шарів), з’єднана між собою сердечником (заповнювачем). Товщина утеплювача значно більша товщини обшивок, це дозволяє при досить малій вазі мати порівняно високі характеристики міцності та жорсткості.[2]

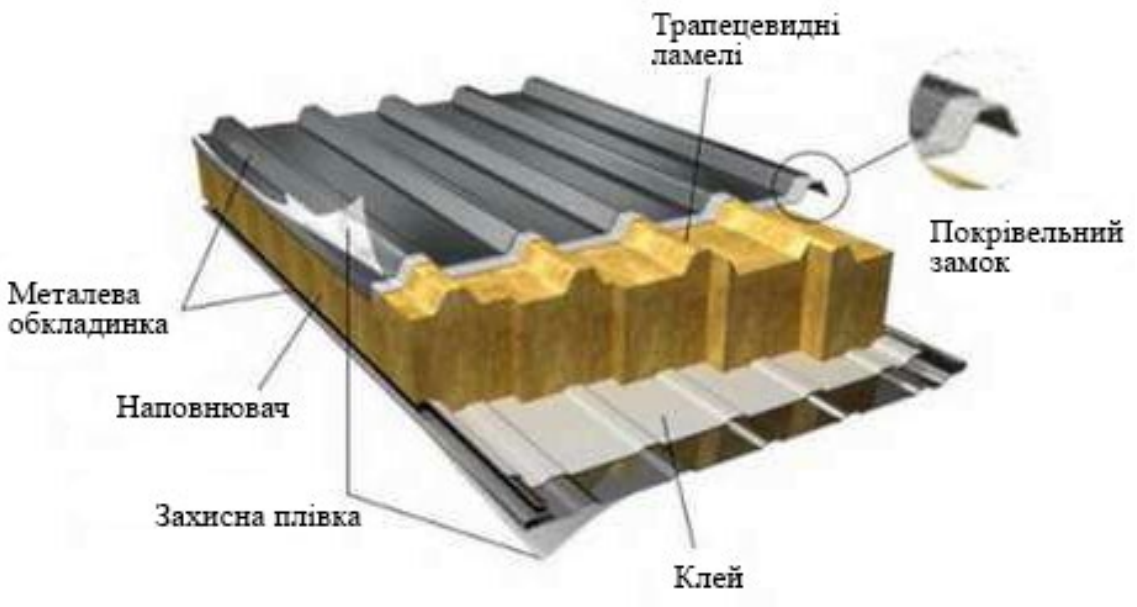


Рисунок 1.1 - Конструкція сендвіч-панелі

Виходячи з великої кількості теоретичних досліджень, були виявлені наступні основні переваги сендвіч-панелей:

- швидкі терміни зведення або ремонту будівель;
- будівництво може проводитись у будь-який пору року;
- високі показники тепло- та звукоізоляції;
- низьке навантаження на фундамент будівлі, через порівняно невелику вагу панелі;
- легкість транспортування;
- не потрібне додаткове оздоблення;
- висока звукоізоляція;
- короткі терміни будівництва об’єктів, що зводяться;
- матеріал економічний у порівнянні з іншими конструкціями;
- можливість масового виробництва;
- привабливий зовнішній вигляд.

При цьому у сендвіч-панелей, залежно від матеріалів, що застосовуються, є й недоліки:

- не витримують суттєве додаткове навантаження;

- висока ймовірність зовнішнього пошкодження;

- містки холоду в місцях з’єднань;

- відшарування утеплювача від сталевого листа;

- пошкодження каркасу та кріплення в місцях стику сендвіч-панелей (причиною можуть бути рясний конденсат або "точка роси") [2]

Існуюча нормативна база по сендвіч-панелям представлена такими стандартами[2]:

ДСТУ Б В.2.6-70:2008 Конструкції будівель та споруд. Панелі металеві із утеплювачем з пінопласту. Технічні умови;

ДСТУ Б В.2.6-71:2008 Конструкції будівель та споруд. Панелі металеві тришарові стінові з утеплювачем з пінополіуретану. Технічні умови;

ГОСТ 32603-2012 «Панелі металеві тришарові з утеплювачем з мінеральної вати».

Сендвіч-панелі завдяки своїм експлуатаційним властивостям, високій технологічності виробництва, а також широкому діапазону розмірів та модифікацій, що надають можливість реалізації різноманітних конструктивних та архітектурних рішень, є матеріалом, що знаходить широке застосування в будівництві:

- промислових будівель;

- торгівельних комплексів;

- житлових та адміністративних будівель;

- спортивних та льодових споруд;

- автозаправних станцій, автосалонів, автопаркінгів;

- мобільних будівель для нафтогазової сфери та будівельної індустрії;

- складських приміщень для підприємств харчової промисловості;

- сільськогосподарських споруд.

1.2.1 Матеріали, що застосовуються при виготовленні сендвіч-панелей

Сендвіч-панелі складаються з трьох основних елементів: утеплювача, обшивки та клейові шви, що забезпечують спільну роботу всіх елементів.[14]

Як обшивка на перших етапах широко застосовувалися алюмінієві сплави, фанера, азбоцемент, тощо. На рисунках 1.2, 1.3, 1.4 представлені різноманітні види обшивок.



Рисунок 1.2 – Обшивка ГКЛ

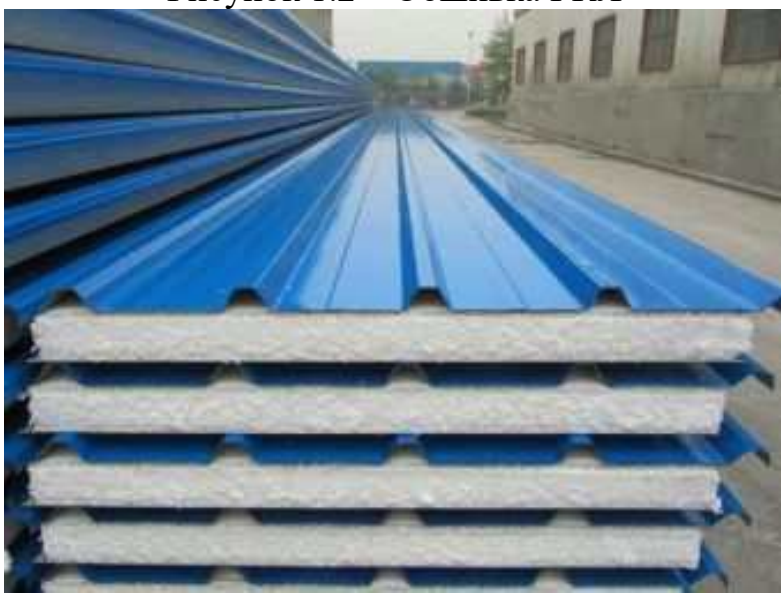


Рисунок 1.3 – Металева обшивка



Рисунок 1.4 – Обшивка ПВХ

Фанера та азбоцемент застосовувалися, в основному, у каркасних панелях, що виготовляються стендовим способом. Алюмінієві сплави (АМц, АМг) стійкі до зовнішніх факторів і мають дуже гарну корозійну стійкість. Однак сендвіч-панелі з алюмінієвими обшивками значно дорожчі і мають більшу деформацію. У зв’язку з цим, останнім часом як матеріал обшивки зазвичай використовується листова сталь. [6]

Для збільшення терміну служби сендвіч-панелі застосовують обшивку з оцинкованої сталі з лакофарбовим покриттям завтовшки не менше 40 мкм. У таблиці 1.1 представлені найпопулярніші в даний час полімерні покриття.

З метою підвищення несучої здатності обшивку профілюють.

Як середній шар сендвіч-панелей широко застосовують різні види пінопласту. Існують дві технології виготовлення сендвіч-панелей з пінопластом у ролі утеплювача.[8]

На рисунку 1.5 показано сендвіч-панель з одним із видів пінопласту.



Рисунок 1.5 – Сендвіч-панель з пінополістиролом

У першому випадку утеплювач спінюється в порожнині сендвіч-панелі між обшивками і таким чином забезпечується найбільш якісне зчеплення утеплювача з обшивкою. Однак за такого способу виготовлення сендвіч-панелі потрібне точне дозування всіх компонентів для забезпечення повного заповнення порожнини між обшивками та зчеплення утеплювача по всій поверхні. Серед недоліків даного методу виготовлення можна відзначити нерівномірні властивості міцності утеплювача як по ширині, так і по товщині сендвіч-панелі (в середині сендвіч-панелі щільність утеплювача менша, ніж біля обшивок, відповідно, і властивості міцності утеплювача нижчі, ніж з обох боків).

При другому способі пінопласт нарізається на бруски (ламелі) та приклеюється до обшивок. У цьому випадку властивості утеплювача незмінні як по товщині, так і по ширині сендвіч-панелі, проте сам утеплювач не однорідний: він розрізаний на ламелі, які не склеєні між собою, якість приклеювання утеплювача до обшивок залежить від параметрів клейового шару.

Недоліками сендвіч-панелей з утеплювачем на основі пінопласту є їх мала вогнестійкість (менше 15 хвилин). При дії відкритого вогню деякі

пінопласти підтримують горіння і вигоряють зсередини, при цьому загоряння утеплювача в сендвіч - панелі неможливо згасити традиційними способами. У зв'язку з цим велика увага останнім часом приділяється самозагасаючим пінопластам, але навіть в цьому випадку в процесі впливу на сендвіч-панель підвищених температур виділяються отруйні продукти розпаду, які обмежують сферу застосування таких сендвіч-панелей (холодильні камери, невеликі склади тощо). Одним із негорючих матеріалів на основі пінопластів є пінополіізоціанурат (PIR) з класом горючості Г2.

Найбільш цікавим з погляду вогнестійкості, екологічності, теплотехнічних властивостей та терміну служби є мінераловатний утеплювач на основі базальтового волокна. Сендвіч-панель з урахуванням базальтового волокна показано рисунку 1.6 [1].



Рисунок 1.6 - Сендвіч-панелі з утеплювачем на основі базальтового волокна

Шоболовим Н.М. були проведені дослідження мінеральної вати підвищеної жорсткості, в яких вивчалися її міцність на стиск та реологічні характеристики. Їм вивчалися питання міцності та деформативності жорстких та напівжорстких зразків мінеральної вати.

При використанні мінераловатної плити як середній шар у сендвіч-

панелі необхідна відповідна орієнтація волокон, оскільки даний матеріал виявляє яскраво виражені ортотропні властивості (міцнісні характеристики вздовж волокон в два рази вищі за поперечні).

Відповідна орієнтація волокон плити досягається шляхом нарізування плитного утеплювача на ламелі з подальшим їх поворотом таким чином, щоб волокна утеплювача були перпендикулярні обшивкам.[5]

Для виробництва сендвіч-панелей використовується мінераловатний плитний утеплювач на основі базальтового волокна щільністю близько 100…130 кг/м³.

Клеї, що забезпечують спільність деформацій обшивок та утеплювача, сильно впливають на міцнісні властивості сендвіч-панелі та її довговічність. Для виробництва сендвіч-панелей використовуються в основному два типи поліуретанових клеїв: однокомпонентний та двокомпонентний. До особливостей поліуретанових клеїв відноситься відсутність усадкових явищ, відсутність у клейовому шві внутрішніх напруг, висока міцність з'єднання при товщині 0,01…0,1 мм, а також широкий температурний діапазон роботи - від -195 до +120°С.

Постачальники обладнання для виробництва сендвіч-панелей рекомендують різних виробників поліуретанових клеїв. Серед них зустрічаються такі відомі бренди, як Henkel та Kleiberit. Багато виробників з метою економії використовують аналогічні клеї вітчизняного виробництва в Україні одним із найбільших виробників клейових систем є компанія «Владипур».[1]

Для клею та мінеральної базальтової вати з орієнтованими перпендикулярними обшивками волокон, важливою характеристикою є тривала міцність. Поліуретановий клей та мінеральну вату, просочену фенолоформальдегідними смолами, слід як молекулярні композити у роботі показано, що тривалою міцністю композитів, якими є клей та мінвата визначається довговічність роботи тришарових панелей. На основі теорії ймовірності їм запропоновано методики з оцінки довговічності та нормування

фізико-механічних показників теплоізоляційних матеріалів (у тому числі й мінераловатної плити).

Вивчення літератури за цим напрямом показало, що на сьогоднішній день розроблено і впроваджено у виробництво безліч різних видів стінових та покрівельних сендвіч-панелей.

1.2.2 Особливості технології виготовлення сендвіч-панелей

Існують два важливі підходи з виготовлення сендвіч-панелей. Перший – стендовий спосіб виробництва сендвіч-панелей з великою часткою ручної праці, другий – автоматизована поточна виробнича лінія. [60]

В деяких містах України за останні роки введено в експлуатацію потокові лінії з виробництва сендвіч-панелей із середнім шаром із мінеральної вати. В даний час виробники використовують різні лінії з виробництва панелей від дуже старих (1970 р.) до сучасних (2008) р.в., відповідно і якість продукції сильно відрізняється. [60]

Можна розглянути основні етапи виготовлення сендвіч-панелей та їх вплив на якість виготовлення.

Перший етап – розрізання утеплювача на ламелі (бруски). Для розрізання плити використовуються фрези діаметром від 450 до 600 мм. Чим менший діаметр фрези, тим більше дуга різу по тілу плити і, відповідно, тим більше порушується структура утеплювача. При недостатньому контролі за станом заточування зубів сильно збільшується кількість пилу під час різу і відбувається злам волокон мінераловатної плити, що згодом погіршує якість приклеювання утеплювача до обшивок.

Розрізання утеплювача на ламелі (бруски) показано рисунку 1.7.



Рисунок 1.7 - Розрізання утеплювача на ламелі (бруски)

Наступним етапом є укладання ламелів у плиту, механізм укладання показаний рисунку 1.8. Бруски утеплювача між собою не склеюються.



Рисунок 1.8 - Укладання ламелів у плиту

Виробники застосовують різні схеми укладання утеплювача в сендвіч-панель:

1) "клином" - при даному способі в поперечному перерізі сендвіч-панелі

виходить два стики ламелів;

2) «драбинкою» - виходить всього один стик ламелей.

По краях ламелі мають меншу міцність, ніж у середині, через порушення цілісності при розрізанні.

Якщо стик ламелів у сендвіч-панелі потрапить в опорну частину, критерієм вичерпання несучої здатності буде обминання утеплювача на опорі.

Наступним етапом виробництва сендвіч-панелей, що впливає на несучу здатність, є нанесення клею, механізм проклеювання показаний рисунку 1.9.

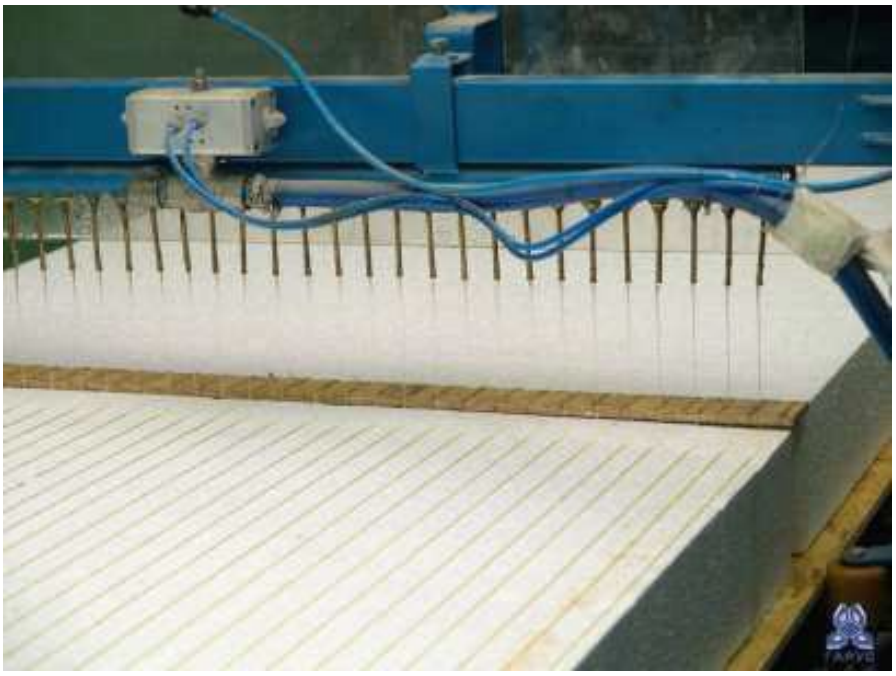


Рисунок 1.9 – Технологія нанесення клею

На сьогоднішній день широко поширені два основні способи нанесення клею: наливний метод та розтирання.

При наливному методі подача двох компонентів клею здійснюється безпосередньо на обшивки з допомогою трубок з наступним розтиранням компонентів між собою. В цьому випадку при нанесенні клею на верхню обшивку один із компонентів клею практично відразу стікає на мінераловатну плиту, що призводить до недотримання технологічного процесу.

При розтиранні клею на обшивках відбувається перевитрата клею (витрата становить 500 г/м², при нормативних витрат 250…300 г/м²). Як

правило, обшивки гофровані. При розтиранні на полиці гофри, яка ближче до

«Растирувач», клей змішується краще, а на дальній полиці (від розтирача) клей змішується гірше.

