

Міністерство освіти і науки України
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

Факультет інженерії машин, споруд і технологій

(повна назва факультету)

Кафедра будівельної механіки

(повна назва кафедри)

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня

Магістра

(назва освітнього ступеня)

на тему: Дослідження дефектів сендвіч-панелей з моделюванням
процесу теплопереносу

Виконав: студент VI курсу, групи МБнм-61
спеціальності 192 «Будівництво та цивільна інженерія»
(шифр і назва спеціальності)

Студент	<u>(підпис)</u>	<u>Годз А. І.</u> (прізвище та ініціали)
Керівник	<u>(підпис)</u>	<u>Баран Д. Я.</u> (прізвище та ініціали)
Нормоконтроль	<u>(підпис)</u>	<u>Мещерякова О.М.</u> (прізвище та ініціали)
Завідувач кафедри	<u>(підпис)</u>	<u>Ясній В.П.</u> (прізвище та ініціали)
Рецензент	<u>(підпис)</u>	<u>Качка О.І.</u> (прізвище та ініціали)

Тернопіль
2024

Міністерство освіти і науки України
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

Факультет Факультет інженерії машин, споруд і технологій

(повна назва факультету)

Кафедра Будівельної механіки

(повна назва кафедри)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

Ясній В.П.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

« »

2024 р.

ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

на здобуття освітнього ступеня Магістр

(назва освітнього ступеня)

за спеціальністю 192 Будівництво та цивільна інженерія

(шифр і назва спеціальності)

студенту Годзу Анатолію Ігоровичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи «Дослідження дефектів сендвіч-панелей з моделюванням процесу теплопереносу»

Керівник роботи Баран Денис Ярославович, к.т.н.

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

Затверджені наказом ректора від « 15 » 04 2024 року № 4/7-346.

2. Термін подання студентом завершеної роботи _____

3. Вихідні дані до роботи _____

4. Зміст роботи (перелік питань, які потрібно розробити)

Стан питання основного напрямку дослідження. Експериментально-теоретичне дослідження та оцінка стану сендвіч-панелей в експлуатованих будівлях. Шляхи усунення усунення дефектів і пошкоджень сендвіч-панелей в експлуатованих будівлях

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень, слайдів)

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Нормоконтроль	Мещерякова О.М. ст.викл.		
Охорона праці	Каспрук В.Б. доцент		
Безпека в надзвичайних ситуаціях	Стручок В.С. ст. викл.		

7. Дата видачі завдання _____

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Огляд літератури за темою досліджень		
2	Експериментально-теоретичне дослідження та оцінка стану сендвіч-панелей в експлуатованих будівлях		
3	Шляхи усунення дефектів і пошкоджень сендвіч-панелей в експлуатованих будівлях		
4	Загальні висновки		

Студент _____
(підпис)

Годз А. І.
_____ (прізвище та ініціали)

Керівник роботи _____
(підпис)

Баран Д. Я.
_____ (прізвище та ініціали)

ЗМІСТ

ВСТУП	4
РОЗДІЛ 1 СТАН ПИТАННЯ ТА ЗАВДАННЯ ДОСЛІДЖЕННЯ.....	7
1.1 Історичний огляд застосування сендвіч-панелей у будівництві.....	7
1.2 Аналіз конструктивних рішень сендвіч-панелі.....	9
1.2.1 Матеріали, що застосовуються під час виготовлення сендвіч-панелей	11
1.2.2 Особливості технології, що застосовується під час виготовлення сендвіч-панелей	18
1.2.3 Особливості монтажу сендвіч-панелей.....	23
1.3 Проблеми під час експлуатації сендвіч-панелей.....	27
РОЗДІЛ 2 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНО-ТЕОРЕТИЧНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ТА ОЦІНКА СТАНУ СЕНДВІЧ-ПАНЕЛЕЙ В ЕКСПЛУАТОВАНИХ БУДІВЛЯХ...	33
2.1 Тепловізійне обстеження експлуатованих будівель із сендвіч-панелей на наявність містків холоду.....	33
2.2 Розрахунок вузлів сполучень сендвіч-панелей у програмному комплексі Elcut з позиції процесу теплопереносу та аналіз результатів розрахунку.....	38
2.3 Визначення залежності між коефіцієнтом теплопровідності та температурою поверхні вузла з'єднання сендвіч-панелей у програмному комплексі Elcut	51
2.4 Розрахунок із використанням програмного комплексу Elcut і аналіз температурного потоку під час утеплення вузлів сполучень і кріплень сендвіч-панелей.....	54
2.5 Порівняння результатів чисельних досліджень	65
2.6 Висновки за результатами дослідження	67
РОЗДІЛ 3 ШЛЯХИ УСУНЕННЯ ДЕФЕКТІВ І ПОШКОДЖЕНЬ СЕНДВІЧ-ПАНЕЛЕЙ В ЕКСПЛУАТОВАНИХ БУДІВЛЯХ	69
3.1 Практичні рекомендації щодо усунення дефектів у вузлах сполучень і кріплень сендвіч-панелей	69
РОЗДІЛ 4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ.....	74
4.1 Охорона праці.....	74
4.1.1 Інженерні рішення з охорони праці	74
4.2 Безпека в надзвичайних ситуаціях	76
4.2.1 Законодавча база України	76
4.2.2 Заходи при землетрусі	76
4.3 Висновки до розділу 4	77
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ	78
БІБЛІОГРАФІЯ	79

ВСТУП

Початок ХХІ століття є активним формуванням інноваційних ефективних технологій при будівництві та реконструкції будівель і споруд. Вирішення проблем ресурсозбереження під час зведення будівель є одним із важливих напрямів підвищення ефективності будівництва. На сьогодні енергозбереження стає дедалі актуальнішою проблемою. У всьому світі вже давно ведеться пошук шляхів зниження енерговитрат за рахунок його раціонального застосування.

Для вирішення цього завдання необхідне проведення різних енергозберігаючих заходів:

- застосування ефективних та екологічно безпечних теплоізоляційних матеріалів;
- використання довговічних огороджувальних конструкцій;
- зниження тепловтрат;
- підвищення якості теплотехнічного проектування будівель.

На сьогоднішній день значну частку в сфері будівництва займають будівлі та споруди які швидко будуються, що складаються з:

- металоконструкцій (каркас);
- сендвіч-панелей (огороджувальна конструкція);
- добірних елементів (обрамлення для покрівельного елемента і вузлів стику);
- кріпильних систем (зварювання або різьбове з'єднання).

У зв'язку з широким впровадженням у будівництво сендвіч-панелей як огороджувальних конструкцій стає актуальною робота, спрямована на дослідження дефектів під час експлуатації будівлі.

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

Мета роботи проведення аналізу причин виникнення дефектів огороджувальних конструкцій із сендвіч панелях в експлуатованих будівлях. **3**

Об'єкт досліджень – зона сполучення сендвіч-панелей.

Предмет дослідження – динаміка теплопереносу в зонах сполучення сендвіч-панелей

Доцільність проведення досліджень зумовлена тим, що отримані результати дадуть можливість підвищити енергоефективність будівель із ніздрюватого бетону.

Завдання роботи:

- провести огляд інформаційних джерел за темою магістерської роботи для виявлення проблем під час експлуатації панелей, а також виконати аналіз наявних конструктивних рішень сендвіч-панелей;
- провести тепловізійне обстеження об'єктів з огорожувальними конструкціями з сендвіч-панелей на наявність містків холоду;
- виконати розрахунки в Elcut з позиції теплопереносу різних типових варіантів вузлових з'єднань сендвіч-панелей для виявлення причин містків холоду;
- навести приклади варіантів вузлів для усунення теплових втрат у вузлових з'єднаннях і примиканні сендвіч-панелей;
- розробити практичні рекомендації щодо мінімізації тепловтрат і усунення дефектів у вузлових з'єднаннях із сендвіч-панелей на стадії проектування.

Методи дослідження – включають у себе натурні тепловізійні обстеження та теоретичні дослідження на підставі розрахункової комп'ютерної моделі.

Галузю застосування результатів роботи є проектування нових, реконструкція та експлуатація існуючих будівель з огорожувальними конструкціями із сендвіч-панелей.

Наукова новизна отриманих результатів. Виявлено основні причини тепловтрат будівель з огорожувальними конструкціями з сендвіч-панелей на підставі розрахункової комп'ютерної моделі за допомогою програмного комплексу Elcut.

Практичне значення отриманих результатів полягає в тому, що виконано теоретичні дослідження вузлових з'єднань із сендвіч-панелей, що дають

змогу виявити, за рахунок чого відбуваються тепловтрати в будівлях, які експлуатуються, для їх подальшого усунення. Надано рекомендації щодо усунення дефектів і пошкоджень сендвіч-панелей в експлуатованих будівлях. Результати роботи можуть бути покладені в основу проектних рішень для будівництва енергоефективних будівель з огорожувальними конструкціями з сендвіч-панелей.

Апробація результатів магістерської роботи виконана на VII Міжнародній студентській науково-технічній конференції «Природничі та гуманітарні науки. Актуальні питання» (Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, 25-26 квітня 2024 року.).

Публікація результатів магістерської роботи здійснена у збірнику тез вищезазначеної конференції.

Робота виконана згідно з тематикою науково-дослідних робіт кафедри будівельної механіки ТНТУ та державними програмами надійності і економічності будівельних виробів, матеріалів і конструкцій.

Ключові слова: сендвіч панелі, енергоефективність, тепловізійні обстеження.

РОЗДІЛ 1

СТАН ПИТАННЯ ТА ЗАВДАННЯ ДОСЛІДЖЕННЯ

1.1 Історичний огляд застосування сендвіч-панелей у будівництві

Сендвіч - панелі з'явилися ще в ХІХ столітті. Предками сендвіч-панелей можна вважати будівельні конструкції, придумані американським інженером Франком Лойдом Рейтоном у тридцять роки ХІХ століття. Полегшені, міцні та зручні деталі для будівництва - це прогрес виробництва, новий щабель у розвитку будівельних технологій. Але, як і будь-який новий винахід, сендвіч-панелі для облицювання потрібно було вдосконалювати й удосконалювати. І в п'ятдесять роки ХІХ століття Олден Б. Доу створив сендвіч-панелі. Саме Олден Б. презентував світові перші вельми ергономічні сендвіч-панелі, що вирізняються унікальними якісними характеристиками, завдяки чому вони й стали дуже швидко популярними в будівельній сфері. [2]

Стінові сендвіч-панелі були прості у використанні, зберігали тепло і давали можливість на існування дизайнерської думки. Щоправда, був у тих сендвіч-панелей один явний недолік: їхнє виробництво потребувало суттєвих часових витрат. Для зменшення часових витрат потрібно було вдосконалити обладнання для виробництва сендвіч-панелей[3].

У 1960 р. компанія "Alside" вирішила цю проблему. Фахівці цієї компанії внесли низку необхідних удосконалень у процес виробництва стінових сендвіч-панелей, завдяки чому і домоглися поставленого завдання - підвищили швидкість виготовлення. У зв'язку із запуском масового виробництва сендвіч-панелей, у світі почався будівельний бум у галузі швидкокомонтованих споруд. [3]

На наших просторах сендвіч-панелі з'явилися на початку 1960-х років. Однак імпортні сендвіч-панелі виявилися недешевими, а власне виробництво розвивалося дуже повільно. Спочатку в нашій країні використовували сендвіч-панелі з наповнювачем із горючих матеріалів - пінополістиролу і пінополіуретану[3].

Принципові зміни в цьому способі будівництва відбулися вже в 90-ті роки,

коли з'явилися перші будинки, збудовані із застосуванням сучасного будматеріалу - сендвіч-панелей, які в найпростішому варіанті являють собою тришарову конструкцію. Будівельна конструкція має бути певною мірою жорсткою, оскільки вона виконує огорожувальні функції. Тому два шари - внутрішній і зовнішній - є своєрідною шкаралупою, що закриває з двох боків теплоізолятор, який є третім шаром. Цей своєрідний теплоізоляційний сердечник, як правило, виконаний із сучасних, вискоєфективних теплоізоляційних матеріалів - мінераловатних плит на основі базальтового волокна або поропластів (пінополістиролу і пінополіуретану самозатухаючих марок).

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

Досвід застосування перших сендвіч-панелей виявився загалом успішним. Зокрема, завдяки їх використанню вдалося істотно знизити масу будівель, трудовитрати під час монтажу, а також експлуатаційні витрати на утримання будівель. Однак у процесі будівництва та експлуатації будівель із таких конструкцій було виявлено низку недоліків.

По-перше, внаслідок того, що обшивки, як правило, виготовляли з гладких листів, з'явилася необхідність у додаткових заходах щодо підвищення їхньої стійкості. По-друге, обрамлення з фанерної смуги і прикріплених до неї двох металевих куточків вимагали виконання великої кількості операцій під час виготовлення. По-третє, для кріплення обшивок до обрамлюючих ребер за допомогою заклепок або гвинтів-саморізів потрібні великі роботозатрати, до того ж, у місцях їхніх з'єднань під час експлуатації виявили низьку герметичність. Крім того, було відзначено малу продуктивність під час спінювання полістирольного пінопласту [5] З урахуванням зазначених недоліків розробили вдосконалені конструкції сендвіч-панелей із профільованими сталевими й алюмінієвими обшивками та середнім шаром із заливних пінопластів, які отримують шляхом спінювання компонентів у порожнині між обшивками. [6]

Панелі використовували в Україні аж до початку 80-х років, як правило, для будівництва промислових об'єктів, і тільки з 90-х років цим будівельним

матеріалом почали цікавитися інші сегменти 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, Німеччині, Бельгії та інших країнах, проте зарубіжна практика їхнього виробництва і застосування має низку своїх особливостей. Так, безреберні сендвіч-панелі, що випускаються за схожою технологією в Німеччині та Іспанії, з'єднуються внапуск за допомогою болтових з'єднань і мають істотний умов недолік - більшу ймовірність промерзання в місцях кріплення анкерних болтів[7].

Деякі фірми виготовляють сендвіч-панелі, при цьому маючи багаторічний досвід їх виготовлення, наприклад, американська фірма "Кері" - понад 60 років, французька фірма "Соба" - понад 50 років. Випробування різних типів тришарових панелей вели багато фірм, що їх виробляють. Дослідження сендвіч-панелей проводилися Національним центром з будівництва та Експериментальною станцією у Франції, Дослідницьким центром національної асоціації житлового будівництва в США. Сендвіч-панелі, перевірені останньою організацією, були схвалені Федеральним управлінням з житлового будівництва США [3].

Нині сендвіч-панелі знайшли широке застосування в сучасному будівництві як навісні самонесучі стіни та несучі елементи покриття. Вони застосовуються як при будівництві невеликих будівель типу павільйонів, так і промислових і цивільних будівель: торгово-розважальних комплексів, льодових палаців, спортивних та інших споруд. [4]

1.2 Аналіз конструктивних рішень сендвіч-панелі

Сендвіч-панель - це композитна конструкція. На рисунку 1.1 представлена конструкція сендвіч-панелі.

Сендвіч-панель складається з двох тонких обшивок із доволі міцного матеріалу (несучих зовнішніх шарів), що з'єднані між собою сердечником

(заповнювачем). Товщина утеплювача значно більша за товщини обшивок, це дає змогу за доволі малої ваги володіти порівняно високими характеристиками міцності та жорсткості [2].

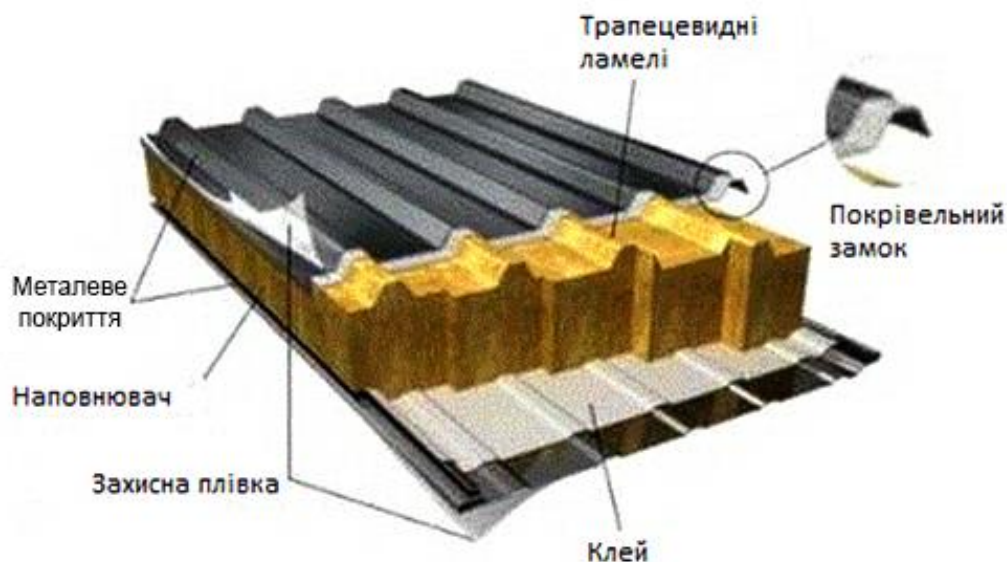


Рисунок 1.1 - Конструкція сендвіч-панелі

Виходячи з великої кількості теоретичних та експериментальних досліджень, було виявлено такі основні переваги сендвіч-панелей:

- 1) швидкі терміни зведення або ремонт будівель;
- 2) будівництво може здійснюватися в будь-яку пору року;
- 3) високі показники тепло- і звукоізоляції;
- 4) низьке навантаження на фундамент споруди, через порівняно невелику вагу панелі;
- 5) легкість транспортування;
- 6) не потрібне додаткове оздоблення;
- 7) висока звукоізоляція;
- 8) короткі терміни будівництва об'єктів, що зводяться;
- 9) матеріал економічний порівняно з іншими конструкціями;
- 10) можливість масового виробництва;
- 11) привабливий зовнішній вигляд.

При цьому у сендвіч-панелей, залежно від застосовуваних матеріалів, є і

недоліки:

- 1) не витримують істотного додаткового навантаження;
- 2) висока ймовірність зовнішнього пошкодження;
- 3) містки холоду в місцях з'єднань;
- 4) відшарування утеплювача від сталевих листів;
- 5) пошкодження каркаса і кріплення в місцях стику сендвіч-панелей

(причиною можуть бути рясний конденсат або "точка роси") [2].

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

- 1) промислових будівель;
- 2) торгових комплексів;
- 3) житлових і адміністративних будівель;
- 4) спортивних і льодових споруд;
- 5) автозаправних станцій, автосалонів, автопаркінгів;
- 6) мобільних будівель для нафтогазової сфери та будівельної індустрії;
- 7) складських приміщень для підприємств харчової промисловості;
- 8) сільськогосподарських споруд.

1.2.1 Матеріали, що застосовуються під час виготовлення сендвіч-панелей

Сендвіч-панелі складаються з трьох основних елементів: утеплювач, обшивки та клейові шви, що забезпечують спільну роботу всіх елементів[3,4].

Як обшивку на перших етапах широко застосовували алюмінієві сплави, фанера, азбоцемент тощо. На рисунках 1.2, 1.3, 1.4 представлені різні види обшивок.

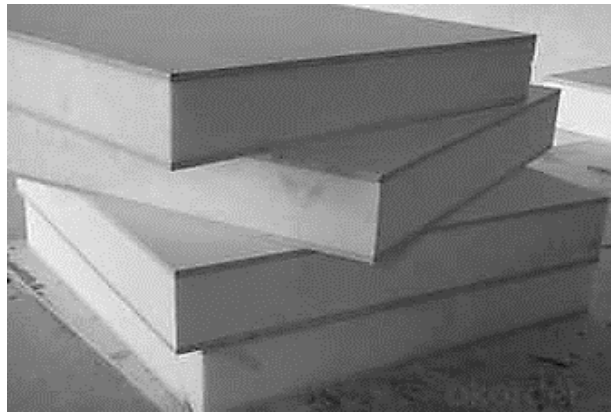


Рисунок 1.2 - Обшивка ГКЛ

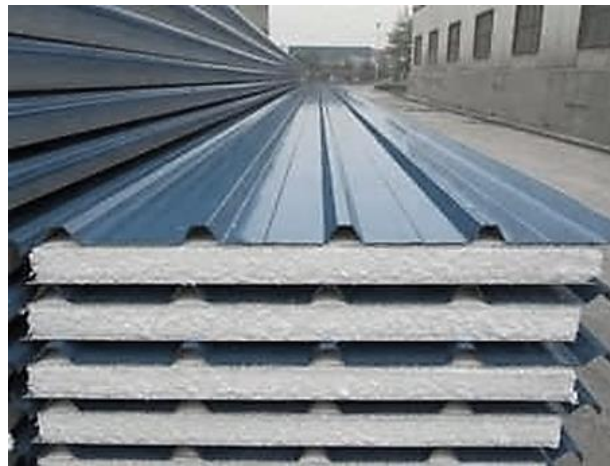


Рисунок 1.3 - Металева обшивка



Рисунок 1.4 - Обшивка ПВХ

Фанера і азбоцемент застосовувалися, в основному, в каркасних панелях, що виготовляються стендовим способом. Алюмінієві сплави (АМц, АМг) стійкі до

зовнішніх чинників і мають дуже хорошу 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 використовують листову 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 наведено найбільш популярні нині полімерні покриття.