Все сказане вище призводить до неякісного приклеювання обшивок до утеплювача. При другому методі клей наноситься за допомогою наконечника (у деяких випадках під тиском), змонтованого на важіль, що переміщається, що здійснює зворотно-поступальні рухи. Два компоненти клею повністю змішуються в наконечнику, клей рівномірно розподіляється по всій поверхні обшивки поза залежно від глибини та конфігурації профілю металу.

Заключним етапом формування сендвіч-панелі є поєднання всіх елементів на перший лист обшивки укладається утеплювач із нанесеним клеєм, після утеплювач накривається другим листом обшивки. Пакет із кількох конструкцій переноситься на прес, де витримується до затвердіння клею. Механізм пресування показаний на рисунку 1.10. Час затвердіння вказано в інструкції до клею.



Рисунок 1.10 - Витримка сендвіч-панелі під пресом

При виробництві сендвіч-панелей економлять в основному на товщині. обшивок та щільності мінераловатної плити. Якщо спочатку лінія була передбачена під застосування металу завтовшки 0,6…0,7 мм, то в процесі виробництва починають застосовувати метал 0,45…0,5 мм.

Така економія призводить до зовсім іншої роботи конструкції. Розміри

профільованої обшивки (висота та ширина гофри) повинні підбиратися, виходячи з товщини металу обшивки (ширина верхньої полиці гофри повинна бути не більше 30 товщин обшивки), тому прокатові ролики, що використовуються для металу товщиною 0,7 мм, не підходять для застосування металу товщиною 0,5 мм, оскільки суттєво змінюються критичні напруження місцевої стійкості гофри.

Цим, звичайно, можна пояснити сильні відмінності у величині несучої здатності сендвіч-панелей різних виробників (за каталогами виробників несуча здатність панелей однаковою товщини та при однакових прольотах відрізняється в 2 рази). Для забезпечення безпечної експлуатації огороджувальних конструкцій необхідна розробка єдиної методики оцінки несучої здатності сендвіч-панелей.

Сендвіч-панелі із застосуванням мінераловатного утеплювача як середній шар добре себе зарекомендували у будівельній практиці європейських країн.

Однак у суворих російських умовах величини снігових навантажень можуть сягати 5,6 кПа, а з урахуванням впливу снігових мішків навантаження може збільшуватися вчетверо. При цьому на здатність, що несе впливають такі впливи: тривалість дії навантажень, багаторазовість повторення та перепад температур.

Розглядаючи переваги та недоліки різних сендвіч-панелей, можна зробити висновок, що огородження з сендвіч-панелей максимальної заводської готовності значно менш трудомісткі при монтаж і тому краще для використання в більшості районів нашої країни по порівняно з просторовими блоками покриттів та огорож з пошаровим монтажем. Сендвіч-панель з негорючим ортотропним утеплювачем з мінеральної вати, який поєднує несучу та огороджувальну функції, дозволяють розширити сферу застосування сендвіч-панелей максимальної заводської готовності, скоротити терміни будівництва і, зрештою в результаті, отримати значний економічний ефект.

1.2.3 Особливості монтажу сендвіч-панелей

На рисунку 1.11 показаний монтаж стінових сендвіч-панелей, який починають із крайньої осі фасаду.



Рисунок 1.11 - Монтаж стінових сендвіч-панелей

При механізованому способі монтажу сендвіч-панелей враховують неприпустимість перевищення відстані між захопленнями та прогонами несучих металоконструкції. В той же час з міркувань стійкості при підйомі та переміщенні сендвіч-панелі відстань між захватами має бути не більше 2,5 м та звис кінців сендвіч-панелі від 0,4 до 0,5 м.

За розташуванням фасадні сендвіч-панелі монтують горизонтально або вертикально (з горизонтальною або вертикальною розкладкою). Кріплять сендвіч-панелі до колон або до стійок фахверку – при горизонтальній розкладці; до цоколя або сталевих прогонів – за вертикальної розкладки.

Щоб уникнути виникнення промерзань або містків холоду в процесі

експлуатації будівлі, зазори між торцями сендвіч-панелей або торцем і цоколем ущільнюють монтажною піною, процес ущільнення стиків показаний рисунку 1.12.



Рисунок 1.12 - Ущільнення монтажною піною стиків сендвіч-панелей

Для захисту від вологи використовують нащільники з оцинкованого сталевого листа завтовшки 0,5...,55 мм із полімерним покриттям.

Для ущільнення нащільників та різних фасонних елементів застосовують самоклеючу стрічку ущільнювача або силіконовий герметик. Кріплення фасонних елементів до обшивок сендвіч-панелей можливо комбінованими заклепками або самосвердлувальними шурупами.

Зниження повітропроникнення стіни при спиранні на несучі конструкції досягається укладанням торців сендвіч-панелей на смужки органічного герметика та закладання стиків монтажною піною.

Великі двері кріплять до встановленого біля внутрішньої поверхні стіни металевого каркаса.

Невеликі двері та вікна, у тому числі врізані в конструкції стандартної сендвіч-панелі, встановлюють на підкріплювальні скоби. Для надійного з'єднання внутрішньої та зовнішньої поверхні сендвіч-панелі та створення більш жорсткого кріплення скоби кріплять по кромці панелі на самосвердлувальні шурупи із кроком 500 мм.

Монтаж покрівельних сендвіч-панелей ведуть із вертикальною або горизонтальною розкладкою.

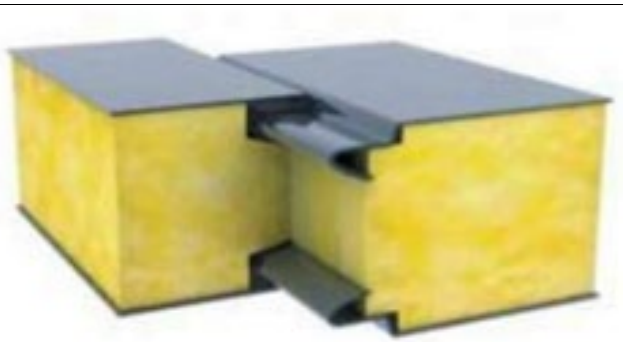
Вертикальна розкладка є оптимальною при висоті приміщень до 3 м. Сендвіч-панелі кріплять перекриття таким чином, щоб унеможливлювати передачу навантаження від перекриття на сендвіч-панелі при їх прогинах.

Використання покрівельних сендвіч-панелей виключає необхідність додаткової гідроізоляції та суттєво скорочують терміни проведення монтажних робіт, а геометрія сендвіч-панелей розроблено з урахуванням великих снігових навантажень. Для бездоганної стикування сендвіч-панелей (по ширині) розроблені спеціальні види замкових з'єднань, представлені в таблиці 1.1.

Монтаж покрівельних сендвіч-панелей монтують рядами від звису до ковзана. Перша сендвіч-панель має формувати звис. Другу обрізають у місці нахльосту, покривають герметиком та прикріплюють до опори першої сендвіч-панелі. Закінчивши укладання першого та другого ряду, починають виконувати поздовжнє міжпанельне з'єднання. Наступний, третій ряд також починають знизу – і таке інше.

При монтажі додаткових елементів усі місця зіткнення обробляють силіконовим герметиком. Поперечний стик покрівельних сендвіч-панелей виконують з нахлестом 300 мм 5-10° (9-18%) та 200 мм при ухилі 10-20° (18-36%).

Таблиця 1.1 - Види замкових з’єднань сендвіч-панелей

№	Вид з’єднання	Опис з’єднання
Z-Lock Класичний замок		
1		Значно збільшує швидкість монтажу, підвищує вогнестійкість конструкції, гарантує мінімум при надіючому тизації стиків
Енергозберігаючий замок		
2		Має багато спільного з класичним замком, застосовується для сендвіч-панелей ширина, яка не менше ніж 1150 мм.
3	Прихований замок	
		Підвищує рівень теплоізоляції, відріз-няється естетичністю.
4	Покрівельний замок	
		Класичний покрівельний замок забезпечує достатню герметизацію стиків сендвіч-панелей

У верхній сендвіч-панелі знизу обрізають сталеву обшивку приблизно на величину нахлеста. Видаляють також шар утеплювача. На верхній профіль розташованої знизу сендвіч-панелі наносять відповідний герметик (бутилкаучуковий або силіконовий).

Після кріплення сендвіч-панелі до каркасу виконують механічне міцне з'єднання через поздовжні вузли з'єднання у замках. Відразу перед укладанням сендвіч-панелей із внутрішнього боку в паз замку закладають силіконовий герметик.

1.3 Проблеми під час експлуатації сендвіч-панелей

Деякі науковці у своїх роботах виявляли проблеми та недоліки при експлуатації сендвіч-панелі. Для забезпечення високих теплофізичних характеристик та довговічності часто застосовують як теплоізоляцію пінополіуретан, пінополіізоціанурат, а також пінополістирол. Але ці матеріали мають другий і третій ступінь горючості, що накладає деякі обмеження щодо доцільності використання таких сендвіч-панелей. Щоб знизити ступінь пожежної небезпеки застосовують сендвіч-панелі з утеплювачем з мінеральної вати. Однак такі сендвіч-панелі мають безліч недоліків.

По-перше, з практики використання було виявлено, що часто в процесі покрівельних експлуатацій сендвіч-панелей з мінеральної вати на нижньому листі сендвіч-панелі випадає конденсат, або, при порушенні герметизацій волога проникає в товщу утеплювача, і як наслідок починає промерзати.

Через одну-дві зими у такій покрівельній сендвіч-панелі відбудеться процес відшаровування утеплювача від сталевого листа, витріщення та розшарування власне утеплювача.

На рисунку 1.13 показано відшарування утеплювача від сталевого листа покрівельної сендвіч-панелі з мінеральної вати.

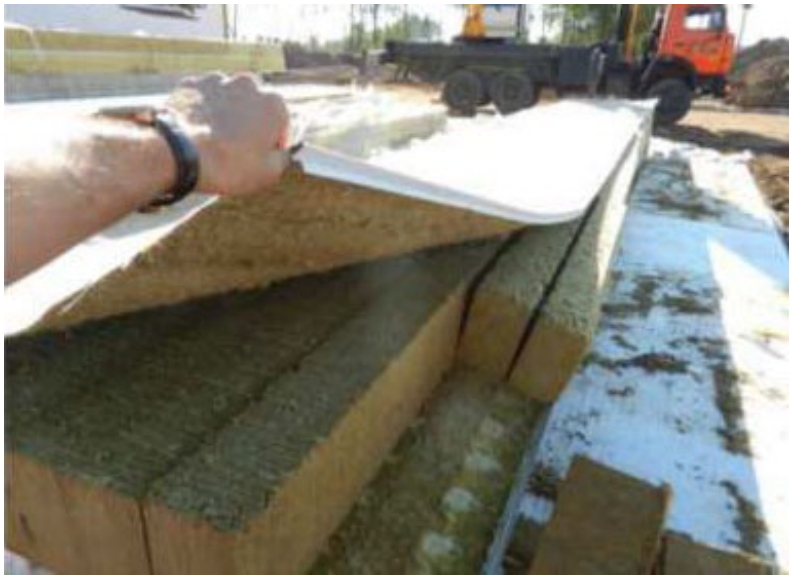


Рисунок 1.13 – Відшарування утеплювача від сталевого листа

По-друге, важливою проблемою в процесі експлуатації є значні напруження та деформації при температурно-вологісних впливах навколишнього середовища. Взимку різниця температур внутрішнього шару тришарової сендвіч-панелі (що знаходиться в теплому приміщенні) та зовнішнього (на морозному повітрі) призводять до виникнення в сендвіч-панелях згинальних напруг, а також до повзучості сердечника - згодом відбувається погіршення характеристик міцності волокнистих матеріалів. Особливо для покрівельних панелей, де неминуче накопичується сніг, залежно від ухилу, відповідно, та його кількість. До того ж на поверхні сендвіч-панелі сніг підтає, утворюються криги. У сумі це призводить до деформації тришарових сендвіч-панелей, зминання на опорах, прогину в прольоті. Причому зминання на опорах, прогин у прольоті рік за роком збільшуватиметься, що призведе до руйнування панелі.

На рисунку 1.14 показано зминання сендвіч-панелі на опорах. В процесі деформації відбувається напруга сендвіч-панелі, навантаження з панелі переходить на шурупи, які згодом починають «вилазити» із сендвіч-панелі. Через зминання сендвіч-панелей під прокладку шурупа буде проникати волога, внаслідок чого накопичуватиметься в осерді сендвіч-панелі, при цьому почне розвиватися процес корозії шурупа.



Рисунок 1.14 - Зминання сендвіч-панелей на опорах

Також зминання сендвіч-панелі виникає через недостатню кваліфікацію монтажників, з вини яких відбувається перетягування або недотягування шурупів, що призводить до зниження несучої можливості панелі [72].

На рисунках 1.15, 1.16, 1.17 показано зминання сендвіч-панелей через недостатню кваліфікацію монтажників.



Рисунок 1.15 - Зминання сендвіч-панелей



Рисунок 1.16 - Зминання сендвіч-панелей через перетягнуті саморізи



Рисунок 1.17 - Зминання сендвіч-панелей на опорах через перетягнуті саморізи

По-третє, через недобросовісних виконавців робіт часто, особливо за нинішнього "ощадливого" виробництва, порушується технологія виготовлення сендвіч-панелей, а також порушення складування сендвіч-панелей на будівельному майданчику. На рисунках 1.18, 1.19 показані порушення складування сендвіч-панелей при атмосферних осадах.

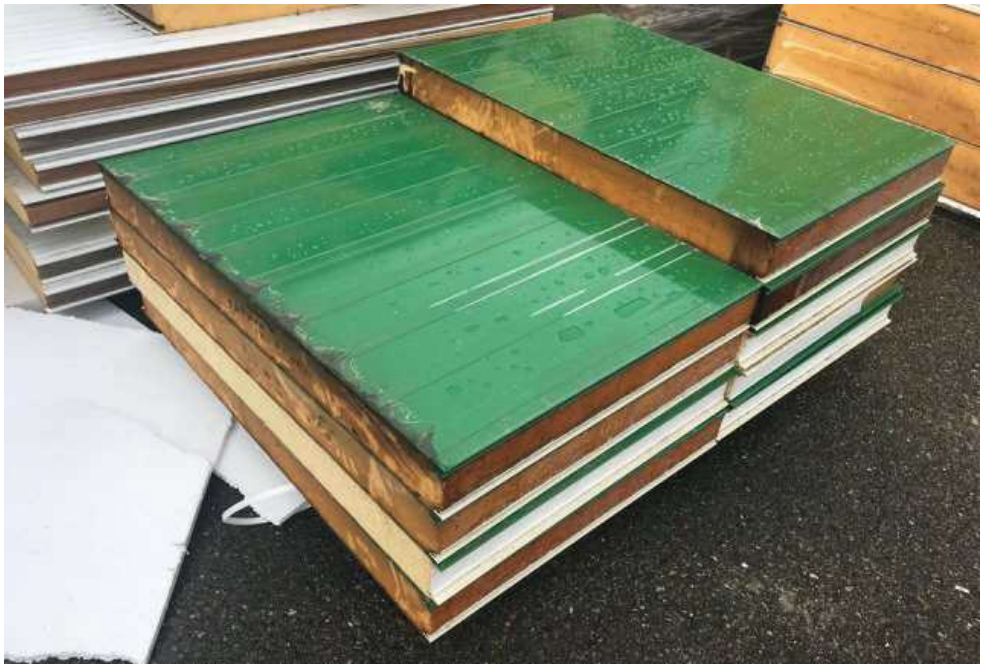


Рисунок 1.18 - Порушення складування сендвіч-панелей при атмосферних опадах (дощ)



Рисунок 1.19 - Порушення складування сендвіч-панелей при атмосферних опадах (сніг)

На рисунку 1.20 показано правильне складування сендвіч-панелей на будівельний майданчик.



Рисунок 1.20 - Правильне складування панелей на будівельному майданчику

По-четверте, оскільки замовник жодним іншим способом, як за свої гроші, не може перевірити якість виготовлення сендвіч-панелей, а також ретельно простежити за якістю будівництва, з цього слід, що якість використовуваного матеріалу при виготовленні сендвіч-панелі та в процесі будівництва будівлі може проявитися відразу в процесі експлуатації, через 2-3 роки.

На рисунках 1.21, 1.22, 1.23 показано вигляд неякісного утеплювача.



Рисунок 1.21 – Вид утеплювача неналежного зберігання



Рисунок 1.22 - Утеплювач сумнівної якості



Рисунок 1.23 - Вид утеплювача після тривалого зберігання на відритому просторі при дії атмосферних опадів

З усього перерахованого вище, випливає, що недостатньо вивчено питання поведінки сендвіч-панелей на дію температурних впливів в експлуатованих будинках, що потребує вирішення даного питання, яке цікаве з наукової точки зору і важливе з практичного боку. У зв’язку з цим виникає необхідність у проведенні експериментально-теоретичного дослідження сендвіч-панелей в експлуатованих будинках.