Таблиця 1.1 - Види та характеристика полімерних покриттів

Вид	Індекс	Характеристика полімерного покриття
Поліестер	PE	Відносно недорогий матеріал, який підходить для будь-якої кліматичної зони. Товщина покриття 25 мкм. Теплостійкість близько +120°C. Покриття може бути як матовим, так і глянцеvim. Застосування цього покриття виправдане у випадках невеликих експлуатаційних навантажень
Пурал	Pural	Покриття на основі поліуретану. Має шовковисто-матову поверхню. Рекомендується як для внутрішніх, так і для зовнішніх поверхонь огорожувальних конструкцій. Матеріал має хорошу хімічну стійкість, витримує високі температурні перепади. При товщині покриття 50 мкм має хороші антикорозійні властивості. Пластичність покриття гарантується навіть за низьких температурах
Полівінілдифторид	PVDF	Композитний матеріал, що складається на 80% з полівінілдифториду і на 20% з акрилу. Зберігає свої властивості в інтервалі температур від -60 до +120°C. Стійкий до УФ-випромінювання, має високу стійкість до агресивних середовищ і механічних впливів. Покриття може бути використане в разі особливих експлуатаційних вимог. Має підвищені міцнісні та антикорозійні властивості
Пластизль	PVC200	Покриття завдяки товщині, що дорівнює 200 мкм, є стійким до механічних пошкоджень. Рекомендується використовувати в умовах підвищеної забрудненості навколишнього середовища

З метою підвищення несучої здатності обшивку профілюють. На рисунку 1.5 представлено різні види зовнішніх поверхонь сендвіч-панелей.

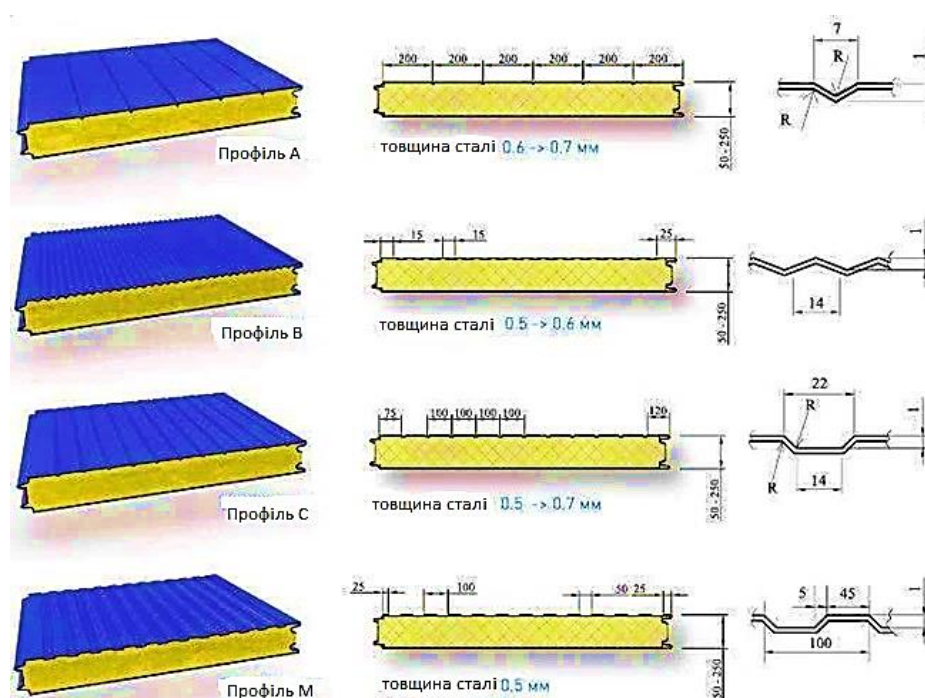


Рисунок 1.5 - Види зовнішньої поверхні сендвіч-панелей

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

На рисунку 1.6 показано сендвіч-панель з одним із видів пінопласту.



Рисунок 1.6 - Пінополістирольні сендвіч-панелі

У першому випадку утеплювач спінується в порожнині сендвіч-панелі між обшивками і в такий спосіб 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 і зчеплення утеплювача по всій поверхні. Серед недоліків цього методу виготовлення можна відзначити нерівномірні міцнісні властивості утеплювача як за шириною, так і за товщиною сендвіч-панелі (у середині сендвіч-панелі щільність утеплювача менша, ніж біля обшивок, відповідно, і міцнісні властивості утеплювача нижчі, ніж по краях) [4,8].

За другого способу пінопласт нарізається на бруски (ламелі) і приклеюється до обшивок. У цьому разі властивості утеплювача незмінні як за товщиною, так і за шириною сендвіч-панелі, проте сам утеплювач неоднорідний: він розрізаний на ламелі, які не склеєні між собою, якість приклеювання утеплювача до обшивок дуже залежить від параметрів клейового шару[]. Недоліками сендвіч-панелей з утеплювачем на основі пінопласту є їхня мала вогнестійкість (менше 15 хвилин). При впливі відкритого вогню деякі пінопласти підтримують горіння і вигорять зсередини, при цьому загоряння утеплювача в сендвіч-панелі неможливо загасити традиційними способами. У зв'язку з цим, велику увагу останнім часом приділяють самозатухаючим пінопластам, але навіть у цьому разі в процесі впливу на сендвіч-панель підвищених температур виділяють отруйні продукти розпаду, які обмежують сферу застосування таких сендвіч-панелей (холодильні камери, невеликі склади і т.п.). Одним із негорючих матеріалів на основі пінопластів є пінополіізоціанурат (PIR) з класом горючості Г2[4,8]. Найцікавішим з точки зору вогнестійкості, екологічності, теплотехнічних властивостей і терміну служби є мінераловатний утеплювач на основі базальтового волокна. Сендвіч-панель на основі базальтового волокна показана на рис. 1.7.[9]

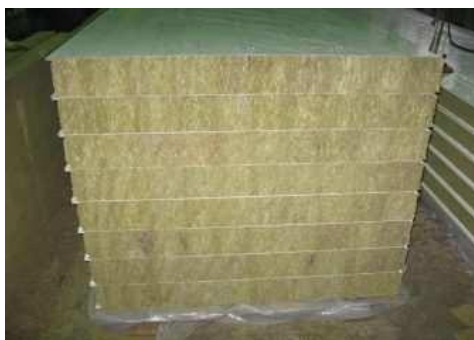


Рисунок 1.7- Сендвіч-панелі з утеплювачем на основі базальтового волокна

Під час використання мінераловатної плити як середнього шару в сендвіч-панелі необхідна відповідна орієнтація волокон, оскільки цей матеріал проявляє яскраво виражені ортотропні властивості (характеристики міцності вздовж волокон удвічі вищі за поперечні).

Відповідна орієнтація волокон плити досягається шляхом нарізання плитного утеплювача на ламелі з подальшим їх поворотом таким чином, щоб волокна утеплювача були перпендикулярні обшивкам. Для виробництва сендвіч-панелей використовується мінераловатний плитний утеплювач на основі базальтового волокна щільністю близько 100-130 кг/м³. У таблиці 1.2 і 1.3 представлено технічні характеристики застосовуваних утеплювачів у сендвіч-панелях, а також їхні переваги та недоліки.

Таблиця 1.2 - Технічні характеристики утеплювачів, що застосовуються в сендвіч-панелях

Технічні характеристики	Мін.вата	Пінополістирол	Пінополіуретан	Пінополіізоціанурат
Коефіцієнт теплопровідності, Вт/м*К	0,036	0,034	0,022	0,021
Пористість	Відкрита	Закрита	Закрита	Закрита
Водопоглинання за 24 год, %	1,5	2	2,5	2,5
Щільність, кг/м ³	Не менше 105	Не менше 17	Не менше 38	Не менше 40
Група горючості	НГ	Г3	Г2	Г1
Діапазон робочих температур	-30 +60	-50 +75	-50 +75	-50 +75
Виділення шкідливих речовин під час горіння	Не має (Т0)	Помірно небезпечні (Т2), токсичний	Помірно небезпечні (Т2), токсичний	Помірно небезпечні (Т2), токсичний
Термін служби	15	20	50 і більше	50 і більше
Екологічність	Алерген	Безпечний	Безпечний	Безпечний
Біологічні ураження	Грибок, гризуни	Гризуни птахи	Ні	Ні
Технічні характеристики	Мін.вата	Пінопо- лістирол	Пінополіуретан	Пінополіізоціанурат
Поведінка в часі	Осідання	Розшарування	Без зміни	Без зміни
Виконання робіт	Суха погода	Цілий рік	Цілий рік	Цілий рік
Волога, агресивні середовища	Теплоізоляційні властивості втрачаються, відновленню підлягають не підлягають	Стойкий	Стойкий	Стойкий

Таблиця 1.3 - Переваги та недоліки видів утеплювачів, що застосовуються в сендвіч-панелі

Вид	Переваги	Недоліки
Мінераловатний утеплювач	високі показники звуко- і теплоізоляції; екологічна чистота; неохильність до усадки. Протягом усього терміну експлуатації габарити виробів з мінеральною ватою залишаються незмінними; легкість монтажу; негорючість; неохильність до температурних деформацій; нульова корозійна активність. На металевих елементах, які контактують з мінватою, не утворюється іржа.	поступова втрата теплоізоляційних властивостей із плином часу. Відновленню ці властивості не підлягають; велика маса. Сендвіч-панелі на основі мінеральної вати обтяжують будівлю, на якій вони закріплюються. Підвищена паропроникність.
Пінополіуретан	мала теплопровідність; неохильність до деформацій - як механічних, так і температурних; стійкість до агресивних сполук і біологічних впливів; механічна міцність	пожежонебезпека; дорожнеча.
Пінополіізоціанурат	дає змогу заощадити, відмовившись від додаткових металоконструкцій; довговічність; екологічна чистота; хороша адгезія з матеріалами, що зберігається протягом тривалого часу; еластичність; неохильність до корозії вкрай мала теплопровідність	висока чутливість до атмосферних опадів і ультрафіолету (світла сонця), необхідність гарного захисту від них; дорожнеча.
Пінополістирол	хороші звуко- і теплоізоляційні властивості; стійкість до агресивних середовищ і біологічних впливів; зберігати властивості за прямого контакту з водою неохильність до деформацій при коливаннях температури; мала об'ємна вага; негорючість. хороша адгезія з багатьма матеріалами; екологічна чистота; довговічність, неохильність старіння	може спровокувати алергічні реакції; боїться ультрафіолету; коричневий колір і кришиться; сідає і розм'якшується при впливі температури, що перевищує 1000°C; пожежонебезпечний; може бути пошкоджений птахами та гризунами.

Клеї, що забезпечують сумісність деформацій обшивок і утеплювача, сильно впливають на міцнісні властивості сендвіч-панелі та її довговічність. Для виробництва сендвіч-панелей використовують переважно два типи поліуретанових клеїв: однокомпонентний і двокомпонентний.[3] До особливостей

поліуретанових клеїв належать відсутність усадкових явищ, відсутність у клейовому шві внутрішніх напруг, висока міцність з'єднання за товщини 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 трапляються такі відомі бренди, як Henkel і Kleyoverit. Багато виробників з метою економії використовують аналогічні клеї вітчизняного виробництва.

Для клею і мінеральної базальтової вати з орієнтованими перпендикулярно до обшивок волокон, важливою характеристикою є тривала міцність. Як вказується в роботах [6,2] поліуретановий клей і мінеральну вату, просочену фенолоформальдегідними смолами, слід розглядати як молекулярні композити.

У роботах [6,4] показано, що тривалою міцністю композитів, якими є клей і мінвата, визначається довговічність роботи тришарових панелей. На основі теорії ймовірності ним запропоновано методики з оцінювання довговічності та нормування фізико-механічних показників теплоізоляційних матеріалів (зокрема й мінераловатної плити).

Вивчення літератури за цим напрямом показало, що на сьогодні розроблено і впроваджено у виробництво безліч різних видів стінових і покрівельних сендвіч-панелей [6, 10-18].

1.2.2 Особливості технології, що застосовується під час виготовлення сендвіч-панелей

Існують два принципових підходи до виготовлення сендвіч-панелей. Перший - стендовий спосіб виробництва сендвіч-панелей з великою часткою ручної праці, другий - автоматизована потокова виробнича лінія. [6]

В багатьох містах України за останні роки введено в експлуатацію поточкові лінії з виробництва сендвіч-панелей із середнім шаром з мінеральної вати. Наразі виробники використовують найрізноманітніші лінії з виробництва панелей: від дуже старих (1970 р.) до сучасних (2008 р.в.), відповідно і якість продукції, що

випускається, дуже відрізняється.

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

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

Позрізка утеплювача на ламелі (бруски) показана на рисунку 1.8.



Рисунок 1.8 - Позрізка утеплювача на ламелі (бруски)

Наступним етапом є укладання ламелей у плиту, механізм укладання показано на рисунку 1.9. Бруски утеплювача між собою не склеюються.



Рисунок 1.9 - Укладання ламелей у плиту

Виробники застосовують різні схеми укладання утеплювача в сендвіч-панель:

1. "клином" - при цьому способі в поперечному перерізі сендвіч-панелі виходить два стики ламелей;
2. "драбинкою" - виходить лише один стик ламелей.

По краях ламелі мають меншу міцність, ніж у середині, через порушення цілісності під час розрізання. У тому разі, якщо стик ламелей у сендвіч-панелі потрапить в опорну частину, критерієм вичерпання несучої здатності буде обім'яття утеплювача на опорі. Наступним етапом виробництва сендвіч-панелей, що впливає на несучу здатність, є нанесення клею, механізм проклейки показано на рисунку 1.10.



Рисунок 1.10 - Нанесення клею

На сьогодні широко поширені два основні способи нанесення клею: наливний метод і розтирання.

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

Під час розтирання клею на обшивках відбувається перевитрата клею (витрата становить 500 г/м^2 , за нормативної витрати $250\text{-}300 \text{ г/м}^2$). Як правило, обшивки гофровані. При розтиранні на полиці гофри, яка ближче до "розтирача", клей змішується краще, а на дальній полиці (від розтирача) клей змішується гірше. Усе вищесказане призводить до неякісного приклеювання обшивок до утеплювача. За другого методу клей наноситься за допомогою наконечника (в деяких випадках під тиском), змонтованого на переміщуваний важіль, що здійснює зворотно-поступальні рухи. Два компоненти клею повністю змішуються в наконечнику, клей рівномірно розподіляється по всій поверхні обшивки незалежно від глибини і конфігурації профілю металу.

Заключним етапом формування сендвіч-панелі є з'єднання всіх елементів. На перший лист обшивки укладається утеплювач з нанесеним клеєм, після утеплювач накривається другим листом обшивки. Пакет з декількох конструкцій переноситься на прес, де витримується до затвердіння клею. Механізм пресування показаний на рисунку 1.11. Час затвердіння вказано в інструкції до клею [6].



Рисунок 1.11 - Витримка сендвіч-панелі під пресом

Під час виробництва сендвіч-панелей економлять, в основному, на товщині обшивок і щільності мінераловатної плити. Якщо спочатку лінія була передбачена під застосування металу товщиною 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 і ширина гофри) повинні підбиратися, виходячи з товщини металу обшивки (ширина верхньої полиці гофри має бути не більшою за 30 товщин обшивки), тому прокатувальні ролики, які використовують для металу завтовшки 0,7 мм, не підходять для застосування металу завтовшки 0,5 мм, тому що істотно змінюються критичні напруження місцевої стійкості гофри.

Цим, звісно, можна пояснити сильні відмінності у величині несучої здатності сендвіч-панелей різних виробників (за каталогами виробників несуча здатність панелей однакової товщини та за однакових прольотів відрізняється у 2 рази). Для забезпечення безпечної експлуатації огорожувальних конструкцій необхідне розроблення єдиної методики оцінки несучої здатності сендвіч-панелей. Сендвіч-панелі із застосуванням мінераловатного утеплювача як середнього шару добре себе зарекомендували в будівельній практиці європейських країн [6,1].

Однак у зимовий період в умовах величини снігових навантажень можуть досягати 1,6 кПа, а з урахуванням впливу снігових мішків навантаження можуть збільшуватися в 4 рази. При цьому на несучу здатність впливають такі впливи: тривалість дії навантажень, багаторазовість повторення і перепад температур.

Розглядаючи переваги і недоліки різних сендвіч-панелей, можна зробити висновок, що огорожі з сендвіч-панелей максимальної заводської готовності значно менш трудомісткі під час монтажу, а тому є переважними для використання в більшості районів нашої країни порівняно з просторовими блоками покриттів і огорожень з пошаровим монтажем. Сендвіч-панель з негорючим ортотропним утеплювачем з мінеральної вати, який поєднує несучу та огорожувальну функції, дають змогу розширити сферу застосування сендвіч-панелей максимальної заводської готовності, скоротити строки будівництва та, в остаточному підсумку, отримати значний економічний ефект.

1.2.3 Особливості монтажу сендвіч-панелей

На рисунку 1.12 показано монтаж стінових сендвіч-панелей, який починають із крайньої осі фасаду.



Рисунок 1.12 - Монтаж стінових сендвіч-панелей

За механізованого способу монтажу сендвіч-панелей враховують неприпустимість перевищення відстані між захопленнями і прогонами несучих металоконструкцій. Водночас із міркувань стійкості під час підйому і переміщення сендвіч-панелі відстань між захопленнями має бути не більшою за 2,5 м і звис кінців сендвіч-панелі від 0,4 до 0,5 м. [6,2]

На рисунку 1.13 показано кріплення для монтажу сендвіч панелей.

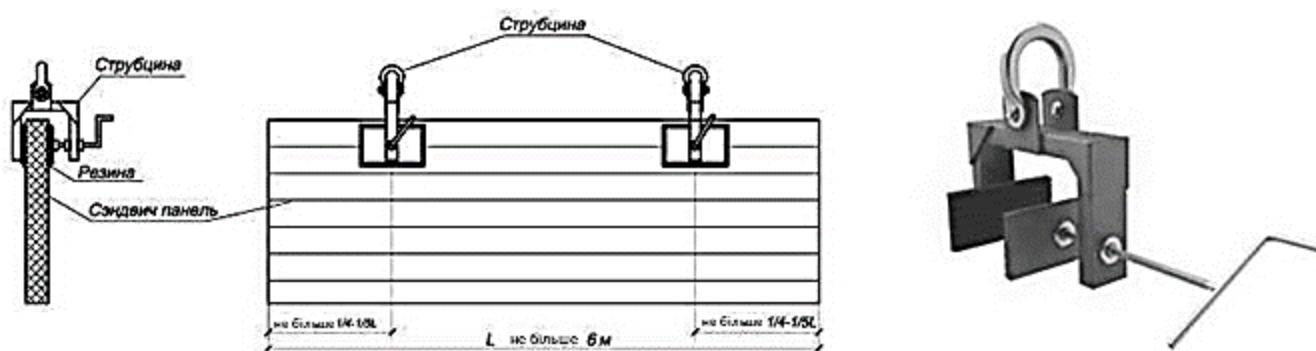


Рисунок 1.13 - Кріплення для монтажу сендвіч панелей

За розташуванням фасадні сендвіч-панелі монтують горизонтально або вертикально (з горизонтальною або вертикальною розкладкою). Кріплять

сендвіч-панелі до колон або до стійок фахверка - за горизонтальної розкладки; 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 показано на рисунку 1.14.