2 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНО-ТЕОРЕТИЧНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ТА ОЦІНКА СТАНУ СЕНДВІЧ-ПАНЕЛЕЙ В ЕКСПЛУАТОВАНИХ БУДИНКАХ

2.1 Тепловізійне обстеження експлуатованих будівель із сендвіч-панелей на наявність містків холоду

Для проведення чисельних досліджень у програмному комплексі ANSYS Multiphysics необхідні такі вихідні дані:

- властивості теплопровідності λ використовуваних будівельних матеріалів наведені в таблиці 2.1;

-граничні температурні умови внутрішньої та зовнішньої поверхонь наведені в таблиці 2.2;

- коефіцієнти теплопередачі внутрішньої та зовнішньої поверхні огороджувальних конструкцій наведено у таблиці 2.2;

- викреслені вузли у програмі AutoCAD масштабу 1:1 формату DXF

Таблиця 2.1 - Характеристики матеріалів, що використовуються при розрахунку

№ з/п	Найменування матеріалів	Щільність ρ_0, кг/м^3	Коефіцієнт теплопровідності, λ Вт/(м^2·с)
1	Оцинкований лист з полімерним покриттям	7850	52
2	Мінераловатна плита (Rockwool)	105	0,035
3	Монтажна піна	25…35	0,033
4	Герметик	1050	0,35
5	Мастика	100	0,032

Таблиця 2.2 - Розрахункові граничні умови для розрахунку огороджувальної конструкції

№	Параметр	Значення
1	Розрахункова температура зовнішнього повітря $t_н$, °С	-37,0
2	Розрахункова температура внутрішнього повітря $t_в$, °С	+20,0
3	Коефіцієнт тепловіддачі зовнішньої поверхні стіни $\alpha_н$, Вт/(м ^{2} · °С)	23,0
4	Коефіцієнт тепловіддачі внутрішньої поверхні стіни $\alpha_в$, Вт/(м ^{2} · °С)	8,7

Для аналізу теплового потоку у вузлах необхідно слідувати наступним алгоритмом дій у програмному комплексі ANSYS Multiphysics:

1. Вибрати тип створюваної моделі – теплопередача стаціонарна.

2. Визначити робочу область та задати геометрію моделі.

3. Вказати граничні умови моделі.

4. Прийняти теплофізичні властивості та початкові умови.

5. Задати параметри сітки елементів та її побудова.

6. Визначити параметри вирішального пристрою та запустити розрахунок.

7. Налаштувати режим відображення результатів розрахунків.

8. Провести аналіз одержаних результатів.

Для виявлення причин виникнення тепловтрат у вузлах сполучення сендвіч-панелей необхідно більш детально розглянути вузли. Для розрахунку було взято типові проектні рішення вузлів з’єднань сендвіч – панелей.

Стінові сендвіч-панелі монтуються на прогін за допомогою самосвердлувальних шурупів з пластмасовим ковпачком і гумовою прокладкою для герметизації отвору. Стик між сендвіч-панелями заповнюється герметиком.

За результатами комп’ютерного моделювання температурних полів з’єднання стінових сендвіч-панелей за поздовжніми кромками та кріплення їх

до каркасу будівлі, виявлено, що температура зовнішнього контуру у поєднанні стінових сендвіч-панелей становить – 17,2 °С, що досить вище від розрахункового значення температури зовнішнього повітря (-37,0 °С). З цього випливає, що у з’єднанні стінових сендвіч-панелях утворюються тепловтрати.

Стінові сендвіч-панелі монтуються на кутову стійку за допомогою самосвердлувальних шурупів.

Проміжок між стіновою сендвіч-панеллю та кутовою стійкою заповнюється ущільнювальною стрічкою або мастикою. Стик між стіновими сендвіч-панелями заповнюється монтажною піною. З зовнішньої частини з'єднання кріпляться нащільники НЩ2 за допомогою самосвердлувальних шурупів. По краях нащільника НЩ2 для герметизації маже герметик-силіконовий.

Покрівельні сендвіч-панелі кріпляться на верх кроквяної конструкції за допомогою самосвердлувальних шурупів з гумовою прокладкою та пластмасовим ковпачком зверху мажеться герметик для герметизації. Стик між покрівельними панелями заповнюється монтажною піною. З внутрішньої та зовнішньої частини з'єднання кріпляться нащільники НЩ14. Нащільники НЩ 14 встановлюються за допомогою щільної заклепки, зверху заклепки мажеться герметик-силіконовий.

За результатами комп’ютерного моделювання температурних полів вузла конструкції карниза при внутрішньому рішенні водостоку, виявлено, що температура зовнішнього контуру в поєднанні стінових сендвіч-панелей становить -15,7 °С, що досить вища від розрахункового значення температури зовнішнього повітря (-37,0 °С). З цього слід, що у поєднанні стінових сендвіч-панелей утворюються тепловтрати.

Покрівельна сендвіч-панель кріпиться в прогоні каркасу будівлі на самосвердлувальних шурупах з гумовою прокладкою та пластмасовим ковпачком, зверху мажеться герметик для герметизації. Між прогоном каркасу будівлі та покрівельною сендвіч-панеллю лягає ущільнювальна стрічка. Стик між стіновою сендвіч-панеллю та покрівельною сендвіч-панеллю

заповнюється монтажною піною. З внутрішньої та зовнішньої частини з'єднання кріпляться нащільники НЩ20. Нащільники НЩ 20 встановлюються за допомогою щільної заклепки, зверху заклепки мажеться герметик-силіконовий.

За наслідками комп'ютерного моделювання температурних полів вузла конструкції карнизу при внутрішньому вирішенні водостоку, представлені в таблиці 15, виявлено, що температура зовнішнього контуру у поєднанні стінових сендвіч-панелей становить –13,3°С, що досить вище від розрахункового значення температури зовнішнього повітря (-37,0 °С). З цього випливає, що у з'єднанні стінових сендвіч-панелей утворюються тепловтрати.

Цокольну частину будівлі обмазують гідроізоляцією, після цього сендвіч-панель кріпиться до стійки за допомогою самосвердлувальних шурупів, а стик між сендвіч-панеллю та цоколем заповнюється монтажною піною. Для того щоб вода не проникала в стик між стіною та цоколем з зовнішньої частини кріпиться нащільник НЩ3 за допомогою щільної заклепки, зверху заклепки мажеться герметик-силіконовий.

За результатами комп'ютерного моделювання температурних полів вузла конструкції карниза при внутрішньому рішенні водостоку, виявлено, що температура зовнішнього контуру в поєднанні стінових сендвіч-панелей становить -19,4 ° С, що досить вище від розрахункового значення температури зовнішнього повітря (-37,0 ° С). З цього слід, що у поєднанні стінових сендвіч-панелей утворюються тепловтрати.

Результати розрахунку підтверджують, що у вузлових з'єднаннях сендвіч-панелей відбуваються тепловтрати.

Більш детальний аналіз вузлів виявив, що у місцях з'єднаннях сендвіч-панелей використовується монтажна піна. За результатами розрахунку у програмному комплексі виявилося, що зміни температурного потоку відбувається саме в вузлових стиках сендвіч-панелей, слід зазначити, що у цих місцях використовується монтажна піна.

Слід припустити, що причиною цих втрат може бути заповнення вузлових з’єднань монтажною піною, тому що можливо використання не якісного матеріалу при заповненні стиків, а також в процесі експлуатації або в процесі будівництва можливе проникнення вологи або ультрафіолетового світла до вузлових сполук сендвіч-панелей, тим самим погіршується якість монтажної піни.

До базових характеристик монтажної піни можна віднести:

1) високі адгезійні показники. Речовина утворює міцну сполуку з основними матеріалами, застосовувані в будівництві, але до промаслених, силіконових основ поліетилену піна пристає набагато гірше;

2) при виході з балона герметик збільшується в п’ятдесят разів, іноді зустрічається збільшення двадцять разів. Заповнення швів займає пару хвилин, процес при цьому супроводжується шипінням та швидким заповненням простору. Одного балона достатньо для герметизації довгих та глибоких стиків;

3) спінений герметик після нанесення протягом кількох годин змінює об’єм. Дешевші варіантів схильні до усадки, що призводить до утворення щілин;

4) характеристики матеріал зберігає у тому випадку, коли не піддається впливу прямих променів сонця, хімічних реагентів та вологи. Якщо впливає хоча б один із перерахованих факторів, піна пересохне та розкришиться. Термін експлуатації погано захищеного матеріалу малий складає максимум сорок вісім місяців.

З цього можна зробити висновок, що в вузлових з’єднаннях конструкцій, що огороджують, з сендвіч-панелей відбуваються тепловтрати за рахунок застосування у вузлах монтажної піни.

2.2 Визначення залежності між коефіцієнтом теплопровідності та температурою поверхні вузла з'єднання сендвіч-панелей в програмному комплексі ANSYS Multiphysics

Для розрахунку використовується типове кутове з'єднання стінових сендвіч-панелей з використанням в стилю монтажної піни, показаного на рисунку 2.1. Візьмемо показники коефіцієнта теплопровідності при випробуваннях монтажної піни в роботі [18], де автор роботи вивчив характеристики структурних змін, що проходять в матеріалі при впливі дощу, вітру, сонячної радіації, циклічних впливах температури і вологості на поверхню матеріалу.

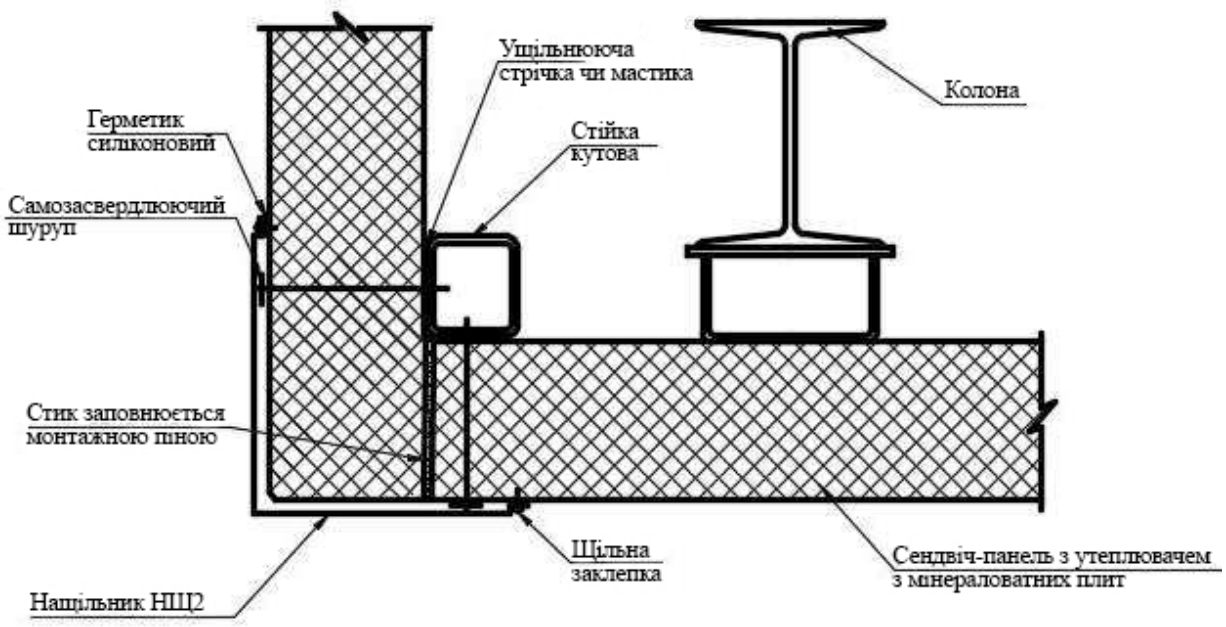


Рисунок 2.1 – Розрахункова схема кутового з'єднання стінових сендвіч-панелей

Розрахункова схема стіни представлена на рисунку 2.2, розрахункові теплофізичні характеристики матеріалів зовнішньої стіни наведені в таблиці 2.3. В якості утеплювача вибрано сендвіч-панелі з мінераловатним утеплювачем. Розрахунок зроблений за допомогою програмного комплексу ANSYS Multiphysics. Розрахункові граничні умови для розрахунку вказані в таблиці 2.4.

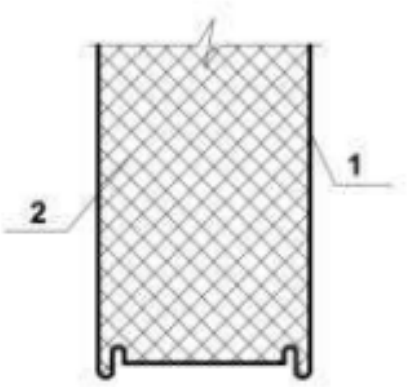


Рисунок 2.2 - Розрахункова схема сендвіч-панелі:

1 – оцинкований лист; 2 –утеплювач

Таблиця 2.3 - Характеристики матеріалів

№ з/п	Найменування матеріалів	Густина ρ_0, кг/м³	Коефіцієнт теплопровідності λ Вт/(м²·с)
1	Оцинкований лист з полімерним покриттям	7850	52
2	Мінераловатна плита (Rockwool)	105	0,035
3	Монтажна піна	25…35	0,033
4	Герметик	1050	0,35

Таблиця 2.4 - Розрахункові граничні умови для розрахунку будівельної конструкції

№	Параметр	Значення
1	Розрахункова температура зовнішнього повітря $t_н$, °С	-37,0
2	Розрахункова температура внутрішнього повітря $t_в$, °С	+20,0
3	Коефіцієнт тепловіддачі зовнішньої поверхні стіни $\alpha_н$, Вт/(м² · °С)	23,0
4	Коефіцієнт тепловіддачі внутрішньої поверхні стіни $\alpha_в$, Вт/(м² · °С)	8,7

Результати розрахунку кутового з’єднання сендвіч-панелей в програмному комплексі ANSYS Multiphysics представлені в таблиці 2.4, де виявлена

закономірність між коефіцієнтом теплопровідності монтажної піни і температурної поверхні в стилі стінових сендвіч-панелей.

Таблиця 2.5 – Результати розрахунку

№ з/п	Температура зовнішнього повітря	Коефіцієнт щільності λ Вт/(м²·с)	Температура поверхні по зовнішньому контуру в з'єднанні сендвіч-панелей ($T_н$ = -37 °С)	Температура поверхні по внутрішньому контуру в з'єднанні сендвіч-панелей ($T_в$ = +20 °С)
1	-37	0,033	-17,2	+18,2
2	-37	0,035	-17,1	+18,2
3	-37	0,038	-16,8	+17,9
4	-37	0,041	-16,4	+17,1

За результатами розрахунку виявлено, що при підвищенні коефіцієнта теплопровідності монтажної піни, за рахунок структурних змін характеристик, що знаходяться в матеріалі при впливі дощу, вітру, сонячної радіації, циклічних впливів температури і вологи на поверхні матеріалу, збільшуються тепловтрати в місцях стягнення сендвіч-панелей, тим самим зменшується строк довговічності вузлового спряження. Виходить із цього терміну експлуатації будівлі заявлена проєктувальниками припустимо зменшується в 2…3 рази.

2.3 Розрахунок з використанням програмного комплексу ANSYS Multiphysics та аналіз температурного потоку при утепленні вузлів сопряжень і кріплень сендвіч-панелей

Після розрахунку вузлів спряжених сендвіч-панелей виявилось, що причиною тепловтрат в експлуатованих будівлях є використання монтажної піни в якості утеплювача між панелями.

Для того щоб виключити тепловтрати в експлуатованих будівлях необхідно

забезпечити герметичність швів, а також створення щільного з'єднання за рахунок використання утеплювача в стиках.

Для підтвердження ефективності утеплення та герметичності швів необхідно провести аналіз теплового потоку в утеплених вузлах. При цьому необхідно слідувати таким алгоритмом дій в програмному комплексі ANSYS Multiphysics:

1. Вибрати тип створюваної моделі - теплопередача стаціонарна.

2. Визначити робочу область і задати геометричну модель.

3. Указати граничні умови моделі.

4. Прийняти теплофізичні властивості і початкові умови.

5. Задати параметри сітки елементів і її побудову.

6. Визначити параметри вирішального пристрою і запустити розрахунок.

7. Налаштувати режим відображення результатів розрахунків.

8. Провести аналіз отриманих результатів.

Таблиця 2.6 - Характеристики матеріалів, які використовуються при розрахунку

№ з/п	Найменування матеріалів	Щільність ρ_0, кг/м³	Коефіцієнт теплопровідності λ Вт/(м²·с)
1	Оцинкований лист з полімерним покриттям	7850	52
2	Мінераловатна плита (кам'яна вата)	105	0,035
3	Герметик	1050	0,35
4	Мастика	100	0,032

Таблиця 2.7- Розрахункові граничні умови для розрахунку огороджуючої конструкції

№	Параметр	Значення
1	Розрахункова температура зовнішнього повітря $t_н$, °С	-37,0
2	Розрахункова температура внутрішнього повітря $t_в$, °С	+20,0
3	Коефіцієнт тепловіддачі зовнішньої поверхні стіни $\alpha_н$, Вт/(м² · °С)	23,0
4	Коефіцієнт тепловіддачі внутрішньої поверхні стіни $\alpha_в$, Вт/(м² · °С)	8,7

На рисунку 2.3 показано з’єднання стінових сендвіч-панелей між собою по повздовжнім кромкам і кріплення їх до каркасу будівлі. Стенові сендвіч-панелі монтуються на прогон за допомогою самозасвердлюючих шурупів. Стик між сендвіч-панелями заповнюється утеплювачем, на приклад мінеральною ватою в поліетиленовій плівці. З зовнішньої частини вузлового з’єднання кріпиться фасонний елемент ФЭ-С4. Зверху ФЭ-С4 зміцнюється фасонний елемент ФЭ-С1 за допомогою самозасвердлюючих шурупів.

В місцях з’єднання фасонного елементу ФЭ-С1 і стінової сендвіч-панелі необхідно використовувати герметик-силіконовий для герметизації швів.

За результатами комп'ютерного моделювання температурних полей з’єднань стінових сендвіч-панелей між собою по повздовжнім кромкам і кріплення їх до каркасу будівлі, представлених в таблиці вище, виявлено, що температура зовнішнього контуру в з'єднанні стінових сендвіч-панелей становить –28,3 °С (таблиця 2.7, точка 1), що достатньо наближено до розрахункового значення температури зовнішнього повітря (-37,0 °С). З цього випливає, що за рахунок утеплення стику мінеральною ватою в поліетиленовій плівці тепловтрати в вузлі ліквідовані.

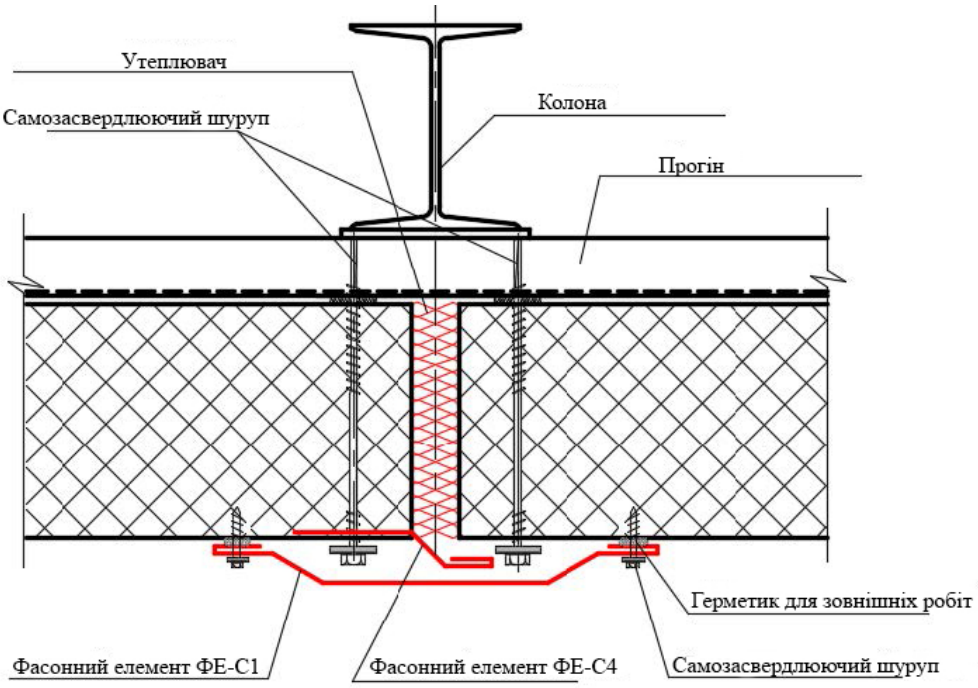
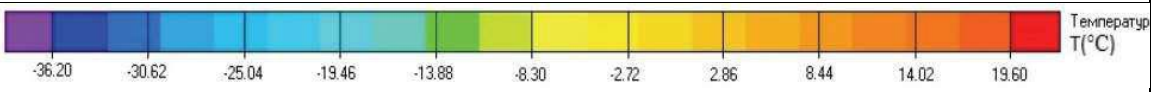
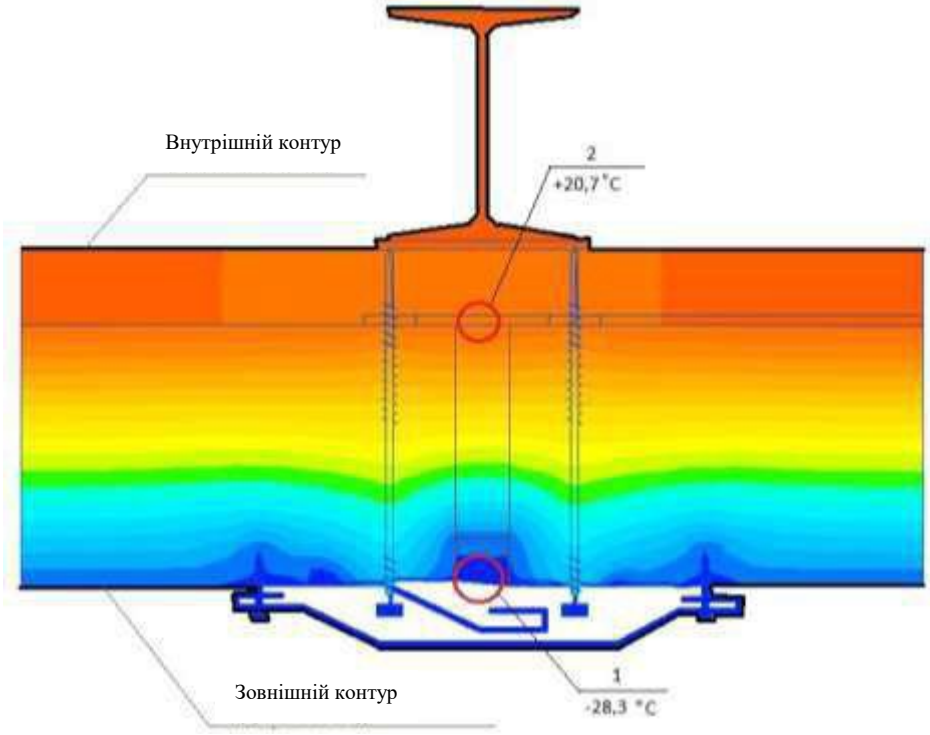


Рисунок 2.3 – З’єднання стінових сендвіч-панелей між собою по повздовжнім кромкам і кріплення їх до каркасу будівлі

Таблиця 2.8 - Результати комп'ютерного моделювання температурних полей з'єднань стінових сендвіч-панелей між собою по повздовжнім кромкам і кріплення їх до каркасу будівлі

<table>
<tr><td colspan="2">Шкала розподілення теплового потоку</td></tr>
<tr><td colspan="2">

Температура зовнішнього повітря Тзов = –37 °С;
Температура повітря всередині приміщення Твн =20 °С.</td></tr>
<tr><td colspan="2">Діаграма розподілення теплового потоку</td></tr>
<tr><td colspan="2">
</td></tr>
<tr><td>№ позиції</td><td>Температура в точках вузла, °С</td></tr>
<tr><td>1</td><td>-28,3</td></tr>
<tr><td>2</td><td>+20,7</td></tr>
</table>

На рисунку 2.4 показано кутове з’єднання стінових сендвіч-панелей. Стінові сендвіч-панелі монтуються на кутову стійку за допомогою самозасвердлюючих шурупів. В стик між сендвіч-панелями кладеться утеплювач - мінеральна вата, з внутрішніми частинами з'єднання закладається ущільнююча маса (мастика). З зовнішньої частини з'єднання кріпиться фасонний елемент ФЭ-У2, з внутрішньої

частини зміцнюється фасонний елемент ФЭ-У3. По краях фасонних елементів для герметизації необхідно наносити силіконовий герметик.

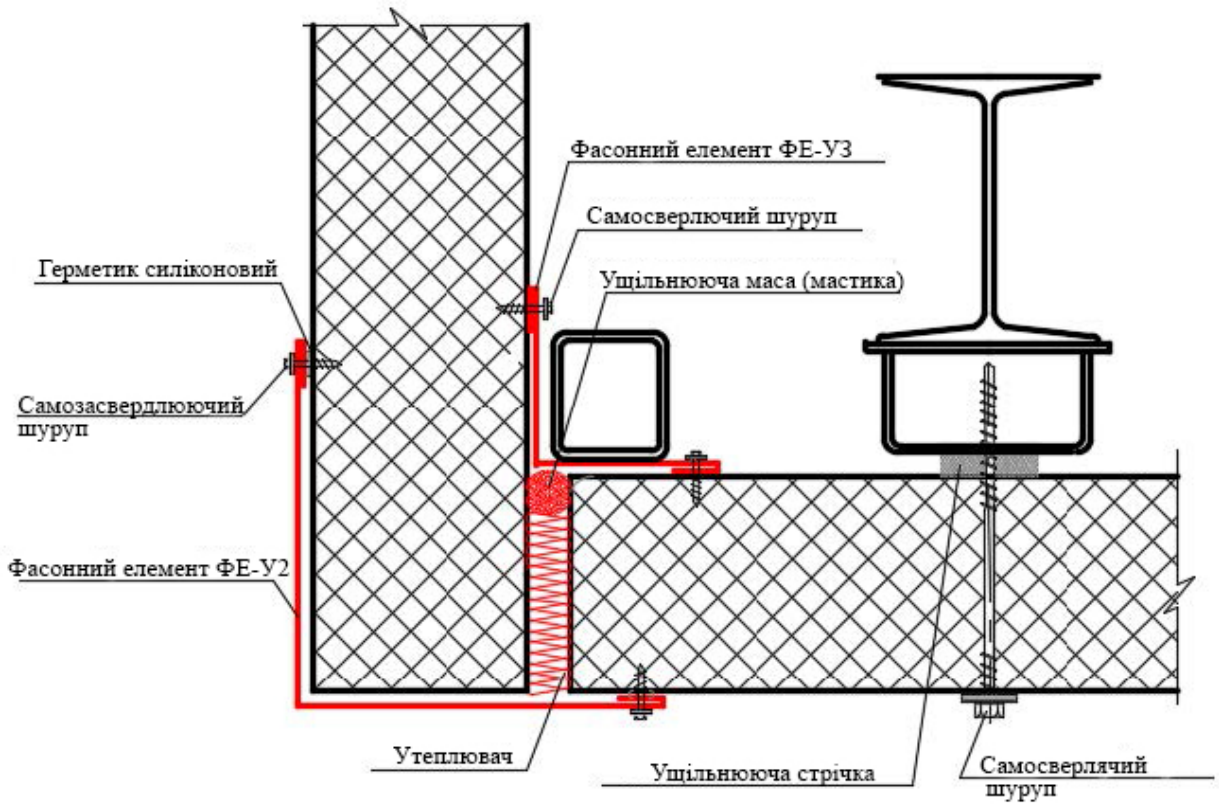
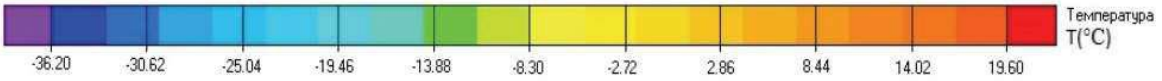
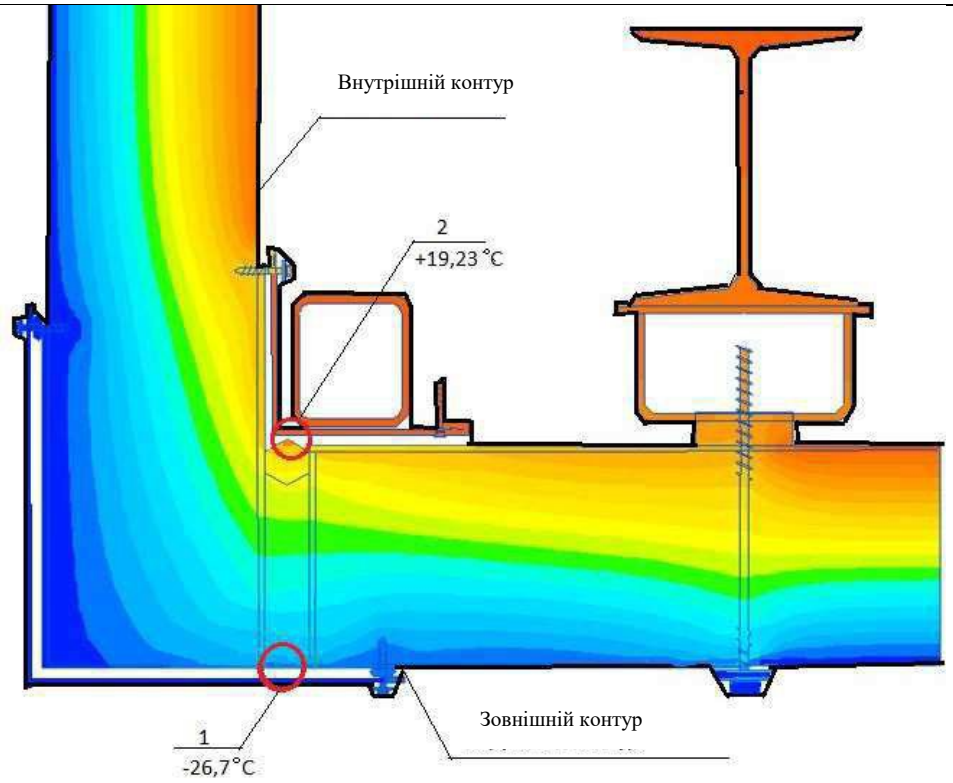


Рисунок 2.4 – Кутове з’єднання стінових сендвіч-панелей

За результатами комп'ютерного моделювання температурних полів кутового з'єднання стінових сендвіч-панелей, представлених у таблиці 2.7, виявлено, що температура зовнішнього контуру в з'єднаннях стенових сендвіч-панелей становить –26,7 °С (таблиця 2.8, точка 1), що достатньо наближено до розрахункового значення температури зовнішнього повітря (-37,0 °С). З цього випливає, що в з'єднанні стінових сендвіч-панелей тепловтрати відсутні, що підтверджує ефективність утеплення та герметизації стику.

Таблиця 2.9 - Результати комп'ютерного моделювання температурних полів кутового з’єднання стінових сендвіч-панелей

<table>
<tr><td colspan="2">Шкала розподілення теплового потоку</td></tr>
<tr><td colspan="2">

Температура зовнішнього повітря Тзов = –37 °С;
Температура повітря всередині приміщення Твн =20 °С.</td></tr>
<tr><td colspan="2">Діаграма розподілення теплового потоку</td></tr>
<tr><td colspan="2">
</td></tr>
<tr><td>№ позиції</td><td>Температура в точках вузла, °С</td></tr>
<tr><td>1</td><td>-26,7</td></tr>
<tr><td>2</td><td>+19,2</td></tr>
</table>

На рисунку 2.5 показаний вузол конструкції карнизу при внутрішньому рішенні водостоку. Стик між стіновою сендвіч-панеллю та покрівельною сендвіч-панеллю заповнюється утеплювачем. З внутрішньої частини стики заповнюються ущільнювальною масою (мастикою). З внутрішніми частинами з’єднань зміцнюється фасонний елемент ФЭ-К1, із зовнішньою частиною з’єднання зміцнюється фасонний елемент ФЭ-К5. Фасонні елементи кріпляться до сендвіч-панелей за допомогою самозасверлюючих шурупів.