Рисунок 1.14 - Ущільнення монтажною піною стиків сендвіч-панелей

Для захисту від вологи використовують нащільники з оцинкованого сталевого листа товщиною 0,5-0,55 мм з полімерним покриттям [6,2]. На рисунку 1.15 показано види нащільників з оцинкованого сталевого листа.

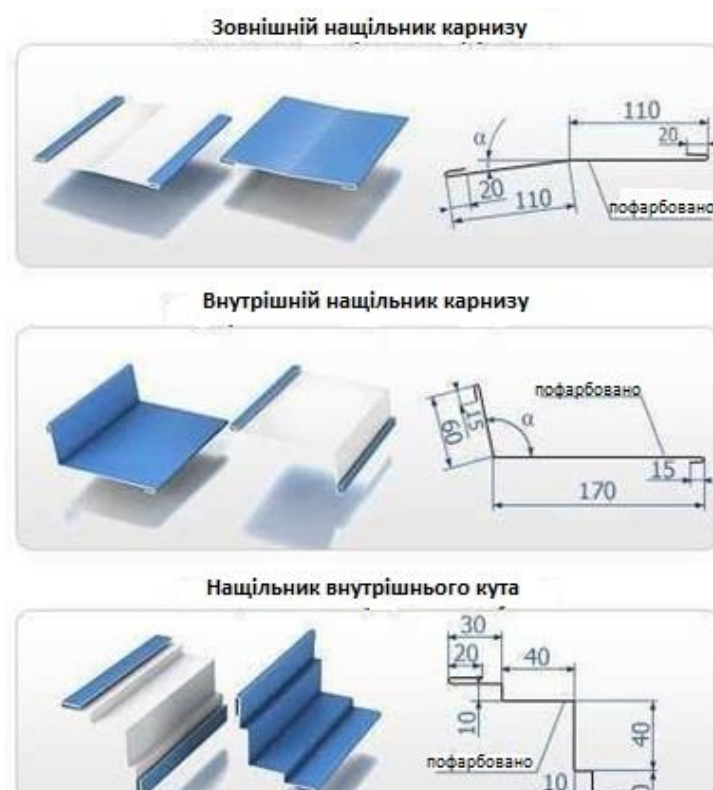


Рисунок 1.15 - Види нащільників з оцинкованого сталевого листа




Для ущільнення нащільників і різних фасонних елементів застосовують самоклеїну ущільнювальну стрічку або силіконовий герметик. Кріплення фасонних елементів до обшивок сендвіч-панелей можливе комбінованими заклепками або самозасвердлювальними шурупами. Зниження повітропроникності стіни під час обпирання на несучі конструкції досягається укладанням торців сендвіч-панелей на смужки органічного герметика і закладення стиків монтажною піною. Великі двері кріплять до встановленого у внутрішньої поверхні стіни металевого каркаса. Невеликі двері та вікна, зокрема врізані в конструкції стандартної сендвіч-панелі, встановлюють на підкріплювальні скоби. Для надійного з'єднання внутрішньої і зовнішньої поверхні сендвіч-панелі та створення більш жорсткого кріплення скоби кріплять по кромці панелі на самозасвердлювальні шурупи з кроком 500 мм.

Монтаж покрівельних сендвіч-панелей ведуть з вертикальною або горизонтальною розкладкою. Вертикальна розкладка є оптимальною за висоти приміщень до 3 м. Сендвіч-панелі кріплять до перекриття так, щоб унеможливити передачу навантаження від перекриття на сендвіч-панелі при їхніх прогинах. Використання покрівельних сендвіч-панелей виключає необхідність додаткової гідроізоляції та істотно скорочує терміни проведення монтажних робіт, а геометрія сендвіч-панелей розроблена з урахуванням великих снігових навантажень. Для бездоганного стикування сендвіч-панелей (по ширині) розроблено спеціальні види замкових з'єднань, що представлені в таблиці 1.4.

Таблиця 1.4 - Види замкових з'єднань сендвіч-панелей

№	Вид з'єднання	Опис з'єднання
1	Z-Lock Класичний замок	Значно збільшує швидкість монтажу, підвищує вогнестійкість конструкції, гарантує мінімум тепловтрат за умови надійної герметизації стиків
2	Енергозберігаючий замок	

Продовження таблиці 1.4

		Має багато спільного з класичним замком, застосовується для сендвіч-панелей ширина, яка не менша за 1150 мм.
3	Прихований замок	
		Підвищує рівень теплоізоляції, вирізняється естетичністю
4	Покрівельний замок	
		Класичний покрівельний замок забезпечує достатню герметизацію стиків сендвіч-панелей

Монтаж покрівельних сендвіч-панелей монтують рядами від схилу у напрямку до гребеня. Перша сендвіч-панель повинна формувати звис. Другу обрізають у місці напуску, покривають герметиком і прикріплюють до опори першої сендвіч-панелі. Закінчивши укладання першого і другого ряду, починають виконувати поздовжнє міжпанельне з'єднання. Наступний, третій ряд також починають знизу - і так далі.

Під час монтажу добірних елементів усі місця зіткнення обробляють силіконовим герметиком. Поперечний стик покрівельних сендвіч-панелей виконують з напуском 300 мм при ухилі 5-10° (9-18%) і 200 мм при ухилі 10-20° (18-36%).

У верхній сендвіч-панелі знизу обрізають сталеву обшивку приблизно на

величину нахлеста. Видаляють також і шар утеплювача. На верхній профіль розташованої знизу сендвіч-панелі наносять відповідний герметик (бутилкаучуковий або силіконовий).

Після кріплення сендвіч-панелі до каркаса виконують механічне міцне з'єднання через поздовжні вузли з'єднання в замках. Одразу перед укладанням сендвіч-панелей з внутрішньої сторони в паз замка закладають силіконовий герметик [6,2].

1.3 Проблеми під час експлуатації сендвіч-панелей

В роботі [7,2] виявлено проблеми та недоліки під час експлуатації сендвіч-панелі. Для забезпечення високих теплофізичних характеристик і довговічності часто застосовують як теплоізоляцію пінополіуретан, пінополіізоціанурат, а також пінополістирол. Але ці матеріали мають другий і третій ступінь горючості, що накладає деякі обмеження на доцільність використання таких сендвіч-панелей. Щоб знизити ступінь пожежної небезпеки, застосовують сендвіч-панелі з утеплювачем із мінеральної вати. Однак сендвіч-панелі з мінеральної вати мають безліч недоліків.

По-перше, з практики використання було виявлено, що часто в процесі експлуатації покрівельних сендвіч-панелей з мінеральної вати на нижньому аркуші сендвіч-панелі випадає конденсат, або за умови порушень герметизацій волога проникає в товщу утеплювача, і, як наслідок, починає промерзати. Через одну-дві зими в такій покрівельній сендвіч-панелі відбудеться процес відшарування утеплювача від сталевих листів, випинання і розшарування власне утеплювача.

На рисунку 1.16 показано відшарування утеплювача від сталевих листів покрівельної сендвіч-панелі з мінеральної вати.



Рисунок 1.16 - Відшарування утеплювача від сталевого листа

По-друге, важливою проблемою в процесі експлуатації є значні напруження і деформації під час температурно-вологісних впливів навколишнього середовища. Взимку різниця температур внутрішнього шару тришарової сендвіч-панелі (що перебуває в теплому приміщенні) і зовнішнього (на морозному повітрі) призводить до виникнення в сендвіч-панелях напруг, що згинаються, а також до повзучості сердечника - з часом відбувається погіршення характеристик міцності волокнистих матеріалів. Особливо для покрівельних панелей, де до уваги входить неминуче скупчення снігу, залежно від ухилу, відповідно, і його кількість. До того ж на поверхні сендвіч-панелі сніг підтає, утворюються криги. У сумі це призводить до деформацій тришарових сендвіч-панелей, зминання на опорах, прогину в прольоті. Причому зминання на опорах, прогин у прольоті буде рік за роком збільшуватися, що призведе до руйнування панелі.

На рисунку 1.17 показано зминання сендвіч-панелі на опорах. У процесі деформації відбувається напруження сендвіч-панелі, навантаження з панелі переходить на саморізи, які згодом починають "вилазити" з сендвіч-панелі. Через зім'яття сендвіч-панелей під прокладку саморіза буде проникати волога, внаслідок чого буде накопичуватися в сердечнику сендвіч-панелі, при цьому почне розвиватися процес корозії саморіза.



Рисунок 1.17 - Зминання сендвіч-панелей на опорах

Також зминання сендвіч-панелі виникає через недостатню кваліфікацію монтажників, з вини яких відбувається перетягування або недотягування саморізів, що призводить до зниження несучої здатності панелі [7,2].

На рисунках 1.18, 1.19, 1.20 показано зминання сендвіч-панелей за рахунок недостатньої кваліфікації монтажників.



Рисунок 1.18 - Зминання сендвіч-панелей



Рисунок 1.19 - Зминання сендвіч-панелей через перетягнуті саморізи



Рисунок 1.20 - Зминання сендвіч-панелей на опорах через перетягнуті саморізи

По-третє, через недобросовісних виконавців робіт часто, особливо нинішнього "ощадливого" виробництва, порушується технологія виготовлення сендвіч-панелей, а також порушення складування сендвіч-панелей на будівельному майданчику. На рисунках 1.21, 1.22 показано порушення складування сендвіч-панелей під час атмосферних опадів.



Рисунок 1.21 - Порушення складування сендвіч-панелей під час атмосферних опадів (дощ)



Рисунок 1.22 - Порушення складування сендвіч-панелей при атмосферних опадах (сніг)

На рисунку 1.23 показано правильне складування сендвіч-панелей на будівельному майданчику.



Рисунок 1.23 - 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 простежити за якістю будівництва, з цього випливає, що якість використовуваного матеріалу під час виготовлення сендвіч-панелей та в процесі будівництва будівлі може проявитися одразу в процесі експлуатації, через 2-3 роки. [7,2]

На рисунках 1.24, 1.25, 1.26 показано вигляд неякісного утеплювача.



Рисунок 1.24 - Вигляд утеплювача неналежного зберігання



Рисунок 1.25- Утеплювач сумнівної якості



Рисунок 1.26- Вигляд утеплювача після тривалого зберігання за атмосферних опадів

З усього перерахованого вище впливає, що недостатньо вивчено питання поведінки сендвіч-панелей на дію температурних впливів в експлуатованих будівлях, що вимагає розв'язання цього питання, яке є цікавим з наукового погляду і важливим з практичного боку. У зв'язку з цим виникає необхідність у проведенні експериментально-теоретичного дослідження сендвіч-панелей в експлуатованих будівлях.

РОЗДІЛ 2

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНО-ТЕОРЕТИЧНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ТА ОЦІНКА СТАНУ СЕНДВІЧ-ПАНЕЛЕЙ В ЕКСПЛУАТОВАНИХ БУДІВЛЯХ

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

З метою виявлення дефектів у сендвіч-панелях, необхідно провести тепловізійне обстеження експлуатованих будівель. Під час обстеження основна увага приділялася:

1. візуальним дефектам фасадів експлуатованих будівель із сендвіч-панелей;
2. вузлам сполучень сендвіч-панелей.
3. Завданням обстеження було виявлення у об'єктів дослідження, зон із підвищеною температурою із зовнішньої частини обстежуваних будівель.

Під час підготовки до обстеження значна увага приділялася планованій техніці обстеження, що дало змогу отримати достовірні дані з мінімальними витратами часу та необхідною точністю.

Тепловізійний контроль виконано тепловізором марки FLIR B15. Моніторинг за перерахованими вище об'єктами проводили в грудні 2023 р. у денний час. На момент обстеження об'єкти опалювалися.

Обстеження проводилося за відсутності вітру, атмосферних опадів, туману і задимленості. У процесі вимірювань огорожувальні конструкції обстежуваних будівель не піддавалися впливу прямого і відбитого сонячного опромінення.







Під час тепловізійного контролю було виконано такі види робіт:

1. огляд об'єктів за допомогою тепловізора для формування загальної характеристики об'єктів і виявлення ділянок, що підлягають подальшому термографуванню;
2. оглядове термографування зовнішніх поверхонь огорожувальних конструкцій для виявлення температурних аномалій;
3. детальне термографування виділених ділянок зовнішніх поверхонь


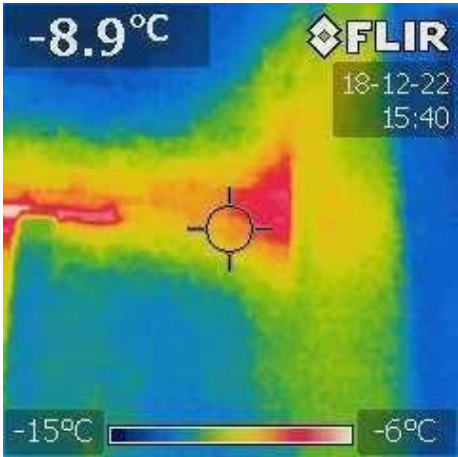

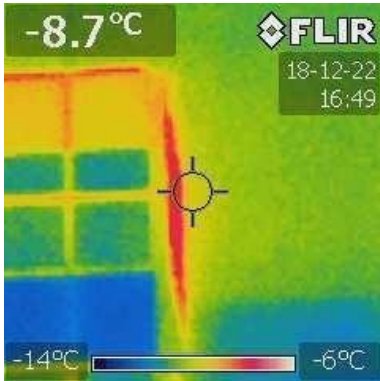

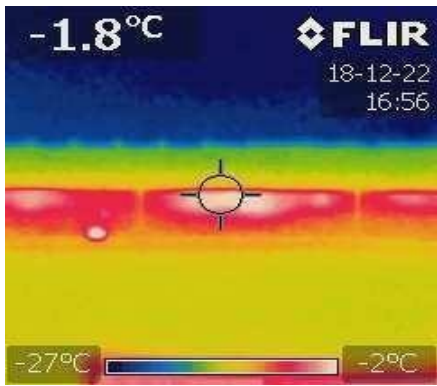

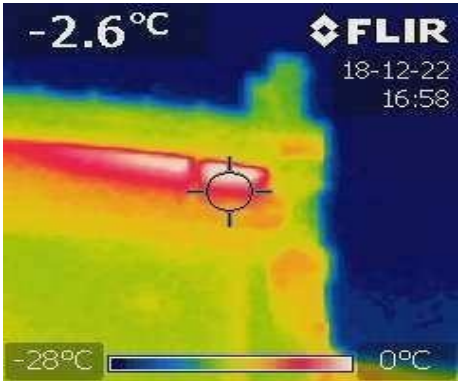
огороджувальних конструкцій для уточнення температурних аномалій.

У таблиці 2.1 представлено результати тепловізійного обстеження об'єктів, де як результат було отримано термограми теплового випромінювання фасадів.


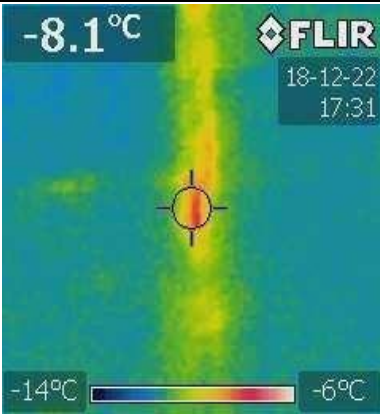

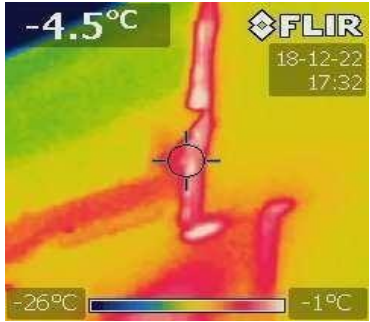

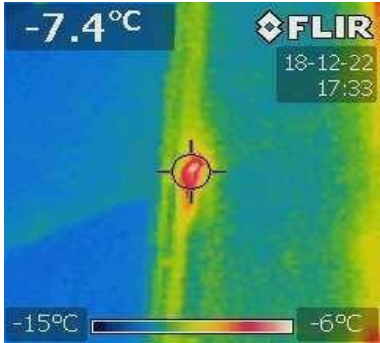

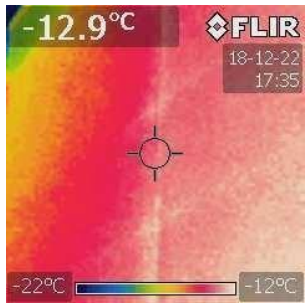

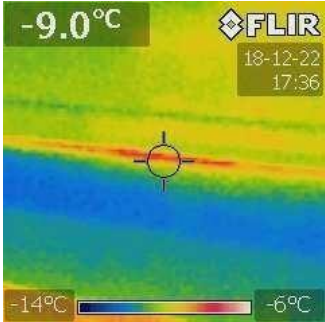
Таблиця 2.1 - Результати тепловізійних вимірювань

№	Фото обстеження	Зображення теплого випромінювання
Об'єкт 1		
1		
2		
3		

Продовження таблиці 2.1

Об'єкт 2		
№	Фото обстеження	Зображення теплового випромінювання
4		
5		
6		
7		

Продовження таблиці 2.1

Об'єкт 3		
№	Фото обстеження	Зображення теплового випромінювання
8		
9		
10		
11		
12		

За термограмами в таблиці 2.1 видно, що фактична температура зовнішньої поверхні огорожувальних конструкцій із сендвіч-панелей коливається в межах (-1,1...-13,3)°С, у середньому температура в місцях, що детального обстеження становить -7,3 °С. У таблиці 2.2 зведено значення температур зовнішніх поверхонь обстежених будівель.

Таблиця 2.2 - Результат обстежень будівель

Об'єкт	Температура зовнішнього повітря, С _з ^о				Температура зовнішнього повітря під час вимірювання С _з ^о
	1	2	3	Середня t _з , °С	
1	-1,1	-5,5	-13,3	-6,63	-12
2	-8,9	-1,8	-2,6	-4,43	-15
3	-8,1	-4,5	-7,4	-6,67	-12
4	-12,2	-12,9	-9,0	-11,4	-11
				t _{з,ср} = -7,28 С ^о	t _{з,в,ср} = -12,5 С ^о

Під час візуального обстеження будівель виявилось, що як утеплювач у вузлах сполучень сендвіч-панелей використовується монтажна піна. Для поліпшення архітектурного вигляду будівлі в місцях з'єднань сендвіч-панелей закріпили нащільники, водночас стик сендвіч-панелей залишається негерметизованим, у деяких місцях нащільників немає, через що у вузлових з'єднаннях потрапляє волога й ультрафіолетове світло, що є причиною руйнування утеплювача (монтажної піни). З тепловізійного обстеження випливає, що зони з підвищеною температурою обстежуваних будівель спостерігаються у вузлах сполучення огорожувальних конструкцій із сендвіч-панелей. Також за аналізом зміни температури у вузлах сполучення огорожувальних конструкцій під час експлуатації будівель можна припустити, у яких вузлових з'єднаннях можливі процеси випадання і накопичення конденсаційної вологи.

1. Встановлено, що найбільш уразливими вузлами є:
2. З'єднання стінових панелей між собою;
3. Вузли конструкції покрівлі;
4. Спирання стінової сендвіч-панелі на цоколь будівлі;

2.2 Розрахунок вузлів сполучень сендвіч-панелей у програмному комплексі Elcut з позиції процесу теплопереносу та аналіз результатів розрахунку

Для проведення чисельних досліджень у програмному комплексі Elcut Professional необхідні такі вихідні дані:

1. властивості теплопровідності λ використовуваних будівельних матеріалів наведено в таблиці 2.3.
2. граничні температурні умови внутрішньої і зовнішньої поверхонь наведено в таблиці 2.3 коефіцієнти теплопередачі внутрішньої та зовнішньої поверхні огорожувальних конструкцій наведено в таблиці 2.3.
3. накреслені вузли в програмі AutoCAD масштабу 1:1 формату DXF.

Таблиця 2.3 - Характеристики матеріалів, що використовуються під час розрахунку

№ п/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 2.4 - Розрахункові граничні умови для розрахунку огорожувальної конструкції

№	Параметр	Значення
1	Розрахункова температура зовнішнього повітря t , С _з	-20,0
2	Розрахункова температура внутрішнього повітря t , С _в ⁰	+20,0
3	Коефіцієнт тепловіддачі зовнішньої поверхні стіни α_3 , 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 дотримуватися такого алгоритму дій у програмному комплексі Elcut Professional:

1. Вибрати тип створюваної моделі - теплопередача стаціонарна.
2. Визначити робочу область і задати геометрію моделі.
3. Вказати граничні умови моделі.
4. Прийняти теплофізичні властивості та початкові умови.
5. Задати параметри сітки елементів і її побудову.
6. Визначити параметри вирішального пристрою і запустити розрахунок.
7. Налаштувати режим відображення результату розрахунків.
8. Провести аналіз отриманих результатів.

Для виявлення причин виникнення тепловтрат у вузлах сполучень сендвіч-панелей необхідно більш детально розглянути вузли. Для розрахунку було взято типові проєктні рішення вузлів з'єднань сендвіч-панелей.

На рисунку 2.1 показано з'єднання стінових сендвіч-панелей між собою за поздовжніми краями і кріплення їх до каркаса будівлі. Стінові сендвіч-панелі монтуються на прогін за допомогою самозасвердлювальних шурупів із пластмасовим ковпачком і гумовою прокладкою для герметизації отвору. Стик між сендвіч-панелями заповнюється герметиком.

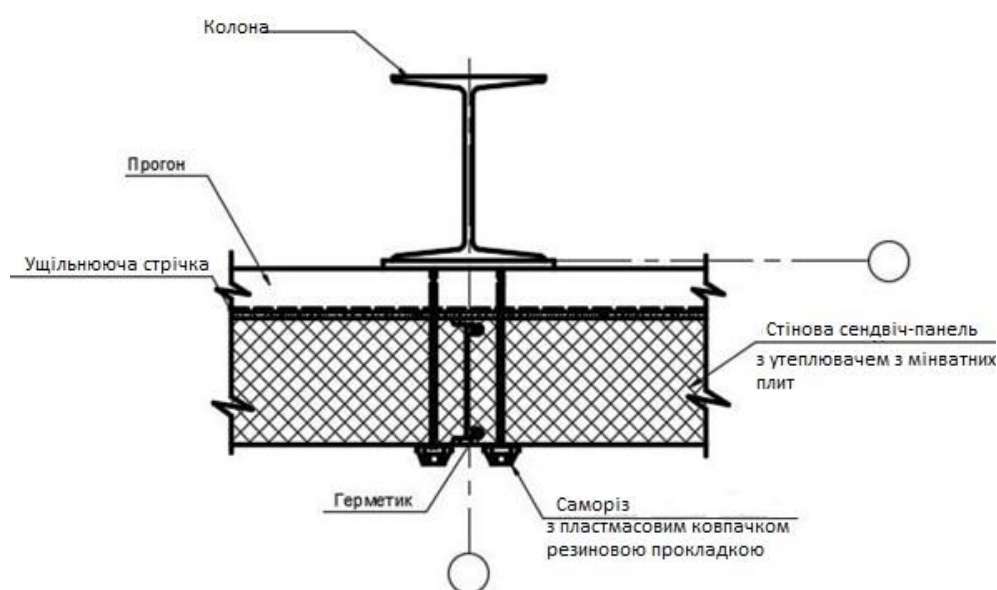
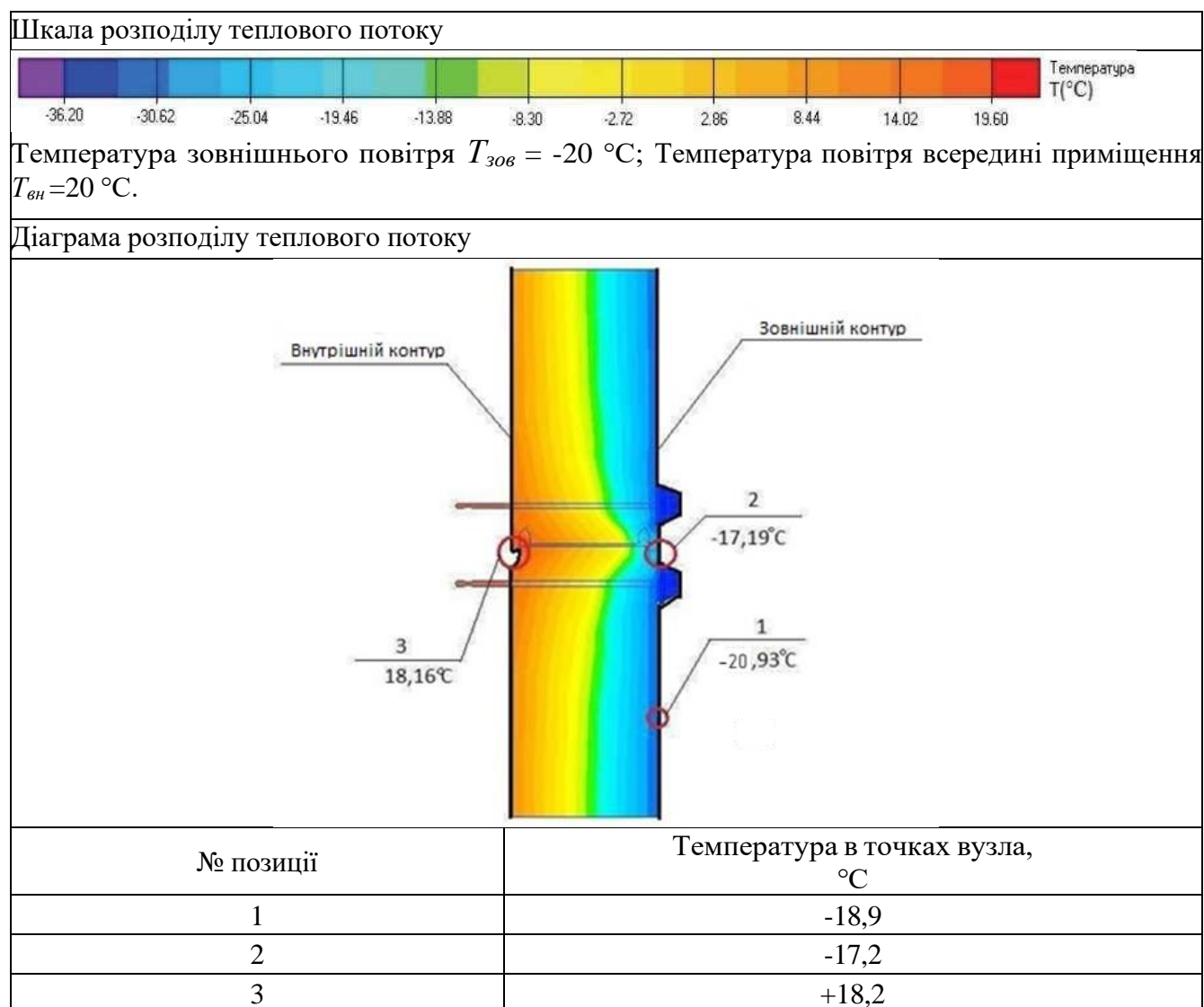


Рисунок 2.1 - З'єднання стінових сендвіч-панелей за поздовжніми краями і кріплення їх до каркаса будівлі

За результатами комп'ютерного моделювання температурних полів з'єднання стінових сендвіч-панелей за поздовжніми краями та кріплення їх до каркаса будівлі, які наведені в таблиці 2.5, виявлено, що температура зовнішнього контуру в з'єднанні стінових сендвіч-панелей складає - 17,2 °С (таблиця 2.5, точка 2), що є достатньо вищою від розрахункового значення температури зовнішнього повітря (-20,0 °С). З цього випливає, що в з'єднанні стінових сендвіч-панелей утворюються тепловтрати.

Таблиця 2.5 - Результати комп'ютерного моделювання температурних полів з'єднання стінових сендвіч-панелей за поздовжніми краями і кріплення їх до каркаса будівлі



На рисунку 2.2 показано кутове з'єднання стінових сендвіч-панелей. Стінові сендвіч-панелі монтують на кутову стійку за допомогою шурупів-саморізів. Проміжок між стіною сендвіч-панеллю і кутовою стійкою заповнюється ущільнювальною стрічкою або мастикою.

Стик між стіновими сендвіч-панелями заповнюється монтажною піною. Із зовнішньої частини з'єднання кріпляться нащільники НЩ2 за допомогою самозасвердлювальних шурупів. По краях нащільника НЩ2 для герметизації наноситься герметик-силіконовий.

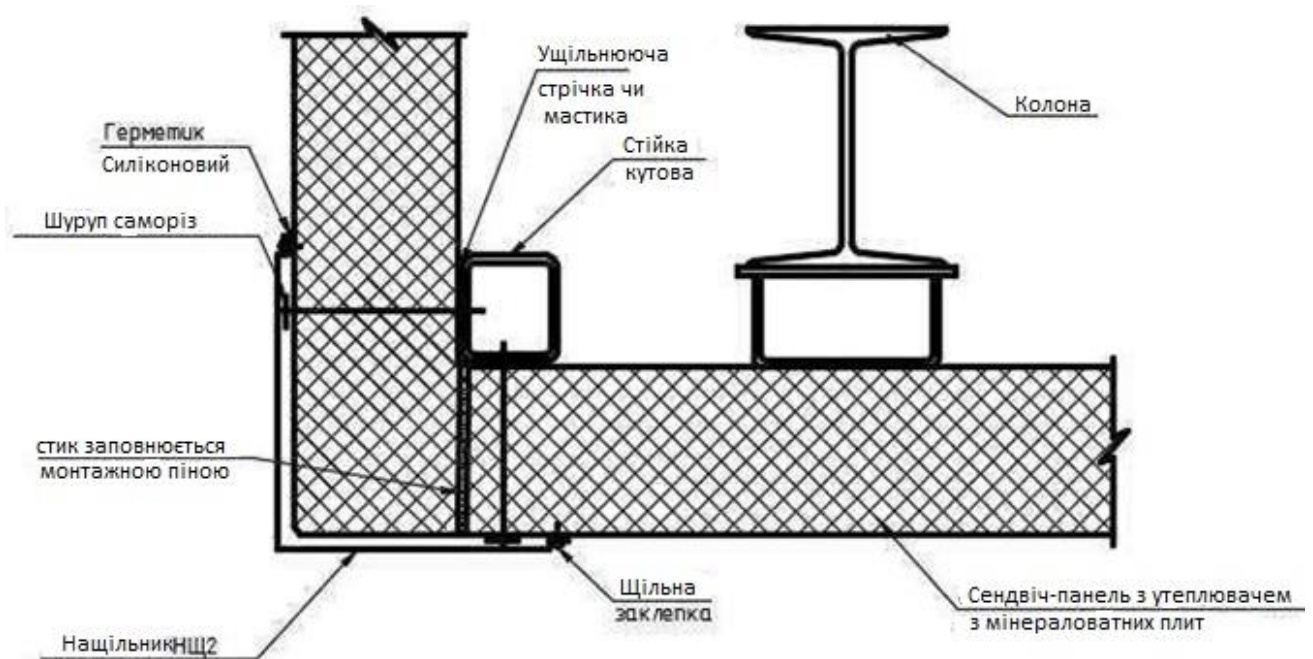
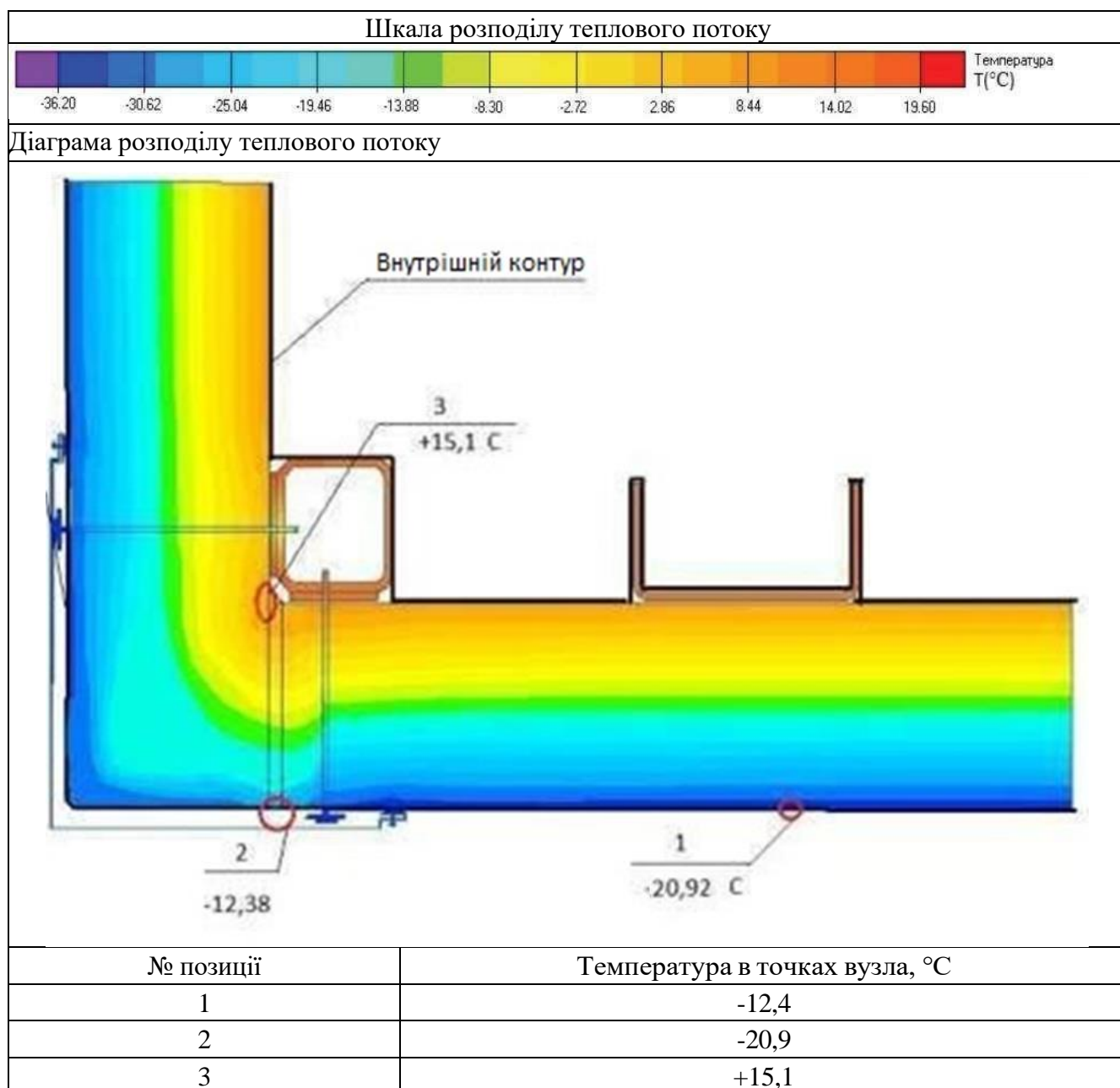


Рисунок 2.2 - Кутове з'єднання стінових сендвіч-панелей

За результатами комп'ютерного моделювання температурних полів кутового з'єднання стінових сендвіч-панелей, які наведено в таблиці 2.6, виявлено, що температура зовнішнього контуру в з'єднанні стінових сендвіч-панелей складає -12,4 °С (таблиця 2.6, точка 1), що є достатньо високою від розрахункового значення температури зовнішнього повітря (-20,0 °С). З цього випливає, що в з'єднанні стінових сендвіч-панелей утворюються тепловтрати.

Таблиця 2.6 - Результати комп'ютерного моделювання температурних полів кутового з'єднання стінових сендвіч-панелей



На рисунку 2.3 показано вузол конструкції карниза при внутрішньому вирішенні водостоку. Покрівельні сендвіч-панелі монтуються на прогін із гарячекатаної сталі за допомогою самозасвердлювальних шурупів із гумовою прокладкою і пластмасовим ковпачком. На шурупи саморізи наноситься герметик для герметизації отвору. Проміжок між покрівельною сендвіч-панеллю і прогоном заповнюється ущільнювальною стрічкою або мастикою. Стик між стіною сендвіч-панеллю та покрівельною сендвіч-панеллю заповнюється монтажною

піною. З внутрішньої та зовнішньої частини з'єднання кріплять нащільники НЩ19 за допомогою плоскої заклепки, зверху наносять силіконовий герметик.

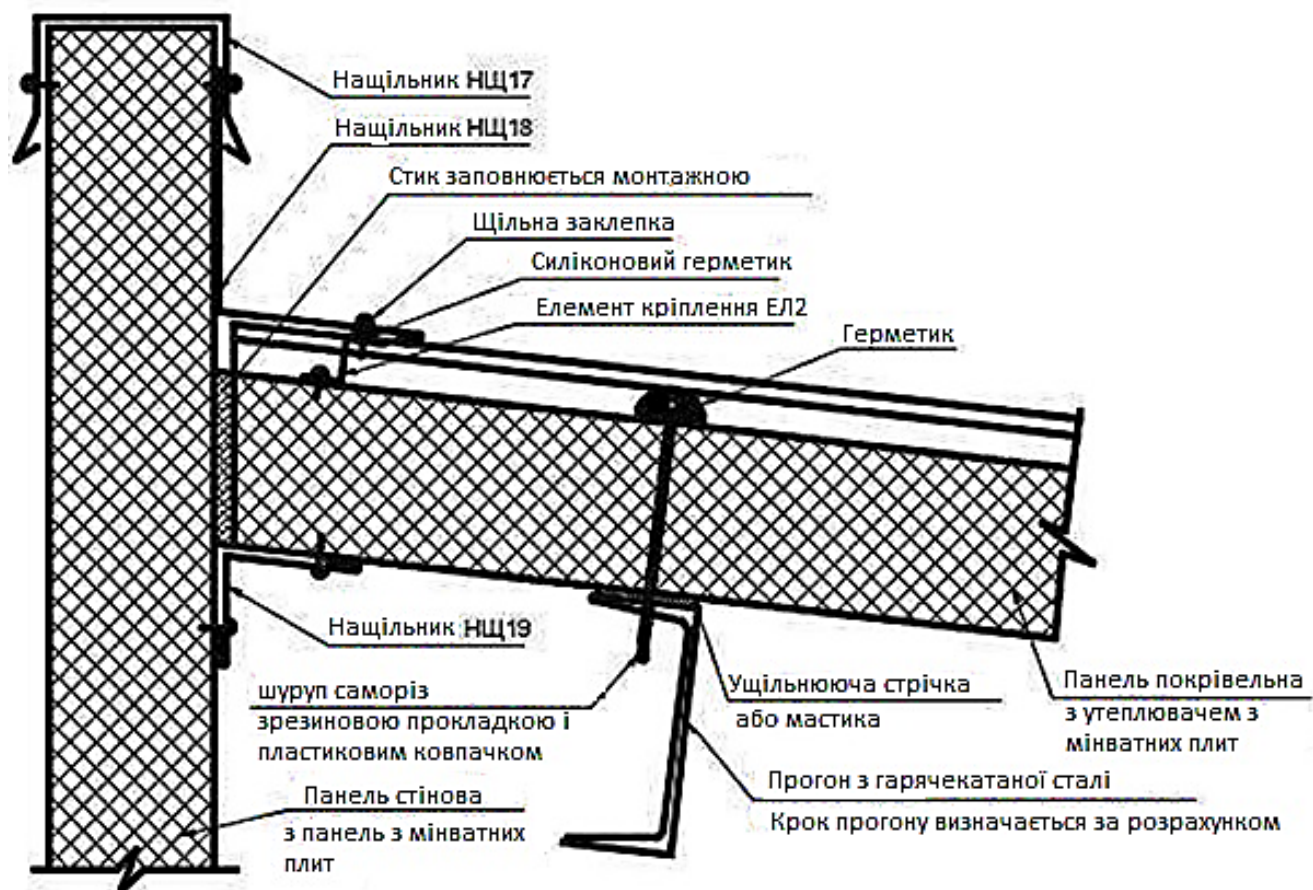
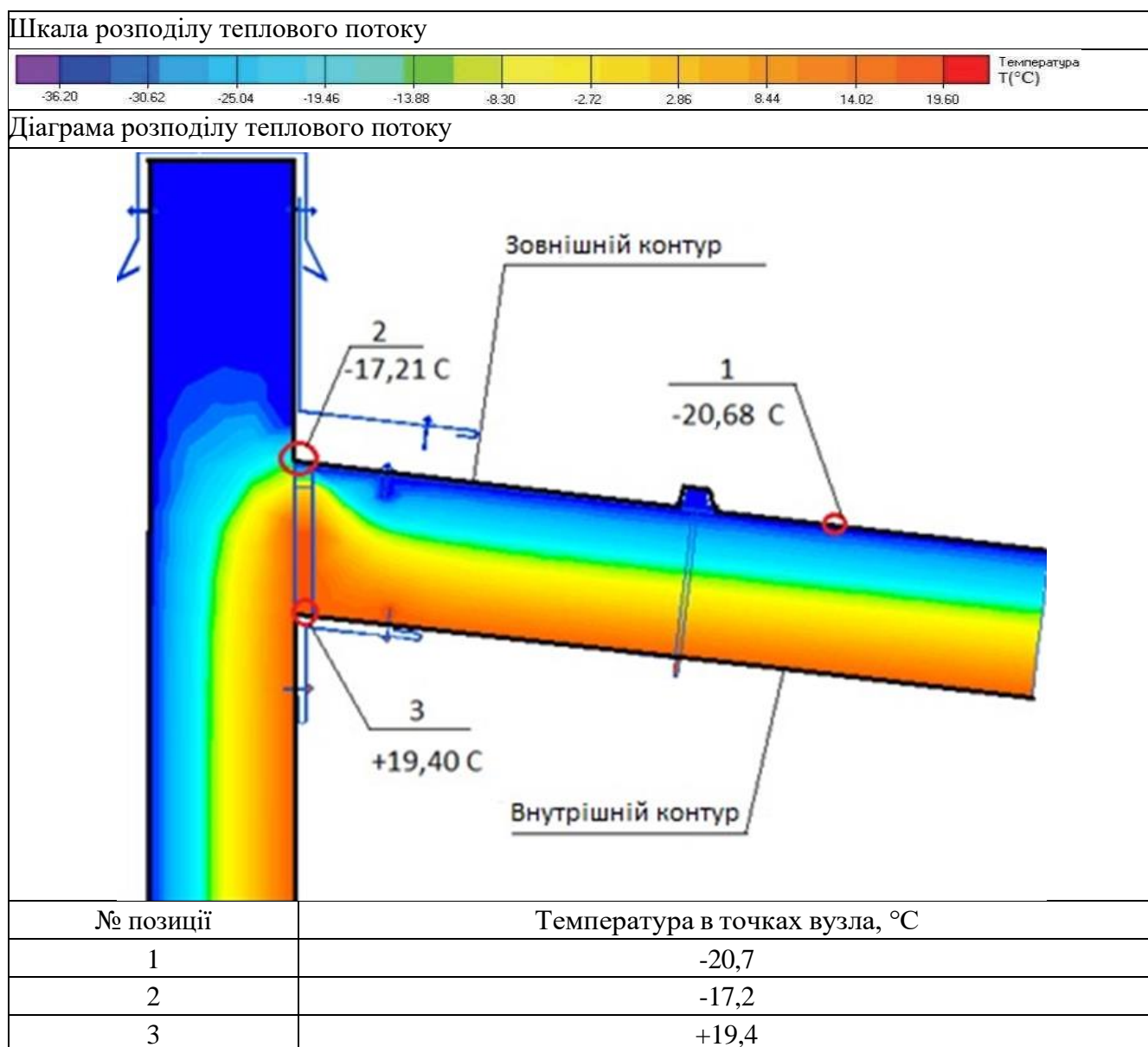