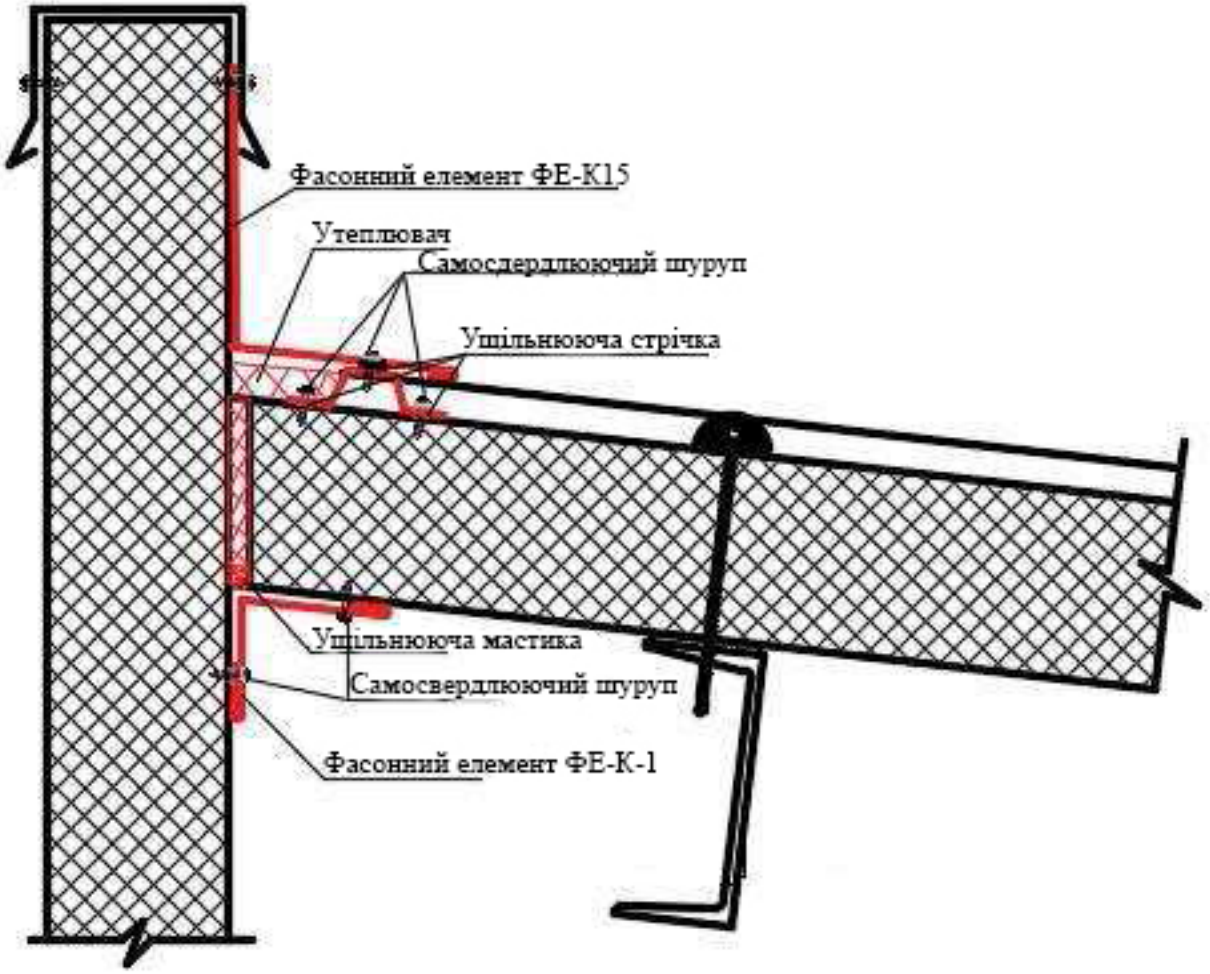
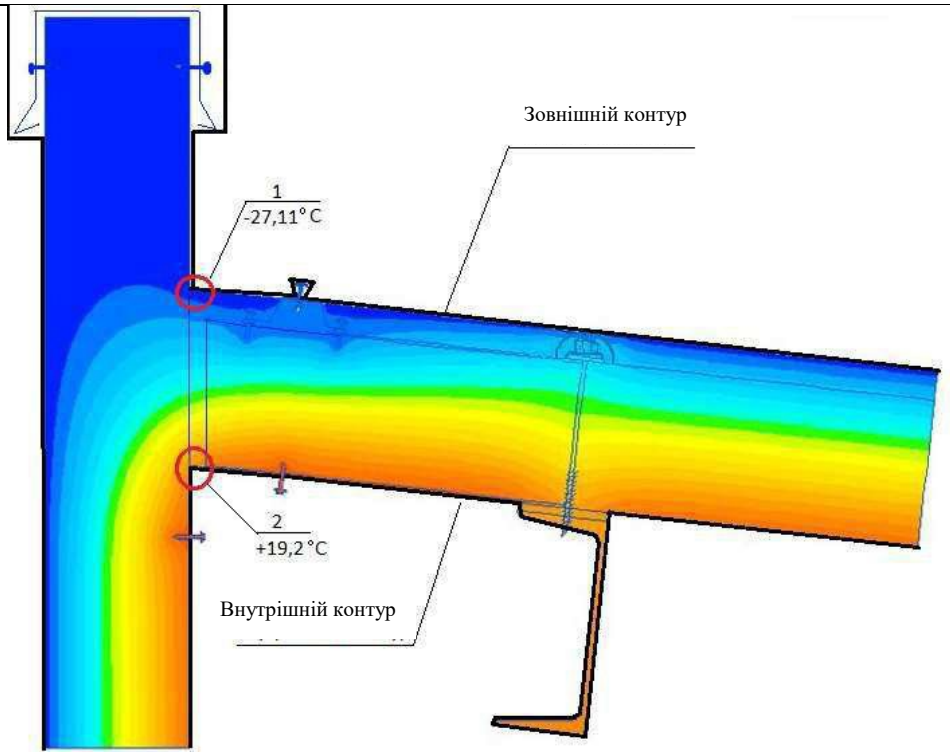


Рисунок 2.5 - Конструкція карниза при внутрішньому рішенні водостоку

За результатами комп'ютерного моделювання температурних полів конструкції карниза при внутрішньому рішенні водостоку, представленого в таблиці 24, виявлено, що температура зовнішнього контуру в з'єднаннях сендвіч-панелей становить -27,1 °С (таблиця 24, точка 1), що досить близько до розрахункового значення температури зовнішнього повітря (-37,0 °С). З цього випливає, що в конструкції карнизу тепловтрати відсутні, що підтверджує ефективність утеплення та герметизації стиків.

Таблиця 2.10 - Результати комп'ютерного моделювання температур полів конструкції карнизу при внутрішньому рішенні водостоку

<table>
<tr><td colspan="2">Шкала розподілення теплового потоку</td></tr>
<tr><td colspan="2">

Температура зовнішнього повітря Тзов = –37 °С;
Температура повітря всередині приміщення Твн =20 °С.</td></tr>
<tr><td colspan="2">Діаграма розподілення теплового потоку</td></tr>
<tr><td colspan="2">
</td></tr>
<tr><td>№ позиції</td><td>Температура в точках вузла, °С</td></tr>
<tr><td>1</td><td>-27,1</td></tr>
<tr><td>2</td><td>+19,2</td></tr>
</table>

На рисунку 2.6 показаний коньковий вузол для покрівлі з уклоном 10 %. Стик між покрівельними сендвіч-панелями заповнюється утеплювачем або водонепроникною поліуретановою прокладкою, також з внутрішньої частини з'єднання необхідно вставити ущільнювальну масу (до прикладу мастики). З внутрішньої частини вузлового з'єднання кріпиться фасонним елементом ФЭ-К19, з зовнішньої частини кріпиться фасонний елемент ФЭ-К18. Фасонні

елементи кріпляться за допомогою самозасверлюючих шурупів з використанням герметика для зовнішнього застосування. В місцях кріплення покрівельної сендвіч-панелі до прогону необхідно покласти ущільнювальну стрічку.

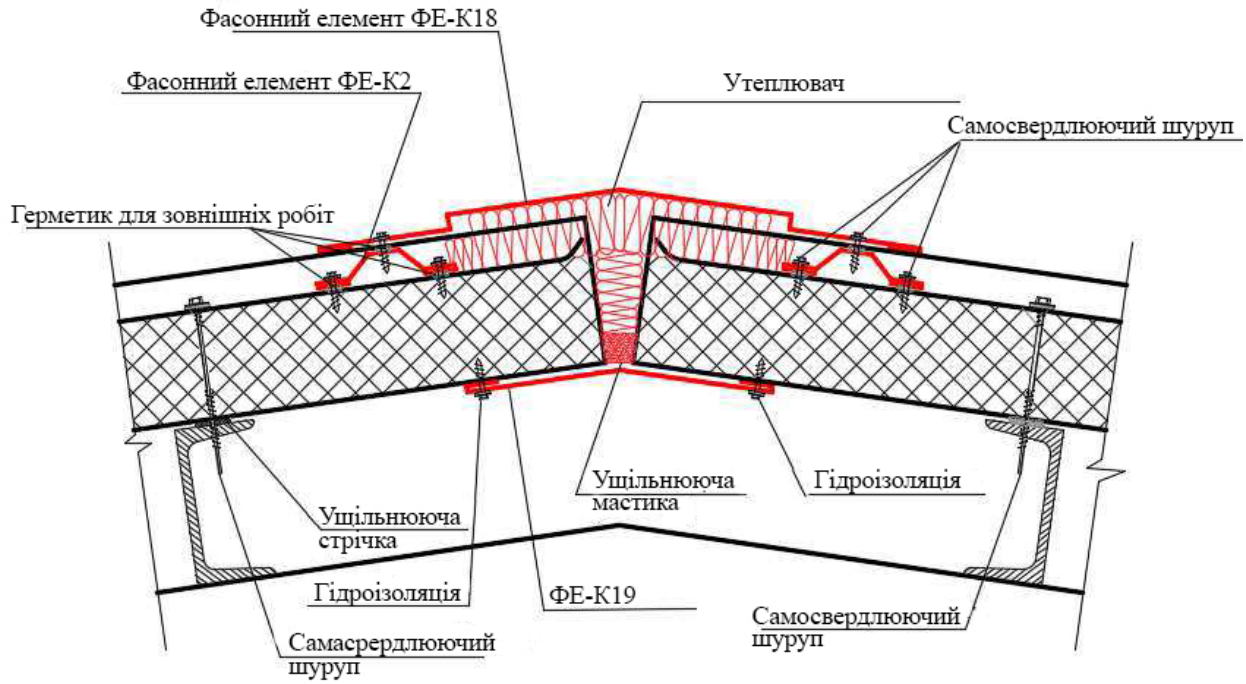
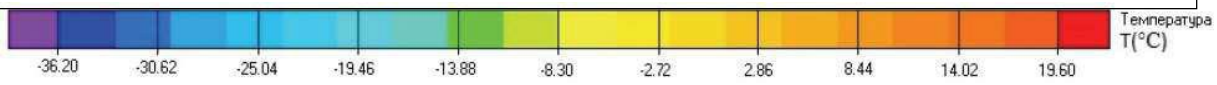
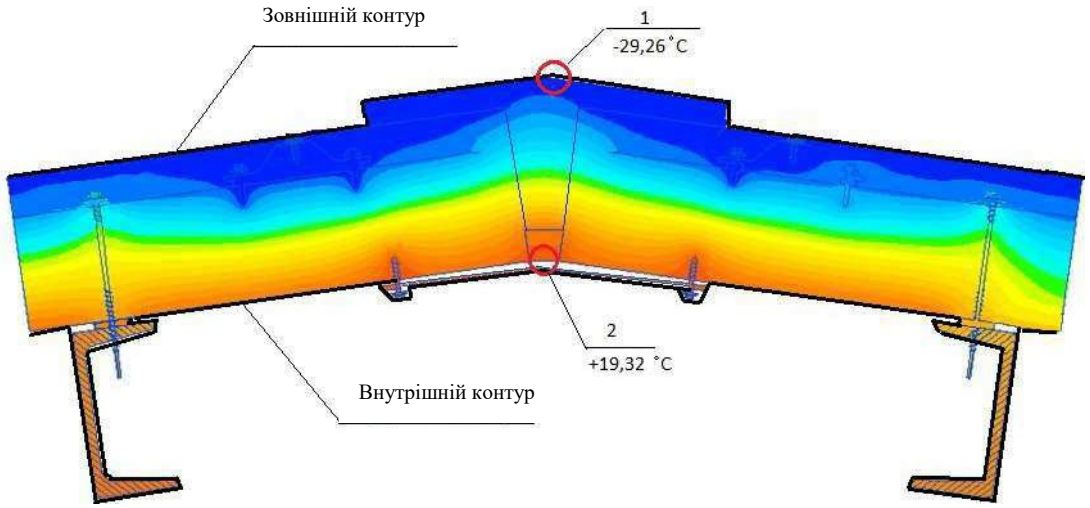


Рисунок 2.6 – Коньковий вузол для покрівлі з уклоном 10 %

За результатами комп’ютерного моделювання температурних полів конькового вузлу для крові з уклоном 10 %, представлених у таблиці 2.11, виявлено, що температура зовнішнього контуру в з'єднанні покрівельних сендвіч-панелей становить -29,3 °С (таблиця 2.11, точка 1), що досить близько до розрахункового значення температури зовнішнього повітря (-37,0 °С). З цього випливає, що в конструкції конькового вузла тепловтрати відсутні, що підтверджує ефективність утеплення та герметизації стику.

Таблиця 2.11 - Результати комп'ютерного моделювання температур полів конькового вузла для покрівлі з уклоном 10 %

Шкала розподілення теплового потоку

Температура зовнішнього повітря *Тзов* = –37 °С; Температура повітря всередині приміщення *Твн* =20 °С.

Діаграма розподілення теплового потоку


№ позиції	Температура в точках вузла, °С
1	-29,3
2	+19,3

На рисунку 2.7 показаний вузол конструкції карниза при зовнішньому рішенні водостоку. Поміж стіновою сендвіч-панеллю та покрівельною панеллю для утеплення використовувалася монтажна піна, після доробки вузла між стіновою сендвіч-панеллю та покрівельною панеллю використовується утеплювач і ущільнююча маса. З зовнішньої частини з'єднання кладеться ущільнююча маса (мастика). З внутрішньої і зовнішньої частини з'єднання кріпляться фасонні елементи ФЭ-К1. Фасонні елементи кріпляться за допомогою самозасверлюючих

шурупів з використанням герметика для зовнішнього застосування, в місцях кріплення покрівельної сендвіч-панелі до прогону необхідно покласти ущільнюючу стрічку для виключення деформації від навантаження.

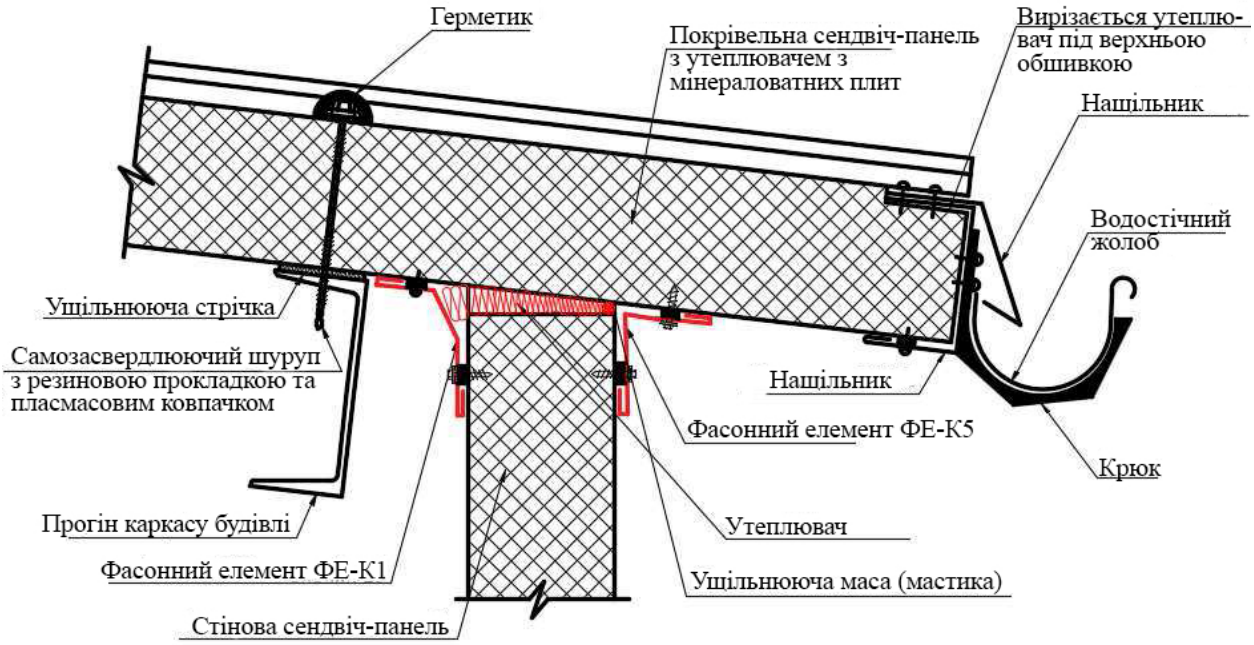
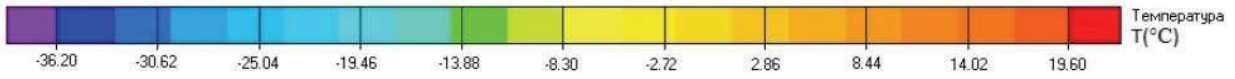
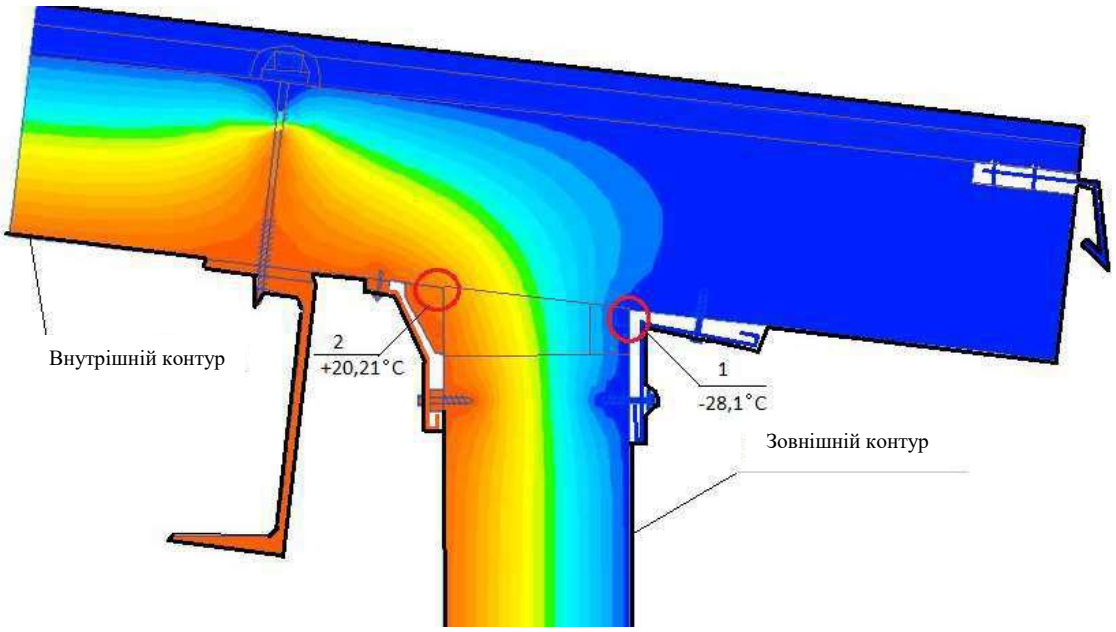


Рисунок 2.7 - Конструкція карниза при зовнішньому рішенні водостоку

За результатами комп'ютерного моделювання температурних полів конструкції карниза при зовнішньому рішенні водостоку, представленого в таблиці 26, виявлено, що температура зовнішнього контуру в з'єднаннях сендвіч-панелей становить -28,1 °С (таблиця 2.12, точка 1), що досить близько до розрахункового значення температури зовнішнього повітря (-37,0 °С). З цього випливає, що в конструкції конькового вузла тепловтрати відсутні, що підтверджує ефективність утеплення та герметизації стика.