Рисунок 2.3 - Конструкція карниза при внутрішньому вирішенні водостоку

За результатами комп'ютерного моделювання температурних полів вузла конструкції карниза за внутрішнього рішення водостоку, які наведено в таблиці 2.7, виявлено, що температура зовнішнього контуру в з'єднанні стінових сендвіч-панелей складає $-17,2\text{ }^{\circ}\text{C}$ (таблиця 2.7, точка 2), що є досить високою від розрахункового значення температури зовнішнього повітря ($-20,0\text{ }^{\circ}\text{C}$). З цього випливає, що в з'єднанні стінових сендвіч-панелей утворюються тепловтрати.

Таблиця 2.7 - Результати комп'ютерного моделювання температурних полів вузла конструкції карниза за внутрішнього рішення водостоку



На рисунку 2.4 показано коньковий вузол для покрівлі з ухилом 10% . Покрівельні сендвіч-панелі кріплять на верх кроквяної конструкції за допомогою самозасвердлювальних шурупів з гумовою прокладкою і пластмасовим ковпачком, зверху намазують герметик для герметизації. Стик між покрівельними панелями заповнюється монтажною піною. З внутрішньої і зовнішньої частини з'єднання кріпляться нащільники НЩ14. Нащільники НЩ 14 встановлюються за допомогою щільної заклепки, зверху на заклепку наноситься герметик-силіконовий.

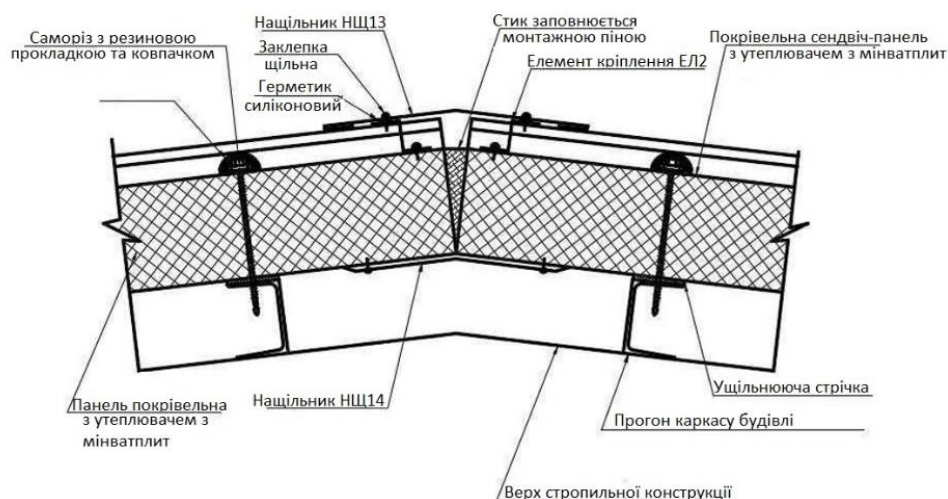
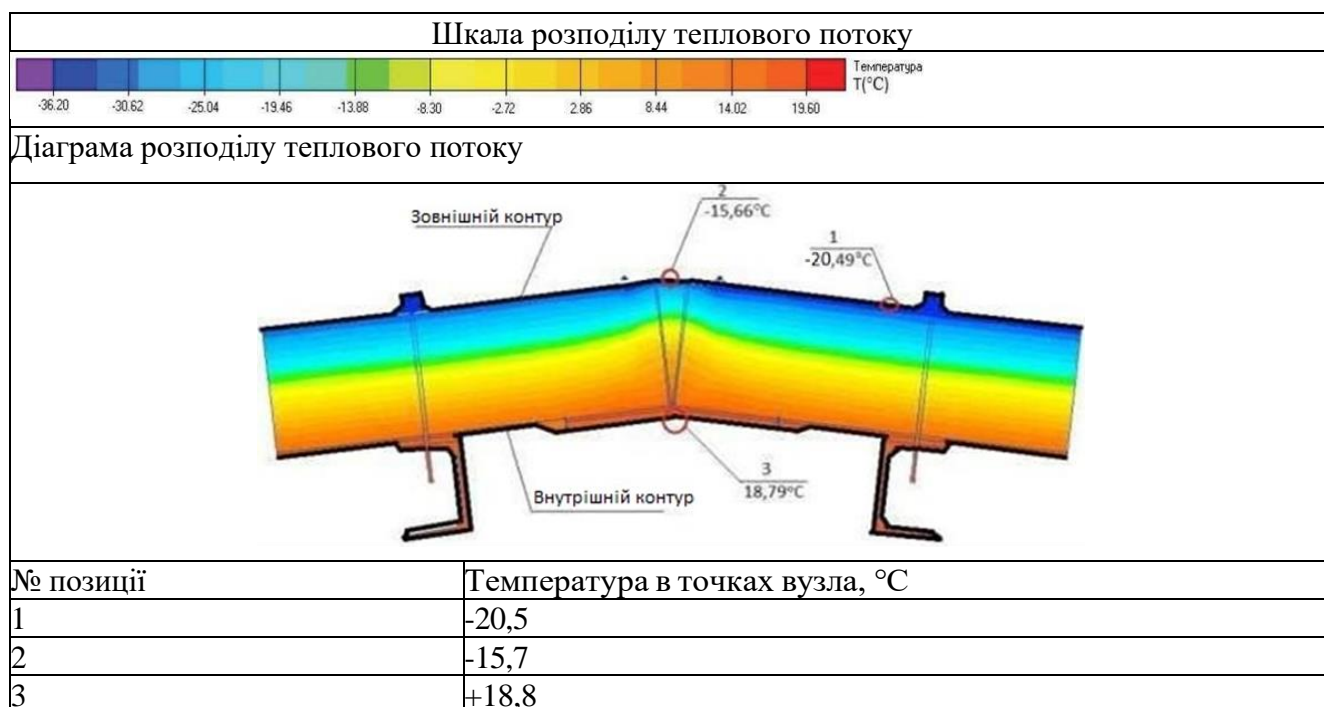


Рисунок 2.4 - Коньковий вузол для покрівлі з ухилом 10%

За результатами комп'ютерного моделювання температурних полів вузла конструкції карниза за внутрішнього рішення водостоку, які наведено в таблиці 2.8, виявлено, що температура зовнішнього контуру в з'єднанні стінових сендвіч-панелей складає $-15,7\text{ }^{\circ}\text{C}$ (таблиця 2.8, точка 2), що є досить вищою від розрахункового значення температури зовнішнього повітря ($-20,0\text{ }^{\circ}\text{C}$). З цього випливає, що в з'єднанні стінових сендвіч-панелей утворюються тепловтрати.

Таблиця 2.8 - Результати комп'ютерного моделювання температурних полів конькового вузла для покрівлі з ухилом 10%



На рисунку 2.5 показано вузол конструкції карниза при зовнішньому вирішенні водостоку. Покрівельна сендвіч-панель кріпиться до прогону каркаса будівлі на самозасвердлювальні шурупи з гумовою прокладкою і пластмасовим ковпачком, зверху намазується герметик для герметизації. Між прогоном каркаса будівлі та покрівельною сендвіч-панеллю лягає ущільнювальна стрічка. Стик між стіною сендвіч-панеллю і покрівельною сендвіч-панеллю заповнюється монтажною піною. З внутрішньої і зовнішньої частини з'єднання кріпляться нащільники НЩ20. Нащільники НЩ 20 встановлюють за допомогою щільної заклепки, зверху на заклепку наносять герметик-силіконовий.

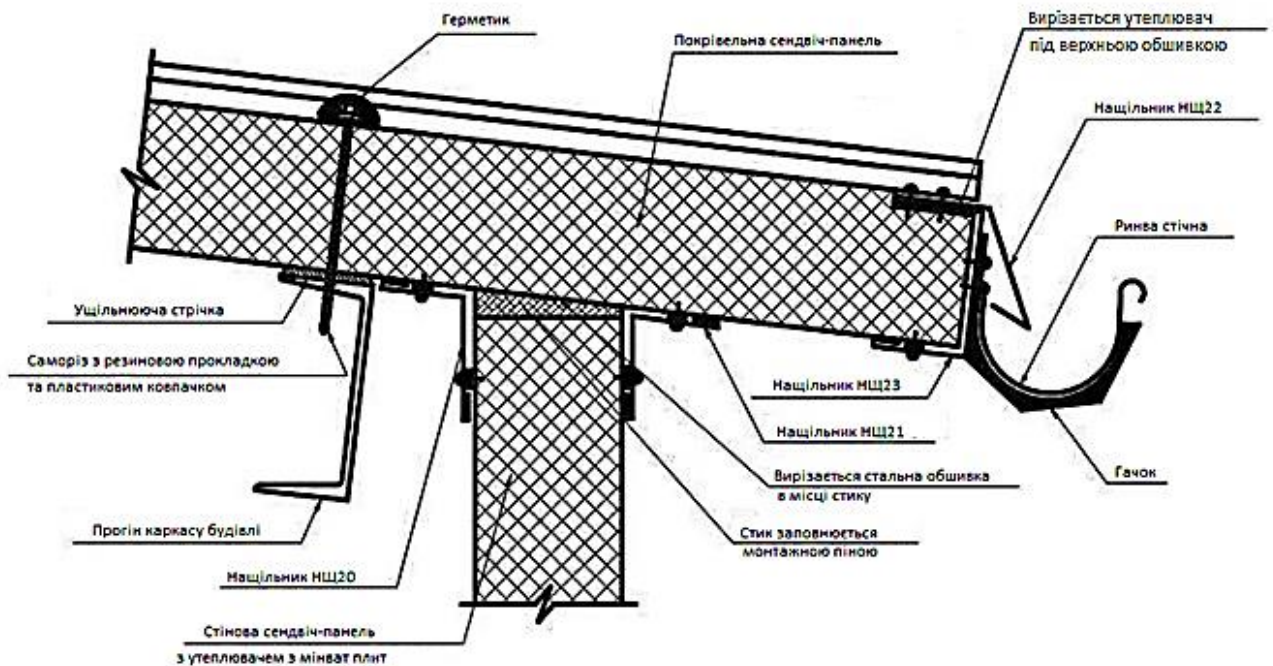
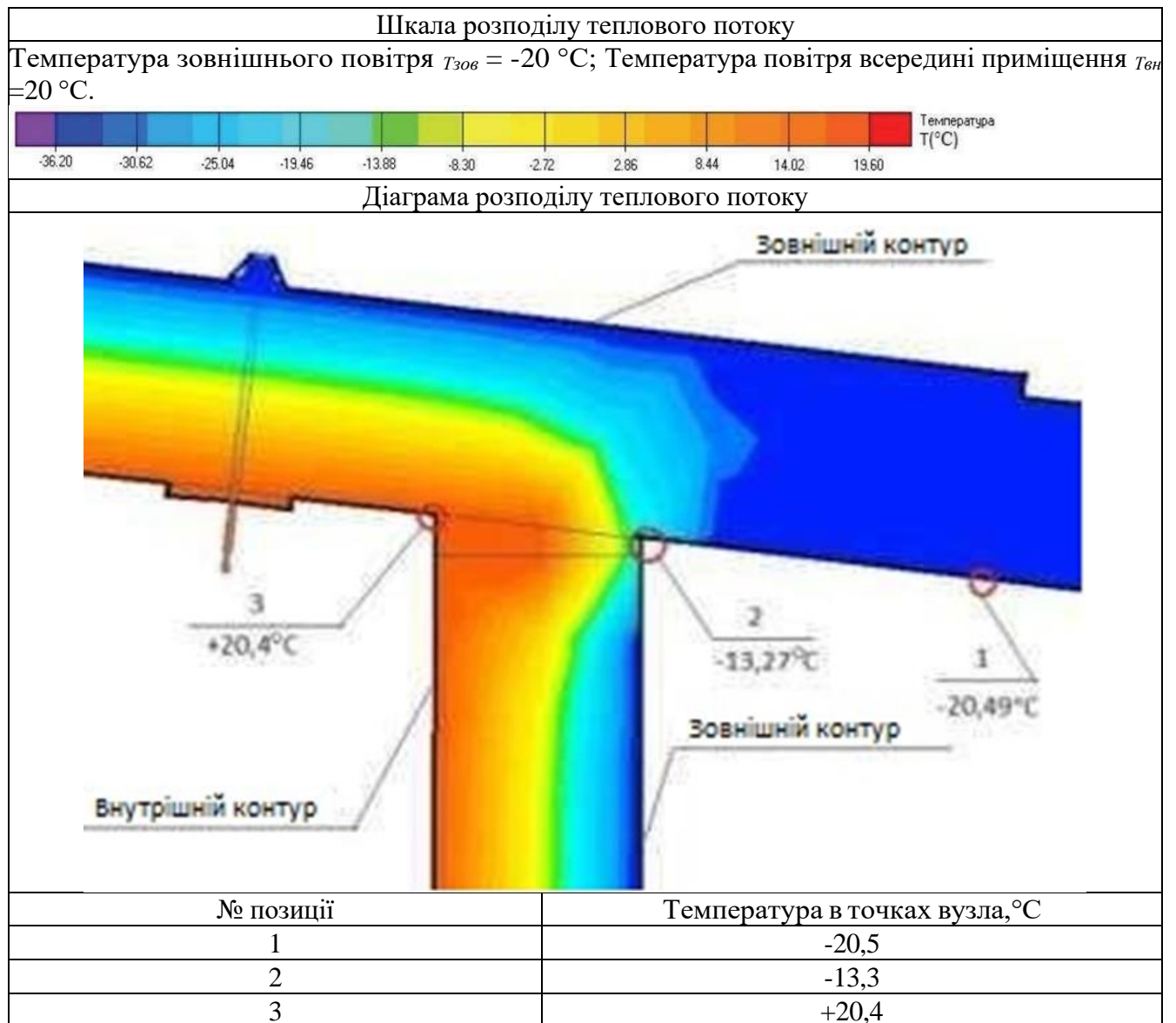


Рисунок 2.5 - Конструкція карниза при зовнішньому вирішенні водостоку

За результатами комп'ютерного моделювання (таблиця 2.9) температурних полів вузла конструкції карниза за внутрішнього рішення водостоку, що наведені в таблиці 15, виявлено, що температура зовнішнього контуру в з'єднанні стінових сендвіч-панелей становить $-13,3\text{ }^{\circ}\text{C}$ (таблиця 2.9, точка 2), що досить вище від розрахункового значення температури зовнішнього повітря ($-20,0\text{ }^{\circ}\text{C}$). З цього випливає, що в з'єднанні стінових сендвіч-панелей утворюються тепловтрати.

Таблиця 2.9 - Результати комп'ютерного моделювання температурних полів вузла конструкції карниза при зовнішньому вирішенні водостоку



На рисунку 2.6 показано обпирання стінової сендвіч-панелі на цоколь будівлі. Під час обпирання сендвіч-панелі цокольну частину будівлі обмащують гідроізоляцією, після цього сендвіч-панель кріплять до стійки за допомогою самозасвердлювальних шурупів, а стик між сендвіч-панеллю і цоколем заповнюють монтажною піною. Для того щоб вода не проникла в стик між стіною і цоколем із зовнішньої частини кріпиться нащільник НЩЗ за допомогою щільної заклепки, зверху на заклепку наноситься герметик- силіконовий.

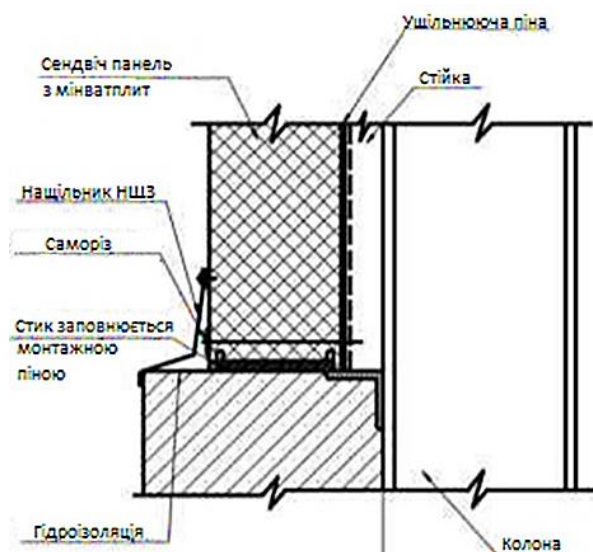


Рисунок 2.6 - Опирання стінової сендвіч-панелі на цоколь будівлі

За результатами комп'ютерного моделювання температурних полів вузла конструкції карниза за внутрішнього рішення водостоку, які наведено в таблиці 2.10, виявлено, що температура зовнішнього контуру в з'єднанні стінових сендвіч-панелей складає $-19,4\text{ }^{\circ}\text{C}$ (таблиця 2.10, точка 2), що є досить високою від розрахункового значення температури зовнішнього повітря ($-20,0\text{ }^{\circ}\text{C}$). З цього випливає, що в з'єднанні стінових сендвіч-панелей утворюються тепловтрати.

Таблиця 2.10 - Результати комп'ютерного моделювання температурних полів вузла обпирання стінової сендвіч-панелі на цоколь будівлі



Продовження таблиці 2.10

№ позиції	Температура в точках вузла, °С
1	-20,9
2	-19,4
3	+18,4

У таблиці 2.11 наведено зведені результати комп'ютерного моделювання температурних полів типових вузлів і сполучень сендвіч панелей, де:

Вузол 1 - З'єднання стінових сендвіч-панелей між собою за поздовжніми краями і кріплення їх до каркаса будівлі

Вузол 2 - Кутове з'єднання стінових сендвіч-панелей

Вузол 3 - Коньковий вузол для покрівлі з ухилом 10%

Вузол 4 - Конструкція карниза при внутрішньому вирішенні водостоку

Вузол 5 - Конструкція карниза при зовнішньому вирішенні водостоку

Вузол 6 - Спирання стінової сендвіч-панелі на цоколь будівлі

Таблиця 2.11 - Зведена таблиця результатів комп'ютерного моделювання температурних полів типових вузлів

Модель	Температура поверхні по зовнішньому контуру в з'єднанні сендвіч-панелей ($T_n = -17\text{ °C}$)	Температура поверхні по внутрішньому контуру в з'єднанні сендвіч-панелей ($T_v = +20\text{ °C}$)
Вузол 1	-17,2	+18,2
Вузол 2	-12,4	+15,1
Вузол 3	-17,2	+19,4
Вузол 4	-15,7	+18,8
Вузол 5	-13,3	+20,4
Вузол 6	-19,4	+18,4

Результати розрахунку підтверджують, що у вузлових з'єднаннях сендвіч-панелей відбуваються тепловтрати. Більш детальний аналіз вузлів виявив, що в місцях з'єднаннях сендвіч-панелей використовується монтажна піна. За результатами розрахунку в програмному комплексі виявилось, що зміни

температурного потоку відбуваються саме у вузлових стиках сендвіч-панелей, слід зазначити, що в цих місцях використовується монтажна піна.

Слід припустити, що причиною цих тепловтрат може бути заповнення вузлових з'єднань монтажною піною, оскільки можливе використання не якісного матеріалу під час заповнення стиків, а також у процесі експлуатації або в процесі будівництва можливе проникнення вологи або ультрафіолетового світла у вузлові з'єднання сендвіч-панелей, тим самим погіршуючи якість монтажною піни.

Хотілося б зазначити, що до базових характеристик монтажною піни можна віднести:

- Високі адгезійні показники. Речовина утворює міцне з'єднання з основними матеріалами, що застосовуються в будівництві, але до промаслених, силіконових основ, поліетилену піна пристає набагато гірше;

- Під час виходу з балона герметик збільшується в п'ятдесят разів, іноді зустрічається збільшення в двадцять разів. Заповнення швів займає кілька хвилин, процес при цьому супроводжується шипінням і швидким заповненням простору. Одного балона достатньо для герметизації довгих і глибоких стиків;

- Спінений герметик після нанесення протягом декількох годин змінює об'єм. Дешевші варіанти схильні до усадки, що призводить до утворення щілин;

- Характеристики матеріал зберігає в тому випадку, коли не піддається впливу прямих променів сонця, хімічних реагентів і вологи. Якщо впливає хоча б один з перерахованих факторів, піна пересохне і розкришиться. Термін експлуатації погано захищеного матеріалу малий і становить максимум сорок вісім місяців.

З чого можна зробити висновок, що у вузлових з'єднаннях огорожувальних конструкцій із сендвіч-панелей відбуваються тепловтрати за рахунок застосування у вузлах монтажною піни.

2.3 Визначення залежності між коефіцієнтом теплопровідності та температурою поверхні вузла з'єднання сендвіч-панелей у програмному комплексі Elcut

Для розрахунку використовується типове кутове з'єднання стінових сендвіч-панелей з використанням у стику монтажної піни. Візьмемо показники коефіцієнта теплопровідності під час випробувань монтажної піни в роботі. [80], де автор роботи вивчив характеристики структурних змін, що відбуваються в матеріалі під час впливу дощу, вітру, сонячної радіації, циклічних впливів температури і вологості на поверхні матеріалу.

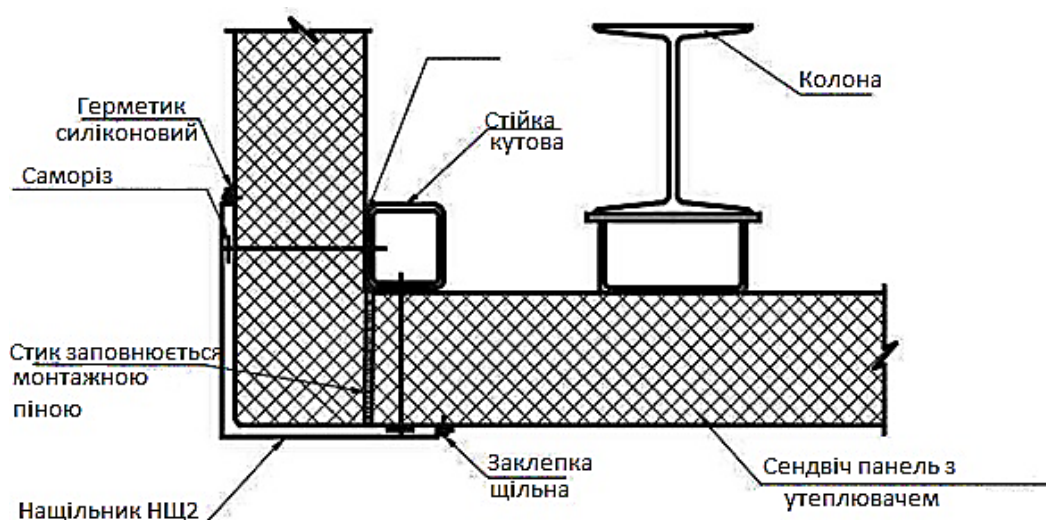
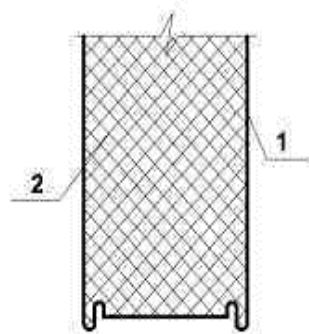


Рисунок 2.7- Розрахункова схема кутового з'єднання стінових сендвіч-панелей

Розрахункову схему стіни наведено на рисунок 2.8, розрахункові теплофізичні характеристики матеріалів зовнішньої стіни наведено в таблиці 17. Як утеплювач обрано сендвіч-панелі з мінераловатним утеплювачем. Розрахунок проводили за допомогою програмного комплексу Elcut Professional. Розрахункові граничні умови для розрахунку вказані в таблиці 2.12.



1 - оцинкований лист; 2 – утеплювач.

Рисунок 2.8 - Розрахункова схема сендвіч-панелі

Таблиця 2.12 - Характеристики матеріалів

№ п/п	Найменування матеріалів	Щільність ρ , 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

Таблиця 2.13 - Розрахункові граничні умови для розрахунку огорожувальної конструкції

№	Параметр	Значення
1	Розрахункова температура зовнішнього повітря t_n , С°	-20,0
2	Розрахункова температура внутрішнього повітря t_v , С°	+20,0
3	Коефіцієнт тепловіддачі зовнішньої поверхні стіни α_n , Вт/(м ² ·° С)	23,0
4	Коефіцієнт тепловіддачі внутрішньої поверхні стіни α_v , Вт/(м ² ·° С)	8,7

Результати розрахунку кутового з'єднання сендвіч-панелей у програмному комплексі Elcut представлено в таблиці 2.14, де виявлено закономірність між коефіцієнтом теплопровідності монтажною піни та температурою поверхні в стику стінових сендвіч-панелей, що показано на рисунках 2.9 2.10.

Таблиця 2.14 - Результати розрахунку

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

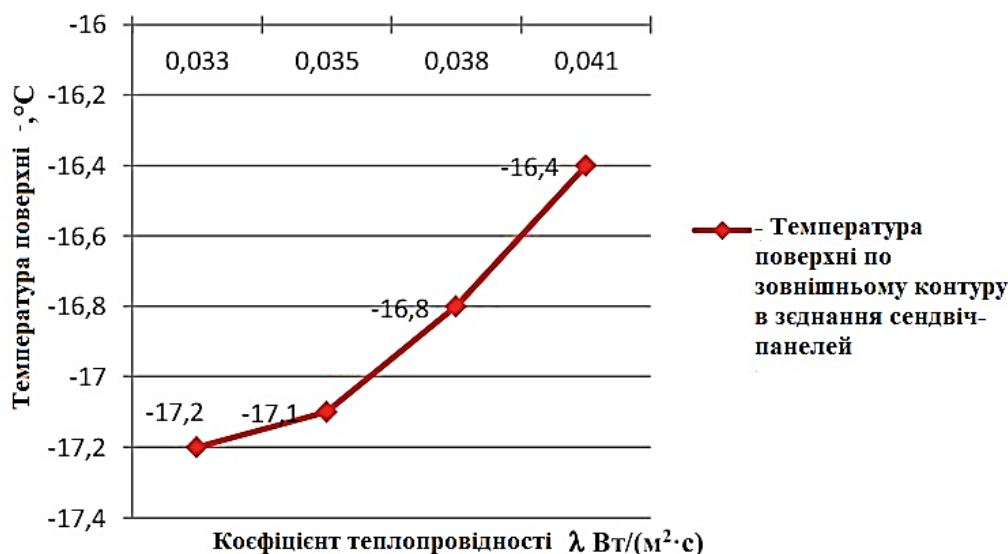


Рисунок 2.9 - Графік залежності коефіцієнта теплопровідності від температури зовнішнього контуру в стику сендвіч-панелей

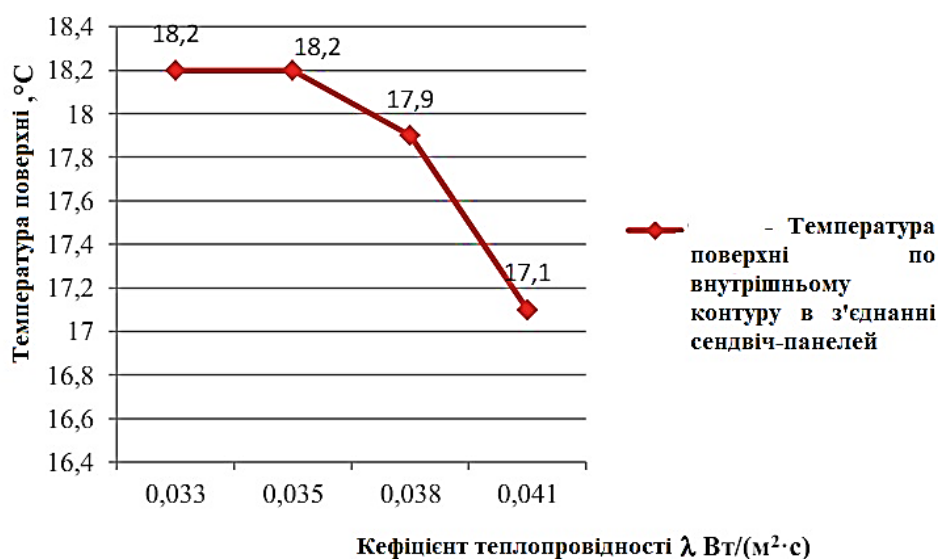


Рисунок 2.10 - Графік залежності коефіцієнта теплопровідності від температури внутрішнього контуру в стику сендвіч-панелей

З результату розрахунку виявлено, що при збільшенні коефіцієнта теплопровідності монтажної піни, за рахунок структурних змін характеристик, що відбувається в матеріалі під час впливу дощу, вітру, сонячної радіації, циклічних впливів температури і вологості на поверхні матеріалу, збільшуються тепловтрати в місцях сполучення сендвіч-панелей, тим самим зменшується термін довговічності вузлового сполучення. Зважаючи на це, термін експлуатації будівлі, заявлений проєктувальниками, імовірно, зменшується у 2-3 рази.

2.4 Розрахунок із використанням програмного комплексу Elcut і аналіз температурного потоку під час утеплення вузлів сполучень і кріплень сендвіч-панелей

Після розрахунку вузлів сполучень сендвіч-панелей у п. 2.2 виявилось, що причиною тепловтрат в експлуатованих будівлях є використання монтажної піни як утеплювача між панелями.

Для того, щоб унеможливити тепловтрати в експлуатованих будівлях, необхідно забезпечувати герметичність швів, а також створювати щільне з'єднання завдяки використанню утеплювача в стиках.

Для підтвердження ефективності утеплення і герметичності швів необхідно провести аналіз теплового потоку в утеплених вузлах. При цьому необхідно дотримуватися такого алгоритму дій у програмному комплексі Elcut Professional:

1. Вибрати тип створюваної моделі - теплопередача стаціонарна.
2. Визначити робочу область і задати геометрію моделі.
3. Указати граничні умови моделі, представлених у таблиці 2.16.
4. Прийняти теплофізичні властивості та початкові умови, представлених у таблиці 2.15.
5. Задати параметри сітки елементів і її побудову.
6. Визначити параметри вирішального пристрою і запустити розрахунок.
7. Налаштувати режим відображення результату розрахунків.

8. Провести аналіз отриманих результатів.

Таблиця 2.15 - Характеристики матеріалів, що використовуються під час розрахунку

№ п/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	Герметик	1050	0,35
4	Мастика	100	0,032

Таблиця 2.16- Розрахункові граничні умови для розрахунку огорожувальної конструкції

№	Параметр	Значення
1	Розрахункова температура зовнішнього повітря t_n , С°	-20,0
2	Розрахункова температура внутрішнього повітря t_v , С°	+20,0
3	Коефіцієнт тепловіддачі зовнішньої поверхні стіни α_n , Вт/(м ² ·° С)	23,0
4	Коефіцієнт тепловіддачі внутрішньої поверхні стіни α_v , Вт/(м ² ·° С)	8,7

На рисунку 2.11 показано з'єднання стінових сендвіч-панелей між собою за поздовжніми кромками і кріплення їх до каркаса будівлі. Стінові сендвіч-панелі монтуються на прогін за допомогою самозасвердлювальних шурупів. Стик між сендвіч-панелями заповнюється утеплювачем, наприклад мінеральною ватою в поліетиленовій плівці. Із зовнішньої частини вузлового з'єднання кріпиться фасонний елемент ФЕ-С4. Зверху ФЕ-С4 кріпиться фасонний елемент ФЕ-С1 за допомогою самозасвердлювальних шурупів. У місцях з'єднання фасонного елемента ФЕ-С1 зі стіною сендвіч-панеллю необхідно використовувати герметик-силіконовий для герметизації швів.

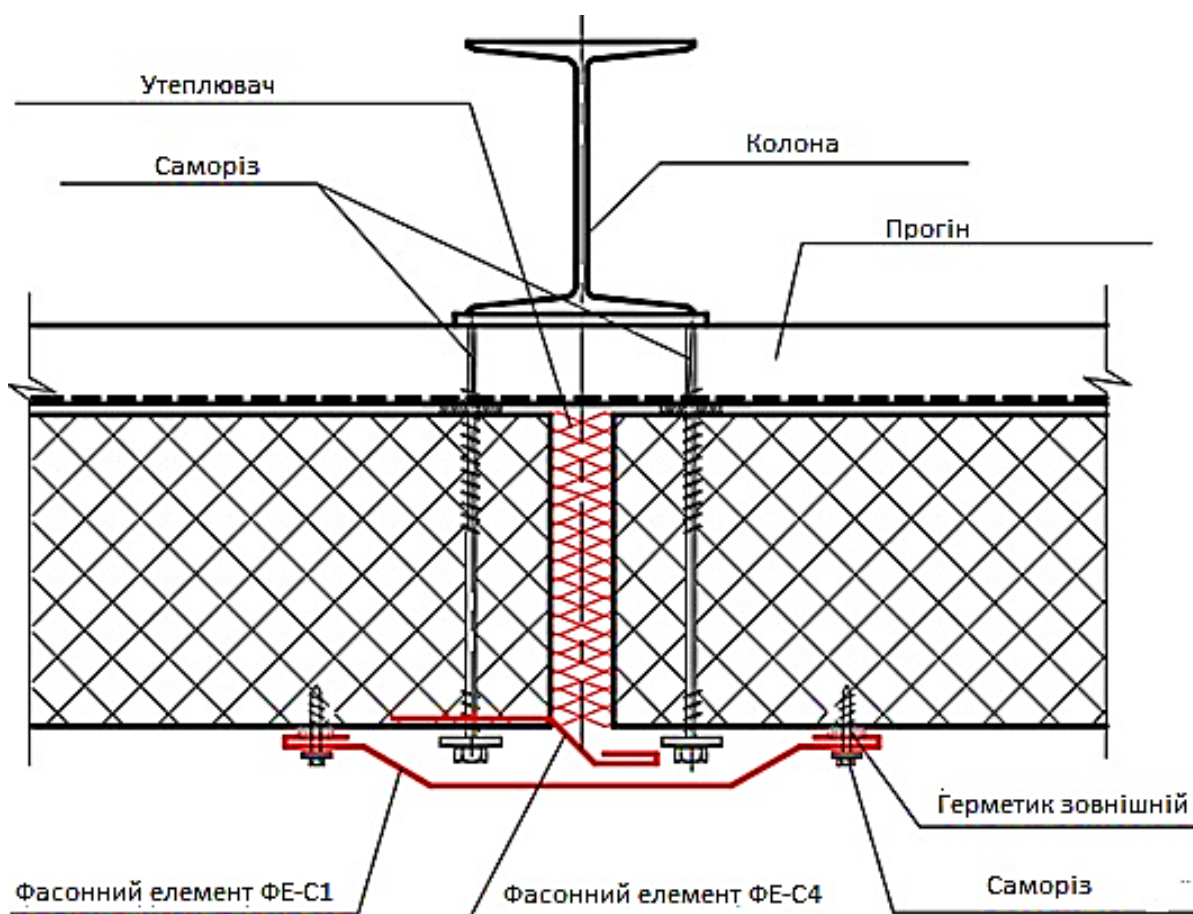
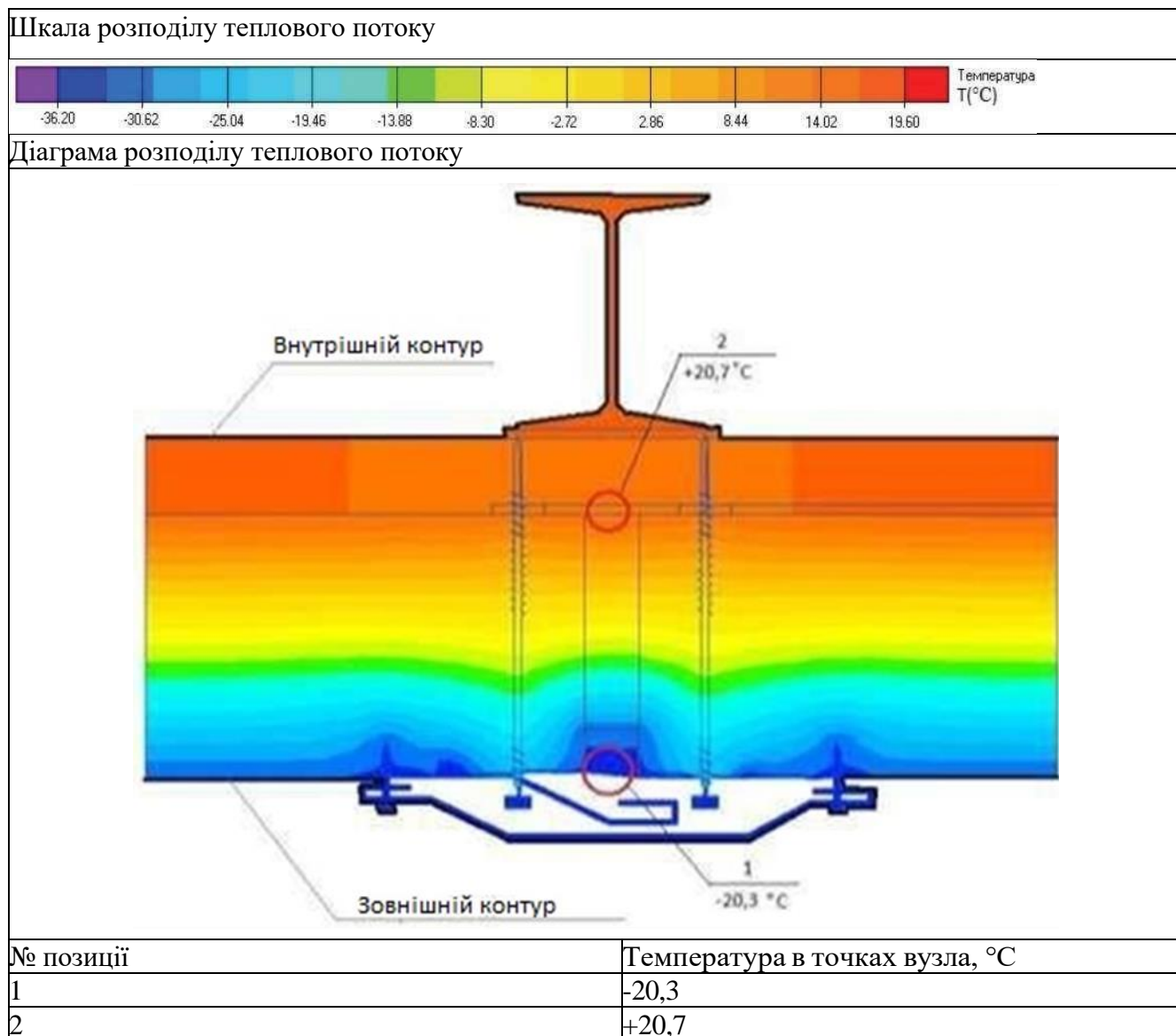


Рисунок 2.11 - З'єднання стінових сендвіч-панелей між собою за поздовжніми краями і кріплення їх до каркаса будівлі

За результатами комп'ютерного моделювання температурних полів з'єднання стінових сендвіч-панелей між собою за поздовжніми краями та кріплення їх до каркаса будівлі, що наведено в таблиці 2.16, виявлено, що температура зовнішнього контуру в з'єднанні стінових сендвіч-панелей складає $-28,3$ °C (таблиця 2.17, точка 1), що є досить наближеним до розрахункового значення температури зовнішнього повітря ($-20,0$ °C). З цього випливає, що завдяки утепленню стику мінеральною ватою в поліетиленовій плівці тепловтрати у вузлі усунуто.