Таблиця 2.12 - Результати комп'ютерного моделювання температурних полів конструкції карниза при зовнішньому рішенні водостока

Шкала розподілення теплового потоку

Температура зовнішнього повітря *Тзов* = –37 °С;
Температура повітря всередині приміщення *Твн* =20 °С.

Діаграма розподілення теплового потоку


№ позиції	Температура в точках вузла, °С
1	-28,1
2	+20,2

На рисунку 2.8 показаний вузол спирання стінової сендвіч-панелі на цоколь будівлі. Поміж стіновою сендвіч-панеллю і цокольною частиною фундаменту до утеплення використовувалася монтажна піна, після доопрацювання вузла між стіновою сендвіч-панеллю і цокольною частиною фундаменту фасонний Елемент ФЭ-Ц2 і водонепроникна поліуретанова прокладка, тим самим дані елементи не дають теплому повітрю виходити назовні. Фасонний елемент ФЭ-Ц2 кріпиться до

цоколю будівлі на дюбель. Стик між стіновою сендвіч-панеллю і цоколем будівлі заповнюється утеплювачем. З внутрішньої частини стики заповнюються ущільнюючою масою (мастикою).

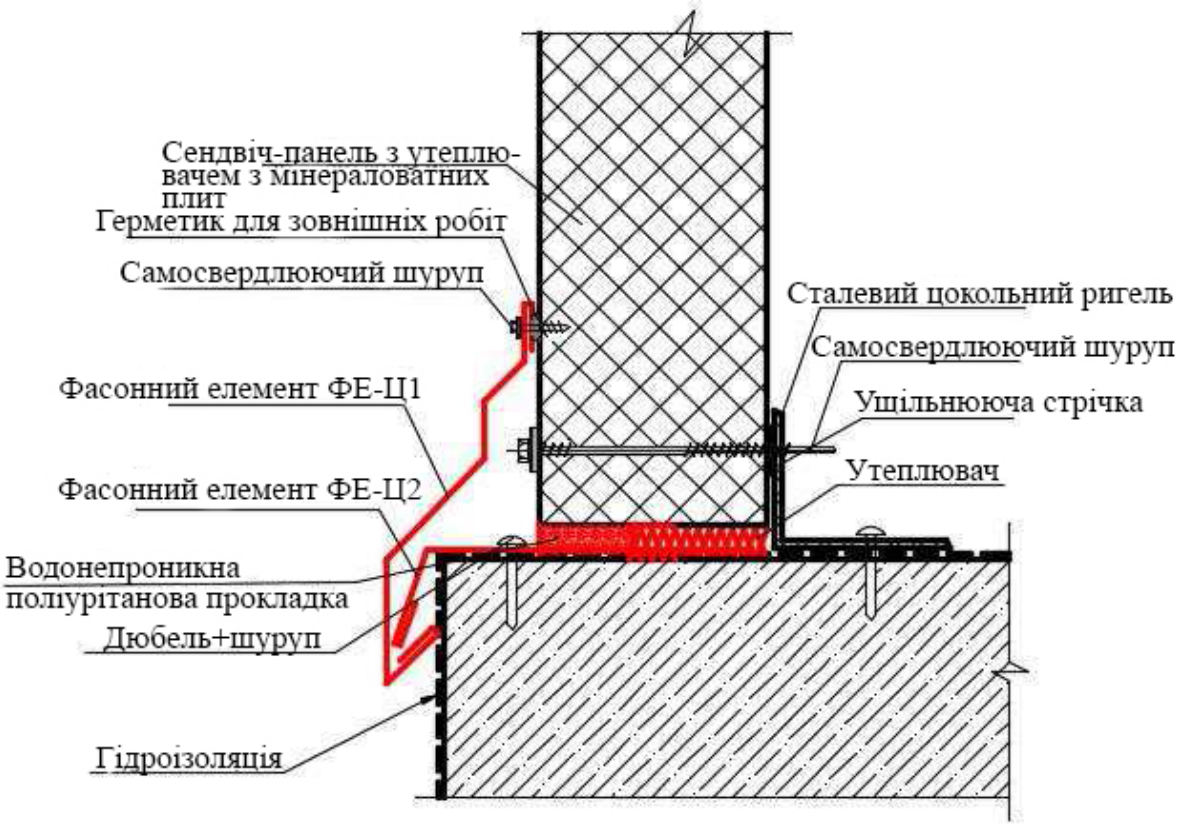
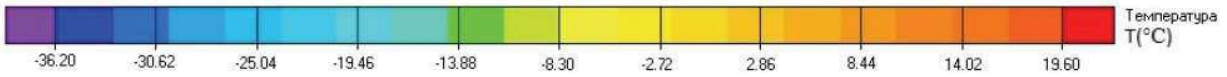
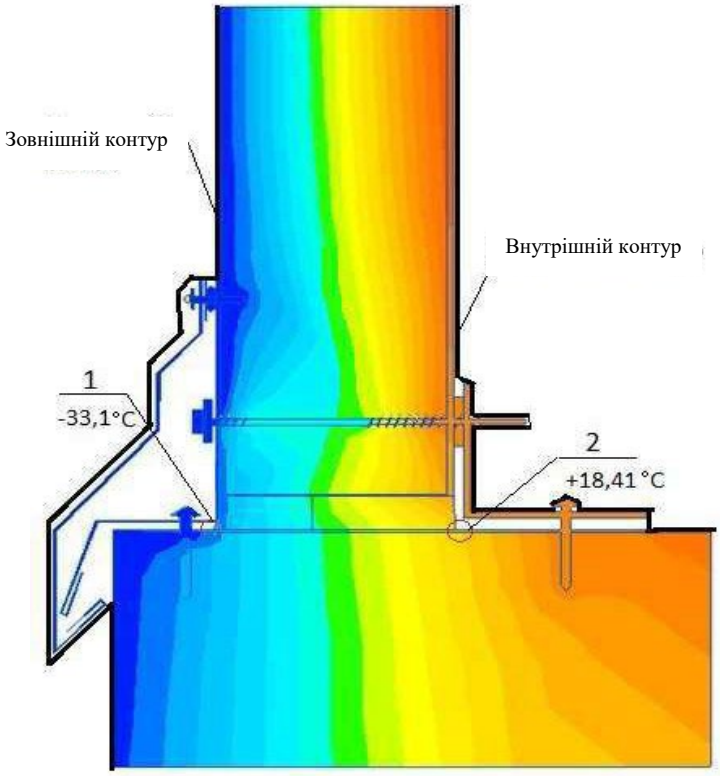


Рисунок 2.8 - Вузол обприскування стінової сендвіч-панелі на цоколь будівлі

За результатами комп'ютерного моделювання температурних полів вузла спирання стінової сендвіч-панелі на цоколі будівлі, які представлені в таблиці 2.13, виявлено, що температура зовнішнього контуру в з'єднанні стінових сендвич-панелей становить -28,1 °С (таблиця 2.13, точка 1), що достатньо наближено до розрахункового значення температури зовнішнього повітря (-37,0 °С). З цього випливає, що в конструкції конькового вузла тепловтрати відсутні, що підтверджує ефективність утеплення та герметизації стиків.

Таблиця 2.13 - Результати комп'ютерного моделювання температурних полів вузла спирання стінової сендвіч-панелі на цоколь будівлі

Шкала розподілення теплового потоку

Температура зовнішнього повітря *Тзов* = –37 °С;
Температура повітря всередині приміщення *Твн* =20 °С.

Діаграма розподілення теплового потоку	
	
№ позиції	Температура в точках вузла, °С
1	-28,1
2	+20,2

З результатів розрахунку виявлено, що найбільш ефективно використовувати в спряженнях сендвіч-панелей утеплювач з водонепроникною поліуретановою прокладкою, а також всі елементи кріплення промазувати герметиком - силіконовим для повної герметизації швів.

Аналіз отриманих результатів експериментально-теоретичних досліджень вузлових з’єднань сендвіч-панелей показує, що:

- в з’єднаннях огороджуючих конструкцій із сендвіч-панелей температура поверхні панелей вища на 3-4 градуси, ніж основна частина фасаду;

- розмір зовнішньої огороджуючої конструкції в вузлових з’єднаннях сендвіч-панелей в середньому дорівнює -18,3 °С, температура зовнішнього повітря прийнята в розрахунку -37 °С , що говорить про те, що в вузлах проходять тепловтрати.

За результатами розрахунку в програмному комплексі виявлено, що зміни температурного потоку проходять саме в вузлових стиках сендвіч-панелей, саме в цих місцях використовується монтажна піна.

При підвищенні коефіцієнта теплопровідності монтажної піни, за рахунок структурних змін характеристик, які відбуваються в матеріалі, збільшуються тепловтрати в місцях стикування сэндвич-панелей, тим самим зменшується термін їхньої довговічності. Відповідно й зменшується в 2…3 рази заявлений проєктувальниками термін експлуатації будівлі.

Після утеплення вузлів з’єднань сендвіч-панелей мінеральною ватою в якості герметизації стиків, температура зовнішнього і внутрішнього контуру наближається до нормативної, що свідчить про відсутність тепловтрат.

3 ШЛЯХИ ВИРІШЕННЯ УСУНЕННЯ ДЕФЕКТІВ ТА ПОШКОДЖЕНЬ СЕНДВІЧ-ПАНЕЛЕЙ В БУДІВЛЯХ, ЩО ЕКСПЛУАТУЮТЬСЯ

3.1. Практичні рекомендації щодо усунення дефектів у вузлах сполучень та кріплень сендвіч-панелей

Як позначено у другому розділі, вузли з’єднання стінових панелей між собою; вузли конструкції покрівлі; обпирання стінової сендвіч-панелі на цокольні будівлі необхідно утеплювати, так як в місцях з’єднань сендвіч-панелей використовується монтажна піна, за рахунок чого з’являються тепловтрати в будівлі.

В роботі [7] відзначається, що одна з негативних особливостей каркасних будівель з огороджуючими конструкціями з сендвіч-панелей – це наявність багаточисельних мостиків холоду в місцях з’єднань конструкцій. Автор роботи описує, що має бути зовнішня оболонка будівлі повітронепроникною, що є основним принципом проєктування енергоефективних будівель. Також в каркасних будівлях з теплоізоляцією з мінераловатних і скловолокнистих плит в умовах підвищеної інфільтрації велике значення має герметичність зовнішньої оболонки будівлі. З урахуванням цих зауважень, автор рекомендує забезпечувати герметичність швів вітрогідрозахисною і пароізоляційною мембраною, а також створювати щільне з’єднання повітронепроникних поверхонь різних будівельних конструкцій між собою. Особливу увагу при зведенні стінових будівельних конструкцій слід уділяти проклейці мембрани біля закритих вікон і дверей, а також в місцях замкового з’єднання сендвіч-панелей.

Підвищення теплозахисних якостей стінових огороджувальних конструкцій полягає в збільшенні їх опору теплопередачі до нормативних

значень, діючих в даний час. Це досягається утепленням стін теплоізоляційними матеріалами, які повинні захищатися від зовнішніх впливів захисно-декоративним шаром, здатним при необхідності зберегти або поліпшити архітектурно-художній вигляд будівлі або приміщення. Також слід відзначити, що при збільшенні кількості кріпильних елементів у вузлах, також збільшується міцність вузлових з'єднань.

З розрахунків розділу 2 доказано, що набагато вигідніше використовувати в стиках сендвіч-панелей утеплювач із мінеральної вати та ущільнювальної маси в якості герметизації стику, що істотно скорочує тепловтрати з приміщень в навколишнє середовище.

Для усунення в процесі будівництва або експлуатації зминання сендвіч-панелей на опорах, відшарування утеплювача від сталевого листа панелі, необхідно використовувати певні кріпильні елементи, такі як болти, монтажні дюбеля, заклепки і одночасно забезпечувати герметичність швів.

Застосування болтів в області з'єднань сендвііч-панелей не отримало широкого застосування внаслідок невеликої технологічності таких з'єднань в порівнянні з гвинтовими та заклепними, внаслідок наступних причин:

- в необхідності точного виконання отворів на заводі;

- в застосуванні болтів малих діаметрів, у вигляді малої товщини з'єднуваних деталей і відсутності на ринку механізованого інструменту для їх монтажу;

- в необхідності забезпечення двостороннього доступу до конструкції в процесі монтажу.

Використання монтажних дюбелів для порохових і пневматичних монтажних пістолетів, при з'єднанні елементів відрізняється високою швидкістю монтажу, особливо при використанні стрічкової подачі патронів і дюбелів, однак при цьому необхідна висока кваліфікація монтажника і спостереження спеціальних мір з техніки безпеки. Також необхідно відзначити, що вартість монтажного дюбеля і патрона вища вартості гвинтів і витяжних заклепок.

Існуючим недоліком застосування монтажних дюбелів, є неможливість забезпечення міцного з’єднання тонколистового матеріалу з базовим листом товщиною менше за 2 мм.

Застосування заклепок зумовлено рядом переваг в порівнянні з іншими типами з’єднувачів. При застосуванні заклепок отримується більш щільне, герметичне з’єднання, відповідно підвищується несуча здатність на здвиг; значно менша вартість; велика різноманітність способів монтажу для встановлення заклепок: ручний, пневматичний, акумуляторний; простота установки, доступ до з’єднуваних елементів потрібен тільки з однієї сторони.

Застосування прес з’єднувачів і з’єднувачів типу «Розетт», при яких здійснюється з’єднання за допомогою продавлювання з наступною розвальцовкою сталевого листа сполучних деталей, доцільно в умовах з’єднання елементів каркасу на заводі по виробництву готових комплектів металоконструкцій, з послідуючою збіркою на будівельному майданчику за допомогою інших типів з’єднувачів. Подібні типи з’єднувачів відрізняються невисокою вартістю, однак виконання цих з’єднань в умовах будмайданчика і на висоті неможливо.

З’єднання сендвіч-панелей на витяжні заклепки і самосвердлюючі самонарізні гвинти найбільш розповсюджені. З’єднання відрізняються високою технологічністю, можливістю застосування мобільного, в тому числі акумуляторного інструменту, невелика енергозатратність, незалежність від кліматичних умов, відсутність у необхідності високої кваліфікації монтажників, односторонність застосування кріплення (можливість вести монтаж з однієї сторони) а також невелика вартість з’єднання.

На рисунку 3.1 представлений вид з’єднання типу «Розетт» сендвіч-панелей на самонарізні гвинти з герметизацією стику.

З вищепереліченого випливає, що найбільш ефективно використовувати заклепувальний з’єднувач сендвіч-панелей, тому що за рахунок такого з’єднання отвори будуть герметичні, а з’єднання сендвіч-панелей більш

щільне, внаслідок цього волога не буде потрапляти в утеплювач, тим самим зменшуючи ймовірність витріскування або розшарування утеплювача у сендвіч-панелях. Також за рахунок пневматичної установки заклепувального з'єднання можна уникнути перетягування або недотягування кріплень, тим самим можна збільшити несучу здатність сендвіч-панелі.

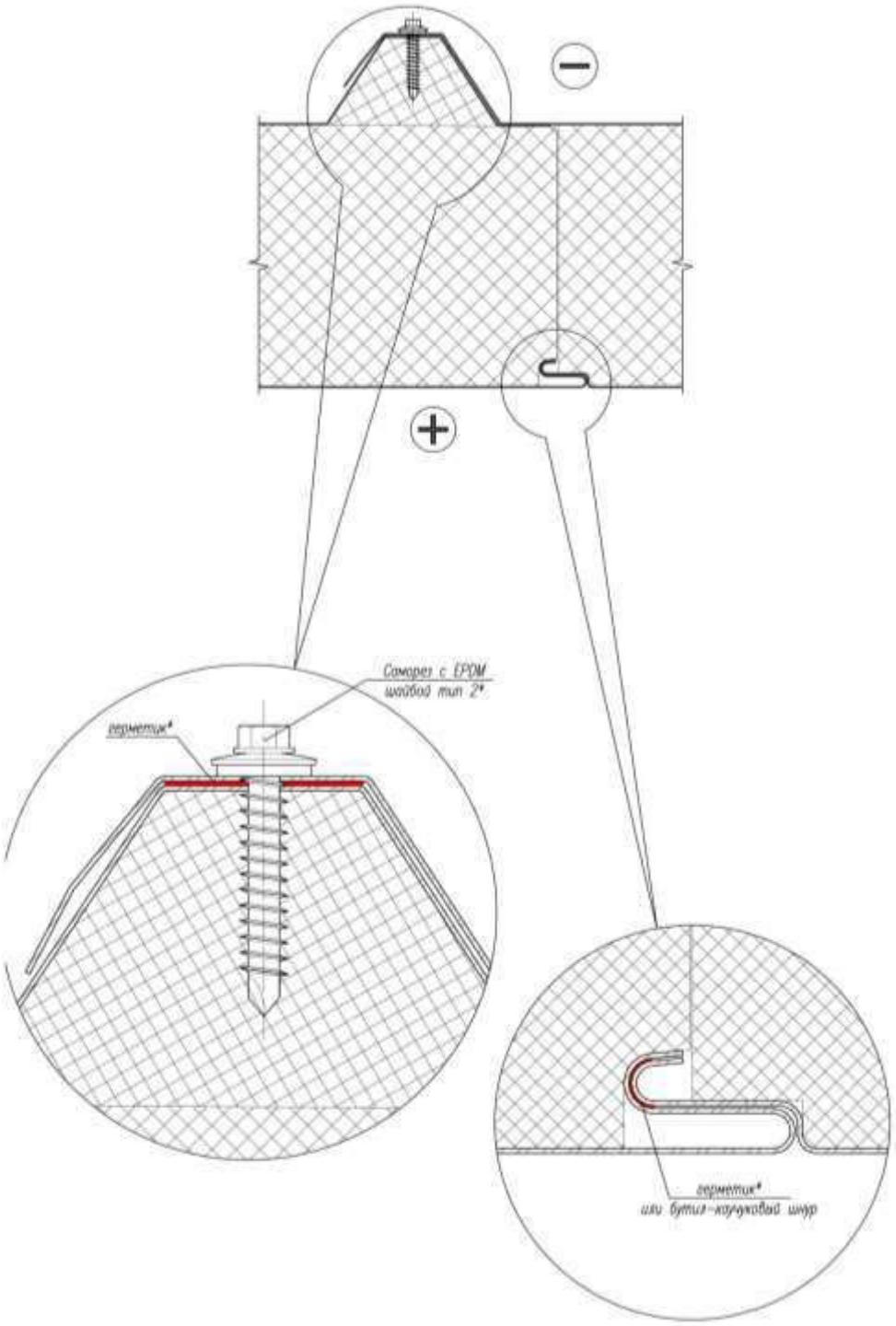


Рисунок 3.1 – З'єднання типу «Розетт» сендвіч-панелей на самонарізні гвинти з герметизацією стику

Ще не мало важлива проблема - це контроль якості виготовлення та монтажу сендвіч-панелей, оскільки основними причинами дефектів сендвіч-панелей є використання неякісного матеріалу, правильне складування панелей та порушення процесу будівництва будівлі.

Контроль та оцінку якості робіт при монтажі панелей виконують відповідно до вимог нормативних документів:

- ДБН А.3.1-5:2016 Організація будівельного виробництва.

- ДСТУ-Н Б В.2.6-203:2015 Настанова з виконання робіт при виготовленні та монтажі будівельних конструкцій.

- ДСТУ-Н Б В.1.3-1:2009 Система забезпечення точності геометричних параметрів у будівництві. Виконання вимірювань, розрахунок та контроль точності геометричних параметрів. Настанова.

Правила виконання вимірювань параметрів будівель та споруд.

З метою забезпечення необхідної якості монтажу сендвіч-панелей монтажно-складальні роботи повинні піддаватися контролю всіх стадіях їх виконання. Виробничий контроль поділяється на вхідний, операційний (технологічний), інспекційний та приймальний. Контроль якості виконуваних робіт повинен здійснюватися спеціалістами та спеціальними службами, оснащеними технічними засобами, що забезпечують необхідну достовірність та повноту контролю, та покладається на керівника виробничого підрозділу (виконроба, майстра), який виконує монтажні роботи.

Панелі, що надходять на об'єкт, повинні відповідати вимогам відповідних стандартів, технічних умов на їх виготовлення та робочих креслень.

До проведення монтажних робіт сендвіч-панелі, сполучні деталі, арматура та засоби кріплення, що надійшли на об'єкт, мають бути піддані вхідному контролю. Кількість виробів та матеріалів, що підлягають вхідному контролю, має відповідати нормам, наведеним у технічні умови та стандарти.

Вхідний контроль проводиться з виявлення відхилень від цих вимог. Вхідний контроль панелей, що надходять, здійснюється зовнішнім оглядом і

шляхом перевірки їх основних геометричних розмірів, наявності заставних деталей, відсутності ушкоджень лицьової поверхні панелей. Необхідно також переконатися, що небетоновані сталеві закладні деталі мають захисне антикорозійне покриття. Закладні деталі, монтажні петлі та стропувальні отвори повинні бути очищені від бетону.

Кожен виріб повинен мати маркування, виконане фарбою, що не змивається.

Сендвіч-панелі, сполучні деталі, а також засоби кріплення, що надійшли на об'єкт, повинні мати супровідний документ (паспорт), в якому зазначаються найменування конструкції, її марка, маса, дата виготовлення. Паспорт є документом, що підтверджує відповідність конструкцій робочим кресленням. Результати вхідного контролю оформляються Актом і заносяться до Журнал обліку вхідного контролю матеріалів та конструкцій.

В процесі монтажу необхідно проводити операційний контроль за якістю робіт. Це дозволить своєчасно виявити дефекти та вжити заходів щодо їх усунення та попередження. Контроль проводиться під керівництвом майстра, виконроба відповідно до Схеми операційного контролю якості. Не допускається застосування не передбачених проектом підкладок для вирівнювання елементів, що монтуються за відмітками без погодження з проектною організацією.

При операційному (технологічному) контролі слід перевіряти відповідність виконання основних виробничих операцій з монтажу вимог, встановлених будівельними нормами та правилами, робочим проектом та нормативними документами. Результати операційного контролю мають бути зареєстровані в Журналі робіт із монтажу будівельних конструкцій.

Після закінчення монтажу сендвіч-панелей проводиться приймальний контроль виконаних робіт, при якому перевіряючим надається наступна документація:

- журнал робіт із монтажу будівельних конструкцій;
- акти огляду прихованих робіт;

- акти проміжного приймання змонтованих панелей;

- виконавчі схеми інструментальної перевірки змонтованих сендвіч-панелей;

- документи про контроль якості зварних з’єднань;

- паспорт на сендвіч-панелі.

При інспекційному контролі слід перевіряти якість монтажних робіт вибірково на розсуд замовника чи генерального підрядника з метою перевірки ефективності раніше проведеного виробничого контролю. Цей вид контролю може бути здійснений на будь-якій стадії монтажних робіт.

Результати контролю якості, що здійснюється технічним наглядом замовника, авторським наглядом, інспекційним контролем та зауваження осіб, які контролюють виробництво та якість робіт, мають бути занесені до Журналу робіт з монтажу будівельних конструкцій та зафіксовані в Загальному журналі робіт.

Якість виконання робіт забезпечується виконанням вимог до дотримання необхідної технологічної послідовності при виконанні взаємозалежних робіт та технічним контролем за ходом робіт, викладеним у Проєкті організації будівництва та Проєкті виконання робіт, а також у Схемі операційного контролю якості робіт. Контроль якості монтажу ведеться з моменту надходження конструкцій на будівельний майданчик та закінчують при здачі об'єкта в експлуатацію.

3.2 Визначення економічної доцільності вибору матеріалу підвищення теплозахисту вузла сполучення сендвіч-панелей

В життєвому циклі будівлі на вартість будівництва припадає п’ята частина загальних витрат, інші витрати - це витрати на експлуатацію. Безумовно, першорядним критерієм вибору матеріалів та конструктивних

рішень, що закладаються в проект або застосовуються під час будівництва, є вартість початкових вкладень.

Також стає очевидним і той факт, що зменшення витрат на експлуатацію стає ключовою умовою у вирішенні завдань економічної ефективності вкладень та енергоефективності.

Завданням розрахованого варіанта є модифікація вузлового з'єднання сендвіч-панелей для підвищення теплозахисту стінової конструктивної схеми із застосуванням різних сучасних будівельних матеріалів. Для вирішення поставленого завдання визначені наступні цілі:

- обчислення та дослідження теплових полів вузла огороджувальної конструкції на прикладі типового вузла сполучення сендвіч-панелей з теплоізоляційним шаром у стику з монтажної піни;

- виявлення потенційних містків холоду в аналізованому типовому вузлі та доопрацювання (модифікація) його підвищення теплозахисних якостей.

Для перевірки енергоефективності огороджувальної конструкції вибрано кутове з'єднання стінових сендвіч-панелей із теплоізоляційним шаром у стику з монтажної піни.

Фізико-механічні властивості матеріалів стінової конструктивної схеми розраховані характеристики в програмному комплексі ANSYS Multiphysics по внутрішньому та зовнішньому контурам.

Показники сили тепловтрат через теплопровідні включення визначаються за допомогою комп'ютерного моделювання температурних полів в програмному комплексі ANSYS Multiphysics.

Задано такі граничні умови:

1) температури внутрішнього та навколишнього повітря:

Твн=20°С;

Тзов = –37 °С;

2) коефіцієнти теплопередачі внутрішньої та зовнішньої поверхні

огороджувальних конструкцій відповідно: 8,7 та 23 Вт/м^2·°С

Типовим рішенням для конкретного вузла теплоізоляції стику сендвіч-панелей є влаштування теплоізоляційного шару із монтажної піни. За температури зовнішнього повітря –37 °С температура в стику за зовнішнім контуром становить –12,4 °С. Різниця між значеннями температур зовнішнього повітря та зовнішньої поверхні в стику сендвіч-панелей становить 24,6 °С.

Це пояснюється тим, що тепловий потік проходить у напрямку із приміщення до зовнішньої частини стіни через стик сендвіч-панелей і цим «прогріває» зовнішню поверхню вузлового з'єднання. В результаті формується місток холоду.

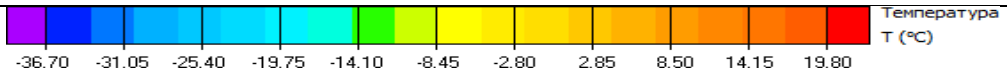
Судячи з напряму векторів теплових потоків в програмному комплексі ANSYS Multiphysics, основні тепловтрати відбуваються у напрямку від внутрішнього контуру в області стику сендвіч-панелі.

Цим пояснюється зниження температури поверхні кута в приміщенні (15,1 °С), а також підвищення поверхні кута контуру із зовнішньої частини з'єднання (-12,4 °С).

Аналіз значень теплових потоків, отриманих за внутрішнім та зовнішнім контурами будівлі, показує їхня розбіжність. Пояснюється це тим, що при розрахунках у програмному комплексі ANSYS Multiphysics враховуються площі внутрішнього та зовнішнього контурів будівлі, що відрізняються між собою. Так, при розрахунку теплового потоку по зовнішньому контуру враховуються теплові втрати приміщення будівлі.

Для порівняння ступеня енергоефективності базового варіанта 1 конструктивного виконання стінового вузла обраний тепловий потік по зовнішньому контуру, що характеризує теплові втрати з приміщень. Чисельне значення теплового потоку по зовнішньому контуру цього конструктивного рішення становить 78,2 Вт.

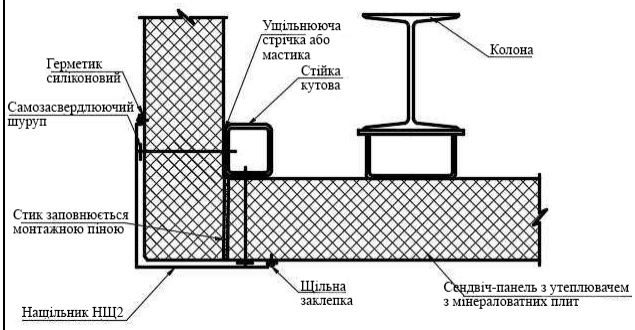
Таблиця 3.1 – Базовий та модифікований стіновий вузол із середнім теплоізоляційним шаром з пінополістиролу розрахований у програмному комплексі ANSYS Multiphysics

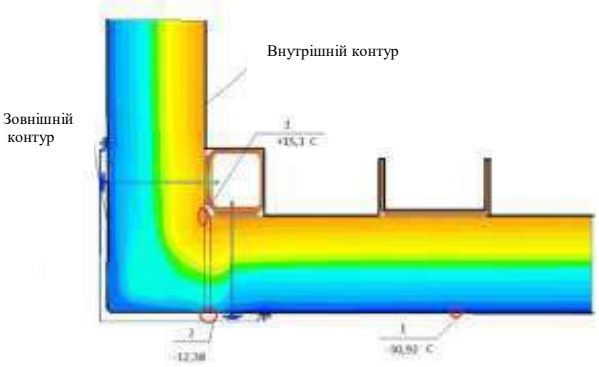


Температура зовнішнього повітря *Тзов* = –37 °С;

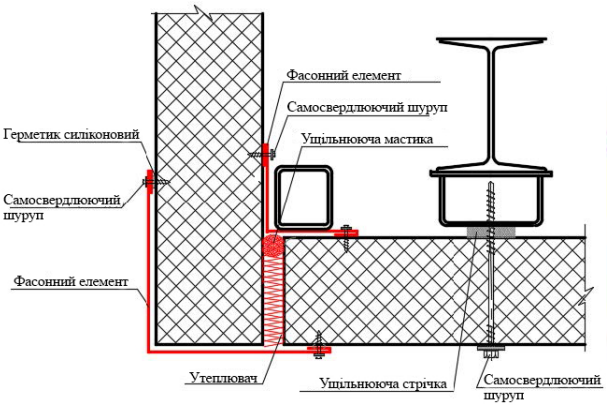
Температура повітря всередині приміщення *Твн* =20 °С.

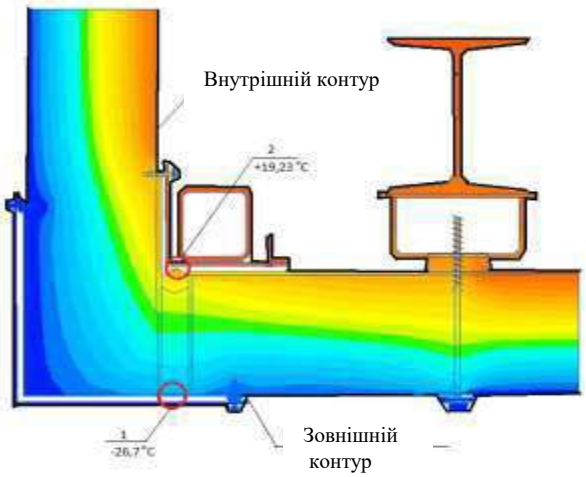
Варіант 1. Типовий вузол





Варіант 2. Утеплений вузол





Таблиця 3.2 – Фізико-механічні властивості матеріалів вузлів

№ позиції	Матеріал	Щільність матеріалу, кг/м^3	Розрахунковий коефіцієнт теплопровідності, Вт/(м·°С)
1	Оцинкований лист з полімерним покриттям	7850	52
2	Мінеральна плита	105	0,035
3	Монтажна піна	23…35	0,033
4	Герметик	1050	0,35
5	Мастика	100	0,032

Таблиця 3.3 – Теплотехнічні показники по внутрішньому контуру ($T_{вн}$ = 20 °С)

Модель (вузол)	Тепловий потік, Вт	Співвідношення, %	Економія тепла, %	Середня температура поверхні T_s, °С
Варіант 1	75,1	100	-	15,1
Варіант 2	29,3	39,02	60,98	19,2

Таблиця 3.4 – Теплотехнічні показники по зовнішньому контуру ($T_{зовн}$ = -37 °С)

Модель (вузол)	Тепловий потік, Вт	Співвідношення, %	Економія тепла, %	Середня температура поверхні T_s, °С
Варіант 1	78,2	100	-	12,4
Варіант 2	32,1	41,05	58,95	26,7

При використанні мінеральної вати як утеплювача в стику і масу ущільнювача в якості герметизації стику в модифікованому варіанті 2 в таблиці 3.1 спостерігається зниження теплового потоку за зовнішнім контуром порівняно з вихідним варіантом 1 на 41,1% (таблиця 3.2), а при цьому зменшення тепловтрат досягає з боку приміщення 39,02% (таблиця 3.3). Завдяки цьому, на підставі розрахунків виконаних у програмному комплексі

ANSYS Multiphysics можна зробити висновок, що застосування мінеральної вати як утеплювача в стику та ущільнювальну масу в якості герметизації стику суттєво скорочує тепловтрати з приміщень у навколишнє середовище.