Таблиця 2.17 - Результати комп'ютерного моделювання температурних полів з'єднання стінових сендвіч-панелей між собою за поздовжніми краями і кріплення їх до каркаса будівлі



На рисунку 2.12 показано кутове з'єднання стінових сендвіч-панелей. Стінові сендвіч-панелі монтуються на кутову стійку за допомогою самозасвердлювальних шурупів. У стик між сендвіч-панелями лягає утеплювач - мінеральна вата, з внутрішньої частини з'єднання закладається ущільнювальна маса (мастика). Із зовнішньої частини з'єднання кріпиться фасонний елемент ФЕ-У2 із внутрішньої частини кріпиться фасонний елемент ФЕ-У3. По краях фасонних елементів для герметизації необхідно наносити герметик-силіконовий.

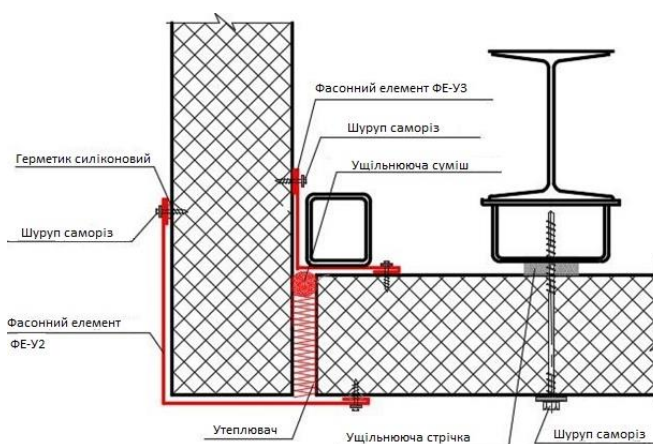
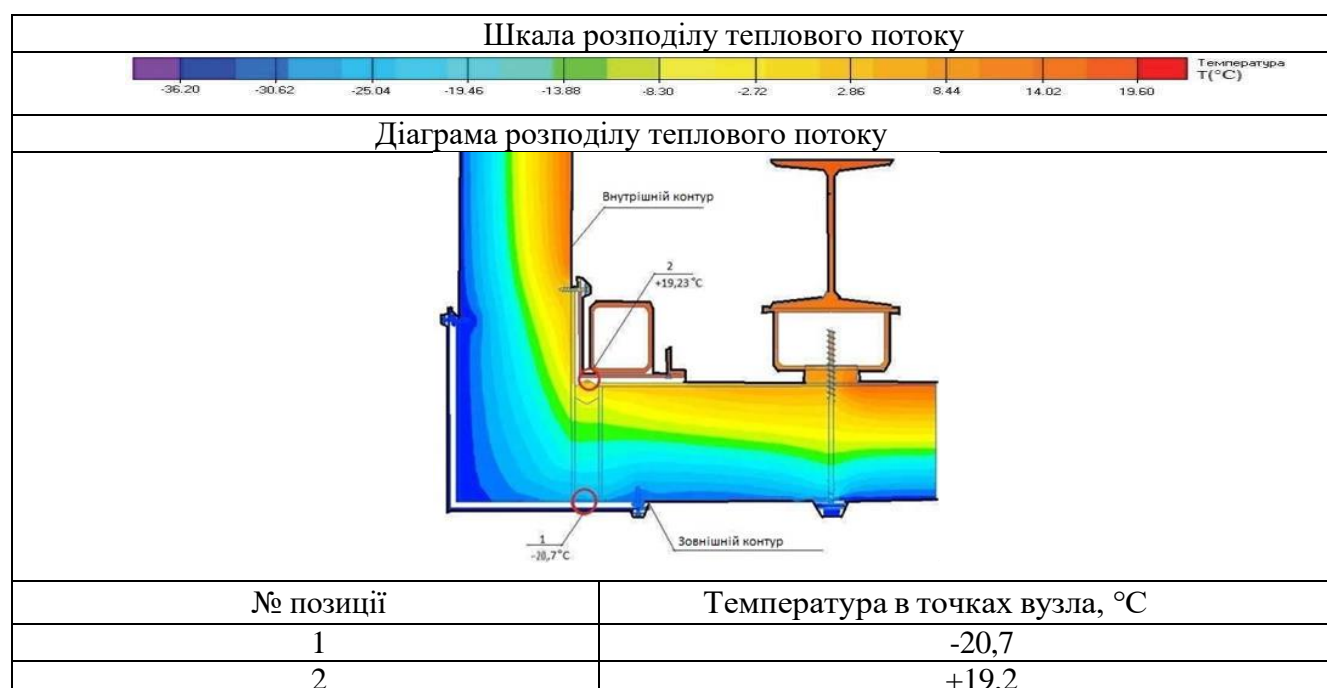


Рисунок 2.12 - Кутове з'єднання стінових сендвіч-панелей

За результатами комп'ютерного моделювання температурних полів кутового з'єднання стінових сендвіч-панелей, наведених у таблиці 2.18, виявлено, що температура зовнішнього контуру в з'єднанні стінових сендвіч-панелей становить $-20,7$ °C (таблиця 2.18, точка 1), що досить наближено до розрахункового значення температури зовнішнього повітря ($-20,0$ °C). З цього випливає, що в з'єднанні стінових сендвіч-панелей тепловтрати відсутні, що підтверджує ефективність утеплення і герметизації стику.

Таблиця 2.18 - Результати комп'ютерного моделювання температурних полів кутового з'єднання стінових сендвіч-панелей



На рисунку 2.13 показано вузол конструкції карниза при внутрішньому вирішенні водостоку. Стик між стіною сендвіч-панеллю і покрівельною сендвіч-панеллю заповнюється утеплювачем. З внутрішньої частини стику заповнюється ущільнювальною масою (мастикою). З внутрішньої частини з'єднань кріпиться фасонний елемент ФЕ-К1, із зовнішньої частини з'єднання кріпиться фасонний елемент ФЕ-К5. Фасонні елементи кріпляться до сендвіч-панелей за допомогою самозасвердлювальних шурупів.

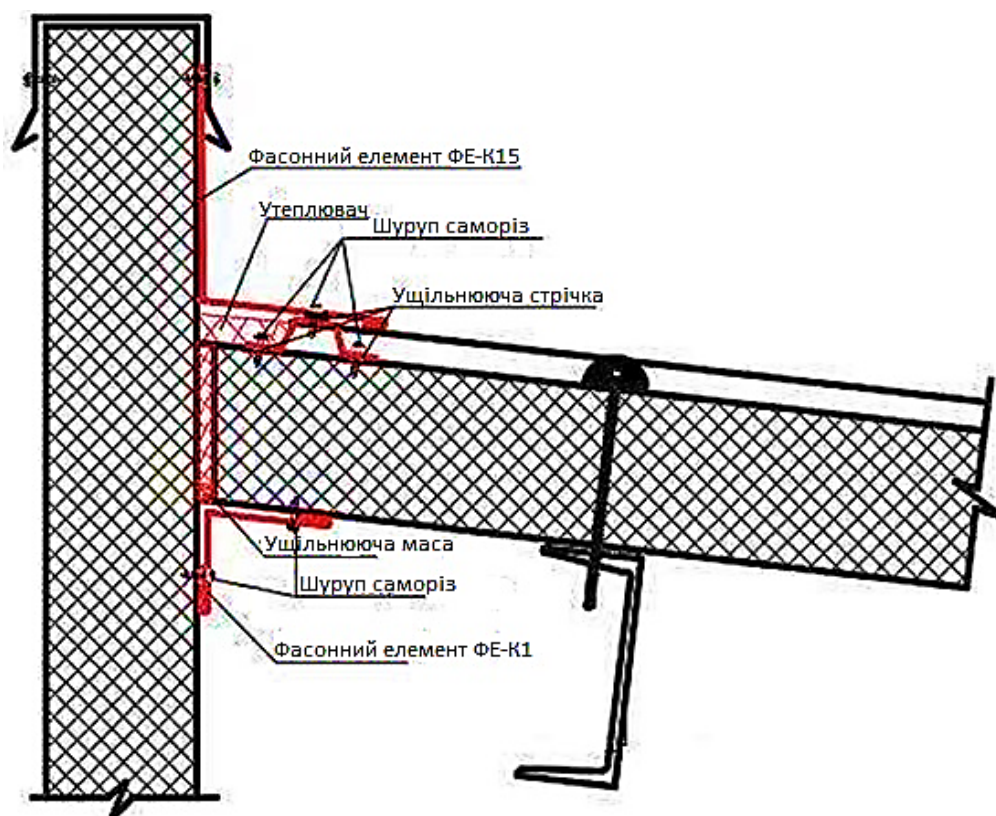
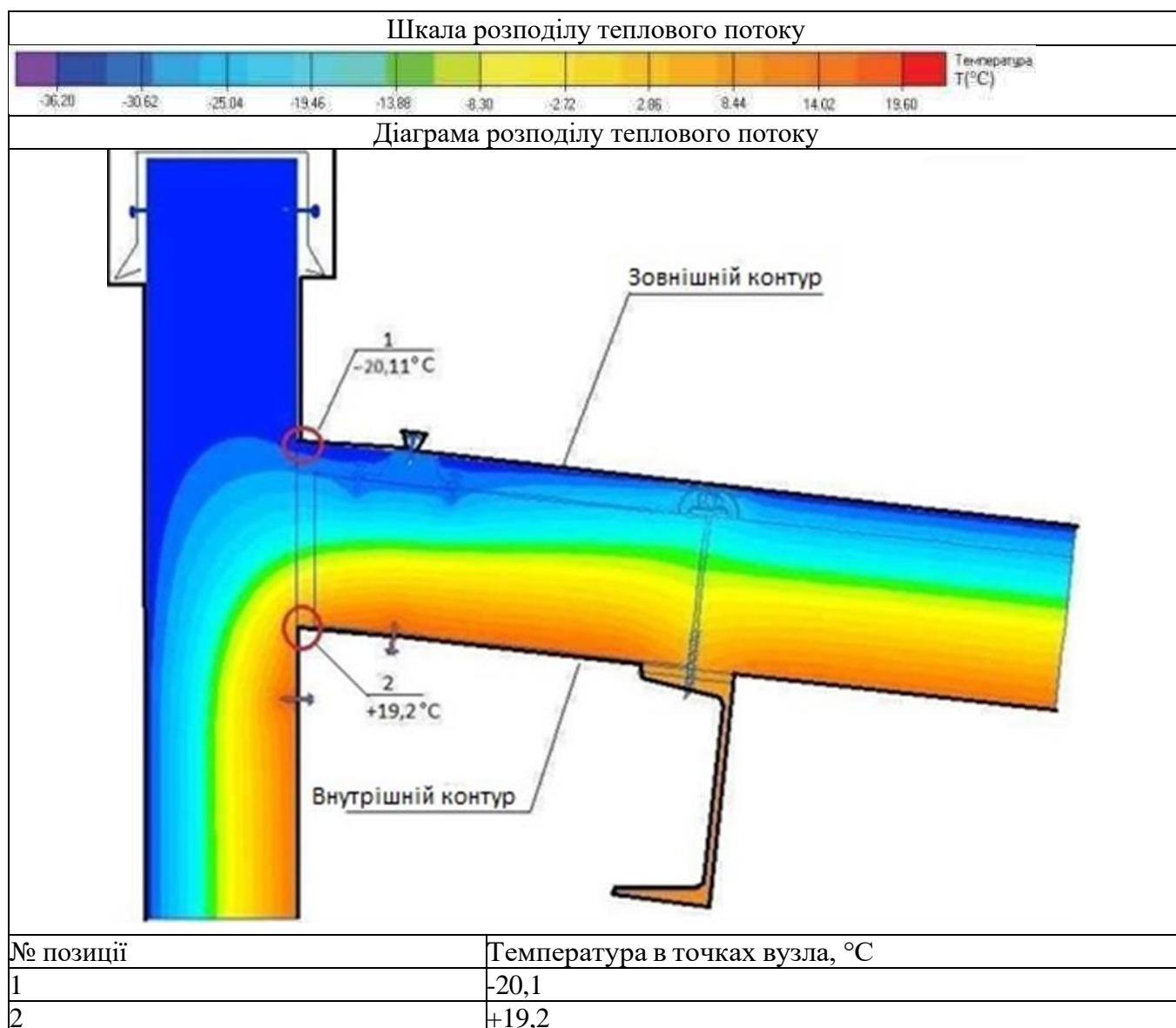


Рисунок 2.13 - Конструкція карниза при внутрішньому вирішенні водостоку

За результатами комп'ютерного моделювання температурних полів конструкції карниза за внутрішнього рішення водостоку, представлених у таблиці 24, виявлено, що температура зовнішнього контуру в з'єднанні сендвіч-панелей становить $-20,1\text{ }^{\circ}\text{C}$ (таблиця 2.19 точка 1), що є досить ближчим до розрахункового значення температури зовнішнього повітря ($-20,0\text{ }^{\circ}\text{C}$). З цього випливає, що в конструкції карниза тепловтрати відсутні, що підтверджує ефективність утеплення і герметизації стику.

Таблиця 2.19 - Результати комп'ютерного моделювання температурних полів конструкції карниза за внутрішнього рішення водостоку



На рисунку 2.14 показано коньковий вузол для покрівлі з ухилом 10%. Стик між покрівельними сендвіч-панелями заповнюють утеплювачем або водонепроникною поліуретановою прокладкою, також з внутрішньої частини з'єднання потрібно вставити ущільнювальну масу (приміром, мастику). З внутрішньої частини вузлового з'єднання кріпиться фасонний елемент ФЕ- К19, із зовнішньої частини кріпиться фасонний елемент ФЕ-К18. Фасонні елементи кріпляться за допомогою самозасвердлювальних шурупів з використанням герметика для зовнішнього застосування. у місцях кріплення покрівельної сендвіч-панелі до прогону необхідно покласти ущільнювальну стрічку.

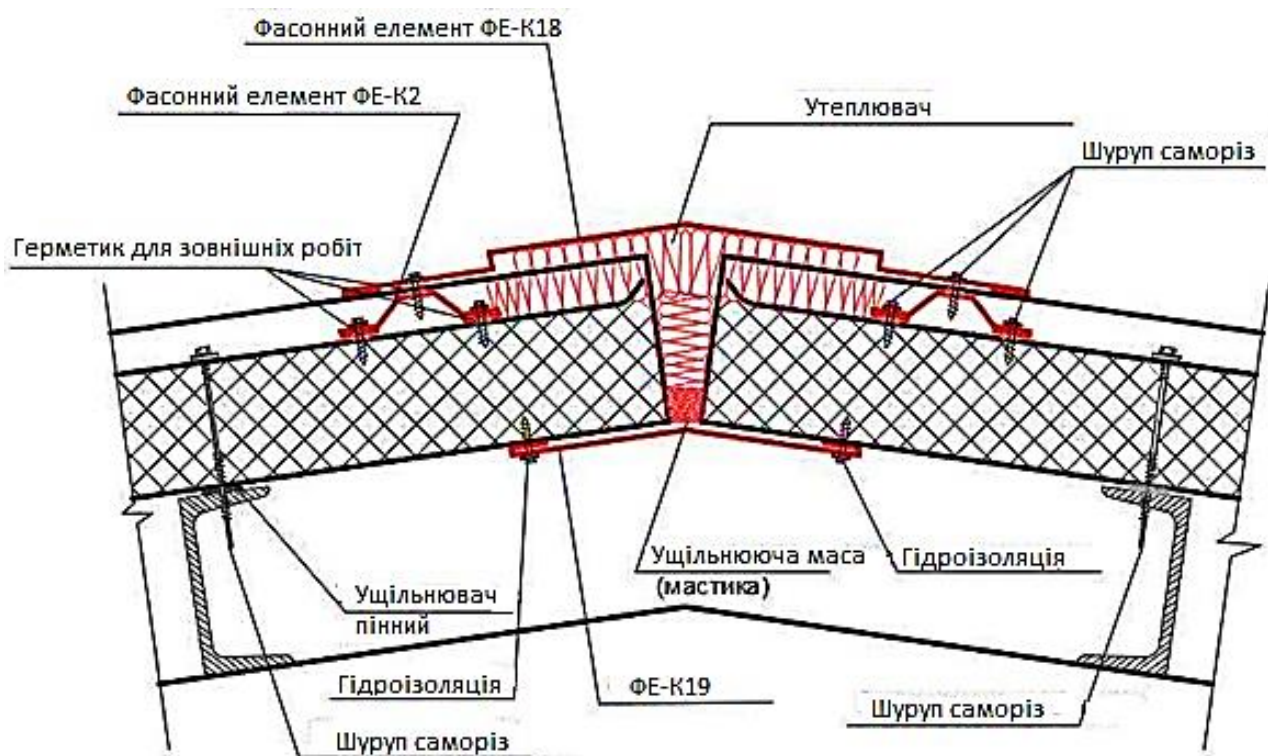


Рисунок 2.14 - Коньковий вузол для покрівлі з ухилом 10%

За результатами комп'ютерного моделювання температурних полів гребеневого вузла для покрівлі з ухилом 10%, представлених у таблиці 2.20, виявлено, що температура зовнішнього контуру в з'єднанні покрівельних сендвіч-панелей становить $-20,3\text{ }^{\circ}\text{C}$ (таблиця 2.20, точка 1), що досить ближче до розрахункового значення температури зовнішнього повітря ($-20,0\text{ }^{\circ}\text{C}$). З цього випливає, що в конструкції гребеневого вузла тепловтрати відсутні, що підтверджує ефективність утеплення і герметизації стику.

На рисунку 2.15 показано вузол конструкції карниза при зовнішньому вирішенні водостоку. Між стіною сендвіч-панеллю і покрівельною панеллю до утеплення використовувалася монтажна піна, після доопрацювання вузла між стіною сендвіч-панеллю і покрівельною панеллю використовується утеплювач і ущільнювальна маса. З зовнішньої частини з'єднання лягає ущільнювальна маса (мастика) з внутрішньої і зовнішньої частини з'єднання кріпляться фасонні елементи ФЕ-К1. Фасонні елементи кріпляться за допомогою самозасвердлювальних шурупів з використанням герметика для зовнішнього застосування, в місцях кріплення покрівельної сендвіч-панелі до прогону

необхідно покласти ущільнювальну стрічку для виключення деформації від навантаження.