На підставі комп'ютерних розрахунків моделі в програмному комплексі ANSYS Multiphysics з позиції міркування енергоефективності найраціональнішим рішенням є модифікований варіант 2, що дозволяє знизити тепловтрати приміщень через вузол у порівнянні з типовим варіантом 1 на 39,02 %.

Наочним прикладом було продемонстровано, що при належній увазі опрацювання конструктивних рішень вузлів сполучення сендвіч-панелей, можливо, досягти зниження тепловтрат до 40 % і більше рахунок усунення містків холоду, що показує програмний комплекс ANSYS Multiphysics. З'ясовано, що заміна в стику сендвіч-панелей утеплювача з монтажної піни на утеплювач з мінеральної вати та додавання ущільнювальної маси для герметизації стику підвищує енергоефективність вузла з точки зору усунення містка холоду в напрямку житлового приміщення на 39,02 %.

Аналіз отриманих результатів свідчить про те, що запропоноване конструктивне рішення дозволяє досягти в об'єктах з огороджувальними конструкціями із сендвіч-панелей комфортних умов перебування громадян. Продуманий підхід до вибору теплоізоляційного матеріалу та ефективне його застосування у вузлах конструкцій не тільки усуває тепловтрати, але й підвищує загальний експлуатаційний термін стінових огороджувальних конструкцій, а значить і самої будови в цілому.

Повертаючись до економічної сторони питання запропонованого утепленого типового конструктивного рішення (варіант 2) підвищення енергоефективності вузла зроблено по кожному варіанту, економічні розрахунки за кількістю енергії, що витрачається на обігрів 1 м² поверхні стіни. Порівняння цін матеріалів на 1 м² наведено в таблиці 3.5.

Таблиця 3.5 – Порівняння ціни матеріалу у роздрібному продажу у м. Конотоп для утеплення стику сендвіч-панелей

Найменування матеріалу/ Торгівельний майданчик	Монтажна піна, грн за 1 балон	Мінеральна вата, грн за 1 уп
1	210-469	-
2	-	1258-2563

Підвищення енергоефективності запропонованого модифікованого базового конструктивного рішення (варіанту 2) вузла прийнято порівнювати не тільки за вартістю матеріалів, що застосовуються при утепленні стику сендвіч-панелей, але й за кількістю витраченої енергії необхідної підтримки температури поверхні внутрішнього контуру приміщення при експлуатації в межах нормативних температурних значень. На підставі даних таблиці 3.3 тепловий потік за 1 годину для внутрішнього контуру варіанта 1 становить 75,1 Вт/м² з використанням утеплювача з монтажної піни в стику сендвіч-панелей, а для варіанта 2 відповідно 29,3 Вт/м² вже з використанням як утеплювача мінеральну вату. У міжнародній системі одиниць (СІ) 1 Вт/м² = 0,86 Ккал/год.

Відповідно до [13] необхідна кількість витраченої енергії для нагрівання (1 °С = 0,001 Гкал) та подачі 1 м³ води у систему ГВП для м. Конотоп становить 0,0755 Гкал (1 Гкал = 1 000 000 Ккал). Ціна для користувачів 1 Гкал від 13.01.2021 р. для м. Конотоп складає 1408,27 грн.

Виходячи з даних теплового потоку таблиці 3.3, зробили розрахунок необхідної кількості енергії, що витрачається на підтримку Твн = 20 °С всередині експлуатованих приміщень у зимовий період для конструктивних варіантів 1 та 2.

Кількість витраченої енергії тепла для підтримки (варіанту 1) на 1 м² внутрішнього контуру стіни складає:

1 година: 75,1 · 0,86 = 64,59 Ккал / год;

1 доба: 64,59 · 24 = 1 550,16 Ккал / добу;

1 місяць (31 день): 1 550,16 · 31 = 48 054,96 Ккал / міс.

Твн =20 °С

Для найбільшої зручності подальших розрахунків переведемо Ккал у Гкал:

48054,96 / 1000000 = 0,048 Гкал / міс.

Підсумкова вартість (грн) витраченої енергії тепла для підтримки Твн =20 °С на 1 м² внутрішнього контуру стіни на місяць становить:

0,048 · 1408,27 = 66,24 грн/міс.

За аналогією зробили розрахунок кількості витраченої енергії тепла для підтримки Твн = 20 °С (варіанту 2) на 1 м² внутрішнього контуру стіни:

1 година: 29,3 · 0,86 = 25,20 Ккал / год;

1 доба: 25,20 · 24 = 604,75 Ккал/добу;

1 місяць (31 день): 724,32 · 31 = 18 747,31 Ккал / міс.

Для найбільшої зручності подальших розрахунків переведемо Ккал у Гкал:

18747,31 / 1000000 = 0,019 Гкал / міс.

Підсумкова вартість (грн) витраченої енергії тепла для підтримки Твн = 20 °С на 1 м² внутрішнього контуру стіни на місяць становить:

0,019 · 1408,27 = 26,22 грн/міс.

Для детальнішого аналізу отриманих результатів зведемо їх у табличну форму і переведемо Ккал в фінансовий еквівалент (грн) для максимальної наочності.

Таблиця 3.6 – Результати розрахунків витраченої енергії тепла на 1 м² стінової огороджуючої конструкції у грошовому (грн) еквіваленті:

Витрати на обігрів 1 м² стіни, грн / Показники	Впродовж 1 години, грн	Впродовж 1 доби, грн	Впродовж 1 місяця (31 день), грн
Варіант 1	0,089	2,14	66,24
Варіант 2	0,034	0,83	26,22
Економія витрат на обігрів 1 м² огороджуючої конструкції, %	61,8	61,21	60,42

Запропонований варіант утеплення 2 з використанням в стику сендвіч-панелей утеплювача з мінеральної вати та аналіз отриманих результатів щодо економічної доцільності вибору матеріалу для підвищення теплозахисту вузлів сполучення із сендвіч-панелей дозволяють зробити ряд висновків:

1. Під час розрахунку економічну доцільність вибору матеріалу підвищення теплозахисту вузлів пар з сендвіч-панелей був здійснений розрахунок типового кутового з'єднання сендвіч-панелей з утеплювачем з монтажної піни в стику та утепленого кутового з'єднання з утеплювачем з мінеральної вати у стику. Де з'ясувалося, що використання монтажної піни не вигідно, так як кількість витраченої енергії тепла на 1 м² значно вища, ніж кількість витраченої енергії тепла на 1 м² біля мінеральної вати, тим самим витрати на річне обслуговування будівлі з використанням монтажної піни у вузлах сполучення з сендвіч-панелей значно вищі, в порівнянні з витратами при використанні утеплювача з мінеральної вати.

2. Рекомендовано використовувати як утеплювач вузлів сполучення із сендвіч-панелей – мінеральну вату, тому що у мінеральної вати низька теплопровідність, що забезпечує надійну теплоізоляцію; невелика вага утеплювача не збільшуватиме навантаження на сендвіч-панелі; штучне походження утеплювача дозволяє не турбуватися про поширення шкідливих мікроорганізмів.

ВИСНОВКИ

В роботі розглянуто питання, які пов’язані з теоретичним та експериментальним вивченням дефектів пов’язані з тепловтратами в експлуатованих будівлях з огороджуючими конструкціями із сендвіч-панелей.

На основі вивчення та аналізу літературних джерел виявлено способи створення сендвіч-панелей, а так само виявлено недоліки в процесі виготовлення та будівництва, виявлено основні проблеми під час експлуатації сендвіч-панелей.

В результаті проведених дисертаційних досліджень отримано наступні результати та зроблено наступні висновки:

1. Результати тепловізійного обстеження експлуатованих фасадів, об'єктів показали, що в з'єднаннях огороджувальних конструкцій із сендвіч-панелей температура поверхні панелей вищі на 3…4 градуси, ніж основна частина фасаду.

2. Отримані результати розрахунку у програмному комплексі ANSYS Multiphysics підтверджують наявність тепловтрат у вузлах пар панелей і дозволяють визначити за рахунок чого з точки зору енергоефективності відбуваються тепловтрати в вузлових з’єднаннях огороджуючих конструкцій, сендвіч-панелей в експлуатованих будинках.

Відповідно до розрахунку у вузлових з’єднаннях сендвіч-панелей відбуваються тепловтрати за рахунок застосування вузлах монтажної піни, так як можливо використовується не якісний матеріал при заповненні стиків, також в процесі експлуатації або в процесі будівництва можливе проникнення вологи або ультрафіолетового світла в вузлові з’єднання сендвіч-панелей, тим самим погіршує якість монтажної піни.

3. Отримано залежність між коефіцієнтом теплопровідності монтажної піни та температурою поверхонь в місцях з’єднання та кріплень сендвіч-панелей.

З результату розрахунку виявлено, що зі збільшенням коефіцієнту теплопровідності монтажної піни збільшуються тепловтрати в місцях з’єднання сендвіч-панелі, тим самим зменшується термін експлуатації будівлі в 2…3 рази.

4. Запропоновано практичні рекомендації щодо усунення дефектів у вузлах з’єднання та кріплень сендвіч-панелях.

Особливу увагу при проектуванні вузлів з’єднань та кріплень сендвіч-панелей необхідно приділяти герметичності швів, а також створювати щільне з’єднання поверхонь між собою.

5. Виконано розрахунок економічної доцільності застосування теплоізоляційних матеріалів у як утеплювач у вузлах сполучення сендвіч-панелях для кліматичного району м. Конотоп.

Виходячи з розрахунку експлуатаційних річних витрат найбільш економічно використовувати мінеральну вату як утеплювач у вузлах з’єднання панелей.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Бондар-Підгурська О. В. Науково-методичні підходи до оцінки енергоефективності як фактора конкурентоспроможності промислової продукції в інноваційній моделі розвитку України. Наукові праці Кіровоградського національного технічного університету. Економічні науки. Кіровоград, 2012. Вип. 22, ч.II. С. 470.

2. ДСТУ 3755-98. Енергозбереження. Номенклатура показників енергоефективності та порядок їхнього внесення у нормативну документацію. [Чинний від 1999-07-01]. Вид. офіц. Київ : Мінрегіонбуд України, 1999. 8 с.

3. Енергоефективність як ресурс інноваційного розвитку: Національна доповідь про стан та перспективи реалізації державної політики енергоефективності у 2008 році / С.Ф. Єрмілов, В.М. Геєць, Ю.П Ященко, В.В. Григоровський, В.Е. Лір та ін. Київ : НАЕР, 2009. 93 с.

4. Єрмілов С.Ф. Державна політика енергоефективності в українському та європейському контексті : матеріали VII Міжнародного енергоекологічного конгресу «Енергетика. Екологія. Людина», м. Київ, березень 2007 р. Київ, 2007. С. 133–136.

5. Микитенко В.В. Енергоефективність промислового виробництва : монографія. Київ : Об’єднаний інститут економіки НАН України, 2004. 282с.

6. Рубан-Максимець О.О. Особливості розрахунку показників енергетичної ефективності на базі статистичної звітності України. Проблеми загальної енергетики. Київ, 2009. № 20. С. 21–26.

7. Углубленный обзор политики и программ Украины в области энергоэффективности. Брюссель : Секретариат Энергетической Хартии, 2013. 144 с.

8. Управление энергоэффективностью 2-е издание : справочное руководство. Париж : МЭА, 2011. 71 с.

9. Дешко В.І., Шовкалюк М.М., Шевченко О.М., Шовкалюк Ю.В. Аналіз нормативів споживання теплоти в Україні та світі. Нова тема. 2018. №2. С. 6– 10.

10. Фаренюк Г.Г. Основи забезпечення енергоефективності будинків та теплової надійності огороджувальних конструкцій. Київ : Гама - Принт, 2019. 216 с.

11. Про затвердження Методики визначення енергетичної ефективності будівель : наказ Міністерства регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України від 11.07.2018 р. №169. Офіційний вісник України. 2018. № 55. С. 301.

12. Про затвердження Порядку проведення сертифікації енергетичної ефективності та форми енергетичного сертифіката : наказ Міністерства регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України від 11.07.2018 р. № 172. Офіційний вісник України. 2018. № 55. С. 334.

13. Directive 2010/31/eu of the European parliament and of the council of 19 May 2010 on the energy performance of buildings (recast). Official Journal of the European Communities. 2010. № L153. P. 13-35.

14. ДСТУ Б EN 15217:2013. Енергетична ефективність будівель. Методи представлення енергетичних характеристик та енергетичної сертифікації будівель (EN 15217:2007, IDT). [Чинний від 2014-04-01]. Вид. офіц. Київ : Мінрегіонрозвитку України, 2014. 44 с.

15. ДСТУ Б EN 15603:2013. Енергетична ефективність будівель. Загальне енергоспоживання та проведення енергетичної оцінки (EN 15603:2008, IDT). [Чинний від 2014-01-01]. Вид. офіц. Київ : Мінрегіонрозвитку України, 2014. 92 с.

16. ДСТУ Б EN ISO 13790:2011. Енергетична ефективність будівель. Розрахунок енергоспоживання на опалення та охолодження (EN ISO 13790:2008, IDT). [Чинний від 2013-07-01]. Вид. офіц. Київ : Мінрегіонрозвитку України, 2013. 135 с.

17. Праховник А. В., Дешко В. І., Шевченко О. М.. Енергетична сертифікація будівель. Наукові вісті НТУУ «КПІ». 2011. № 1. С. 140–153.

18. КТМ 204 Україна 244-94. Норми та вказівки по нормуванню витрат палива та теплової енергії на опалення житлових та громадських споруд, а також на господарсько-побутові потреби в Україні. [Чинний від 1993-12-14]. Вид. офіц. Київ, 1993. 189 с.

19. ДБН В.2.6-31:2021 Теплова ізоляція та енергоефективність будівель. [Чинний від 2022-09-01]. Вид. офіц. Київ : Мінрегіонбуд України, 2022. 27 с.

20. Ковалко М.П., Денисюк С.П. Енергозбереження – пріоритетний напрямок державної політики України : Українські енциклопедичні знання. Київ, 1998. 512 с.

21. ДБН В.2.6-33:2018. Конструкції зовнішніх стін із фасадною теплоізоляцією. Вимоги до проєктування. [Чинний від 2018-12-01]. Київ : Мінрегіонбуд України. 2018. 25 с.

22. ДСТУ 9190:2022. Енергетична ефективність будівель. Метод розрахунку енергоспоживання під час опалення, охолодження, вентиляції, освітлення та гарячого водопостачання. [Чинний від 2023-03-01]. Київ : Мінрегіонбуд України. 2023. 156 с.

23. ДСТУ-Н Б В.1.1-27:2010. Захист від небезпечних геологічних процесів, шкідливих експлуатаційних впливів, від пожежі. Будівельна кліматологія. [Чинний від 2011-11-01]. Київ : Мінрегіонбуд України. 2011. 135с.

24. ДСТУ-Н Б В.3.2-3:2014. Настанова з виконання термомодернізації житлових будинків. [Чинний від 2015-10-01]. Київ : Мінрегіон України. 2015. 67 с.

25. Про енергетичну ефективність будівель : Закон України від 22.06.2017 р. № 2118-VIII. Голос України. 2017. №134. С. 18.

26. ДБН А.3.1-5-2016. Державні будівельні норми. Управління, організація і технологія. Організація будівельного виробництва. [Чинний від 2016-01-01]. Вид. офіц. Київ: Мінрегіонбуд України, 2017. 67 с.

27. ДСТУ-Н Б В.1.1-27:2010. Будівельна кліматологія. [Чинний від 2011-11-01]. Київ: Мінрегіонбуд України. 2011. 130 с.

28. ДСТУ Б В.2.2-29:2011 Будинки і споруди. Будівлі підприємств. [Чинний від 2012-12-01]. Вид. офіц. Київ: Мінрегіонбуд України.2011. 32 с.

29. Технологія будівельного виробництва: підручник / за ред. В.К. Черненка, М.Г. Ярмоленка. Київ: Вища школа, 2002. 430 с.

30. Швиденко В.І., Монтаж будівельних конструкцій, Харків : ХНАДУ 2003. 298 с.

31. Özbay E., Erdemir M., Durmu H. Utilization and efficiency of ground granulated blast furnace slag on concrete properties–A review. *Construction and Building Materials*. 2016. Vol. 105. P. 423-434.

32. І. Салій, «Ринок будівельних матеріалів України: глобалізація і євроінтеграція». [Електронний ресурс]. Доступно: https://gazobeton.org/uk/node/633 . Дата звернення: 10.11.2024.

33. ДСТУ Б А.2.4-4:2009. Система проектної документації для будівництва. Основні вимоги до проектної та робочої документації– [Чинний від 2009–01–24]. Вид. офіц. Київ : Держстандарт України, 2009. 70 с.

34. ДСТУ 2272:2006 Пожежна безпека. Терміни та визначення основних понять. [Чинний від 2007-07-01]. Вид. офіц. Київ : Мінрегіонбуд України, 2006. 41 с.