Таблиця 2.20 - Результати комп'ютерного моделювання температурних полів конькового вузла для покрівлі з ухилом 10%

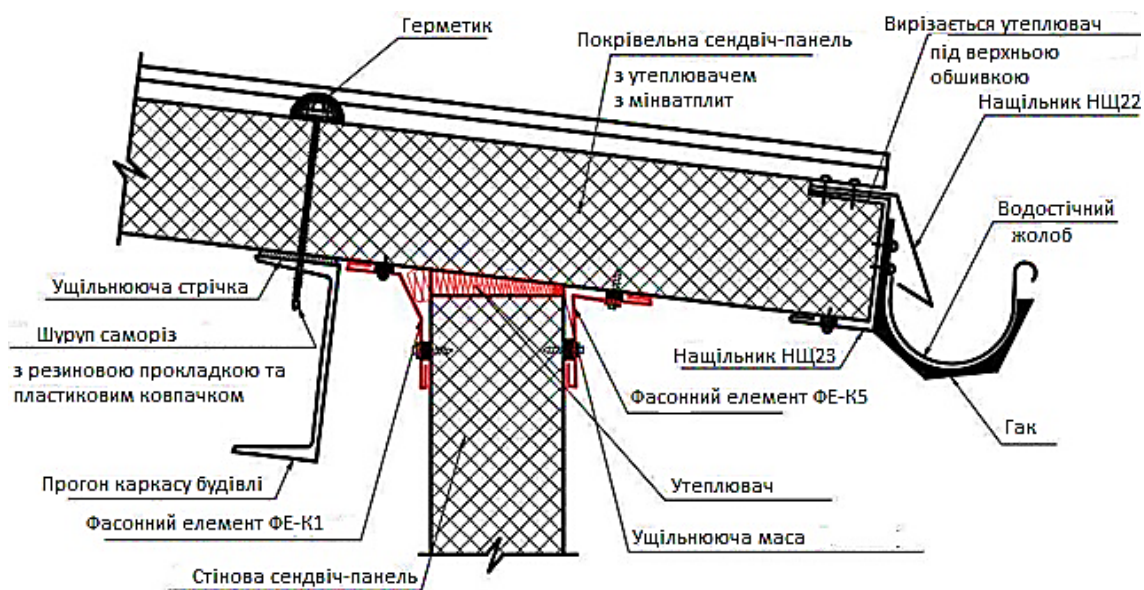
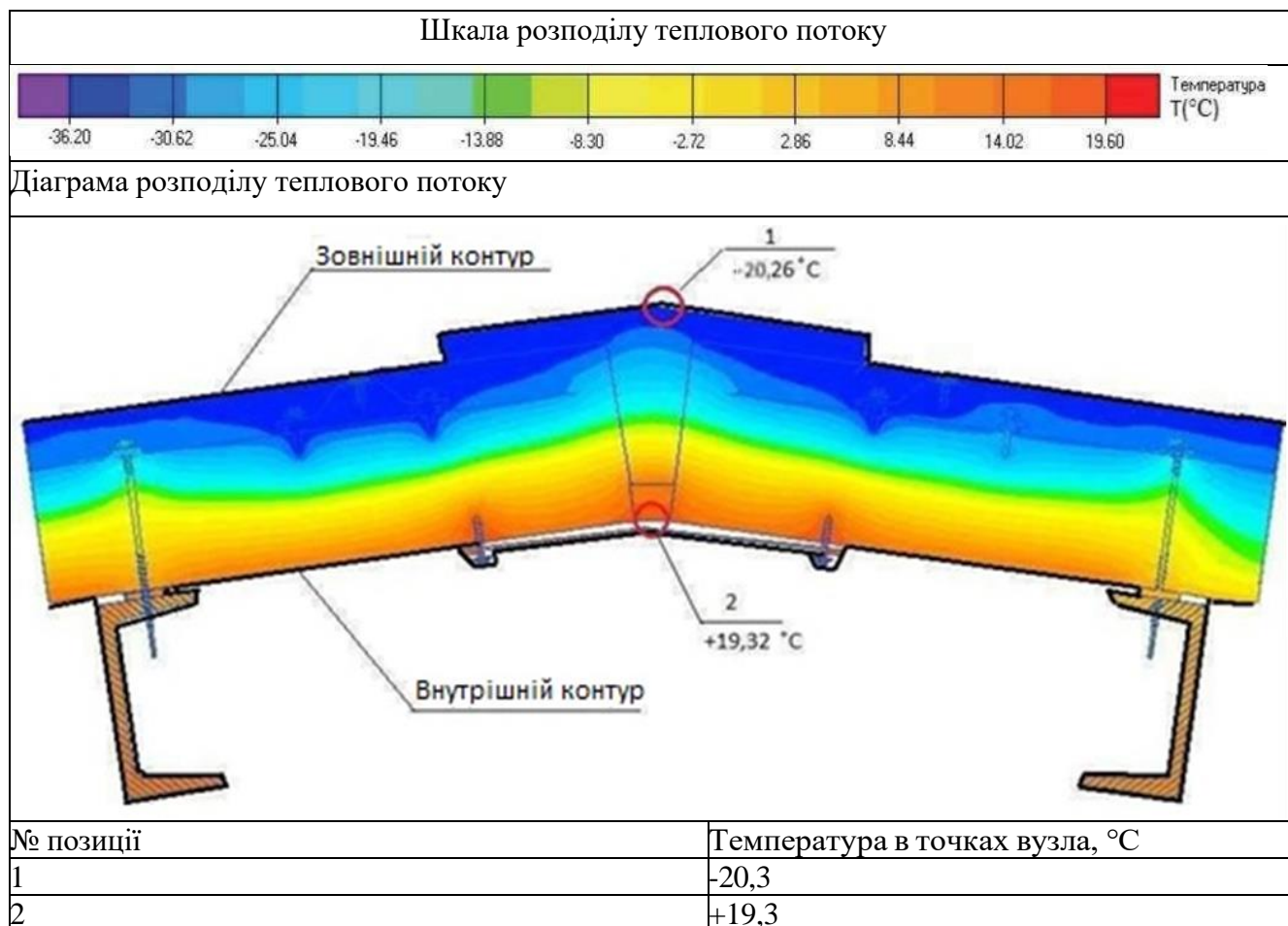
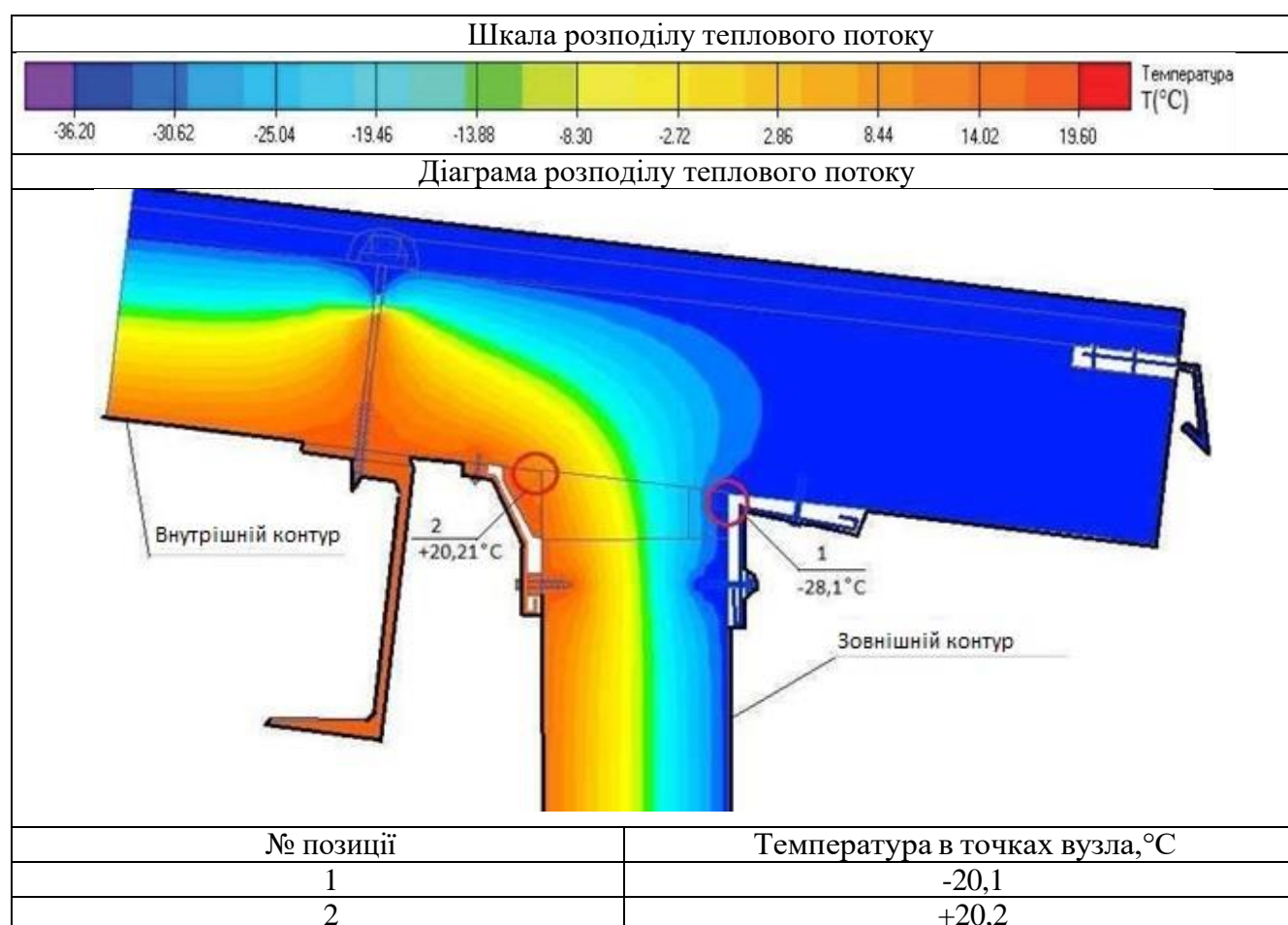


Рисунок 2.15 - Конструкція карниза при зовнішньому вирішенні водостоку

За результатами комп'ютерного моделювання температурних полів конструкції карниза за зовнішнього рішення водостоку, представлених у таблиці 2.21, виявлено, що температура зовнішнього контуру в з'єднанні сендвіч-панелей становить $-20,1\text{ }^{\circ}\text{C}$ (таблиця 2.21, точка 1), що досить ближче до розрахункового значення температури зовнішнього повітря ($-20,0^{\circ}\text{C}$). З цього випливає, що в конструкції гребеневого вузла тепловтрати відсутні, що підтверджує ефективність утеплення і герметизації стику.

Таблиця 2.21 - Результати комп'ютерного моделювання температурних полів конструкції карниза за зовнішнього рішення водостоку



На рисунку 2.16 показано вузол обпирання стінової сендвіч-панелі на цоколь будівлі. Між стіною сендвіч-панеллю і цокольною частиною фундаменту до утеплення використовували монтажну піну, після доопрацювання вузла між стіною сендвіч-панеллю та цокольною частиною фундаменту

використовують фасонний елемент ФЕ-Ц2 і водонепроникну поліуретанову прокладку, тим самим ці елементи не дають тепловому повітрю виходити назовні. Фасонний елемент ФЕ-Ц2 кріпиться до цоколя будівлі на дюбель. Стик між стіною сендвіч-панеллю і цоколем будівлі заповнюється утеплювачем. З внутрішньої частини стику заповнюється ущільнювальною масою (мастикою).

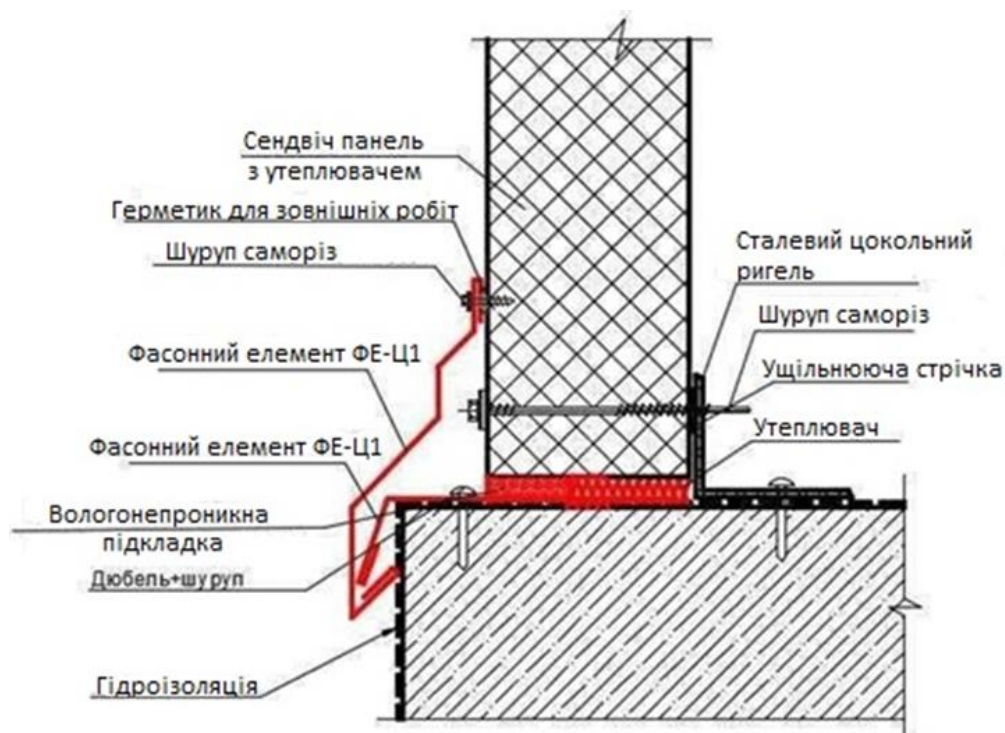
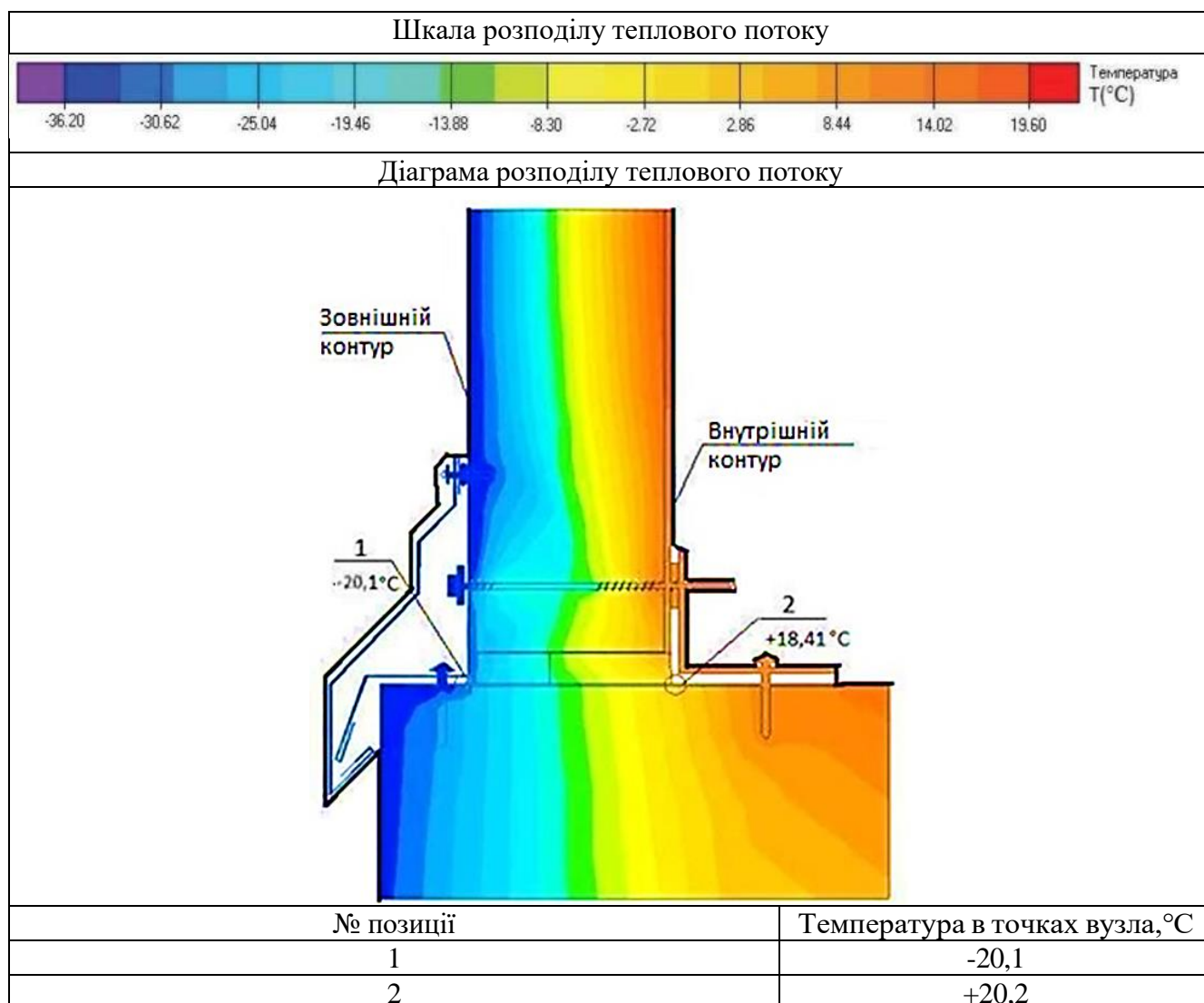


Рисунок 2.16 - Вузол обпирання стінової сендвіч-панелі на цоколь будівлі

За результатами комп'ютерного моделювання температурних полів вузла обпирання стінової сендвіч-панелі на цоколь будівлі, наведених у таблиці 2.22, виявлено, що температура зовнішнього контуру в з'єднанні стінових сендвіч-панелей становить $-20,1$ °C (таблиця 2.22, точка 1), що досить наближено до розрахункового значення температури зовнішнього повітря ($-20,0$ °C). З цього випливає, що в конструкції гребеневого вузла тепловтрати відсутні, що підтверджує ефективність утеплення і герметизації стику.

Таблиця 2.22 - Результати комп'ютерного моделювання температурних полів вузла обпирання стінової сендвіч-панелі на цоколь будівлі



2.5 Порівняння результатів чисельних досліджень

У таблицях 2.23, 2.24 подано результати розрахунку в програмному комплексі Elcut.

Таблиця 2.23- Результати температур поверхонь типових вузлів

Модель	Температура поверхні по зовнішньому контуру в з'єднанні сендвіч-панелей ($T_3 = -17\text{ °C}$)	Температура поверхні по внутрішньому контуру в з'єднанні сендвіч-панелей ($T_в = +20\text{ °C}$)
Вузол 1	-17,2	+18,2
Вузол 2	-12,4	+15,1
Вузол 3	-17,2	+19,4

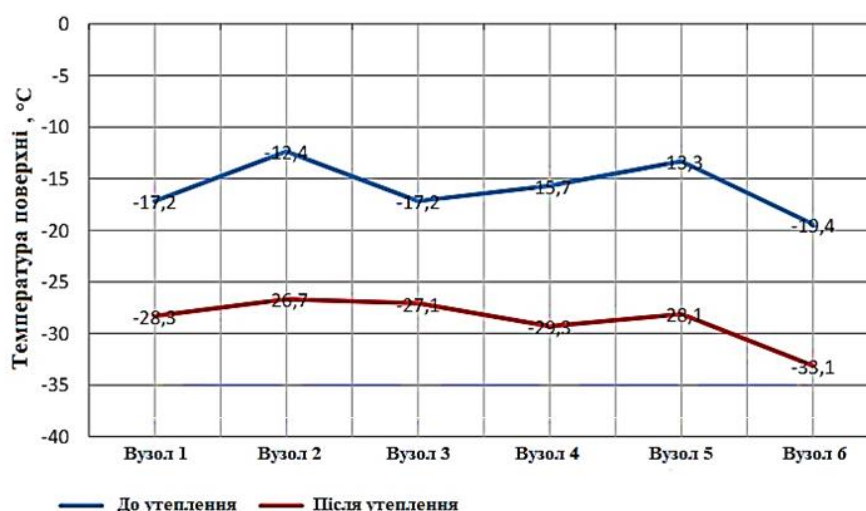
Продовження таблиці 2.23

Модель	Температура поверхні по зовнішньому контуру в з'єднанні сендвіч-панелей ($T_3 = -17\text{ °C}$)	Температура поверхні по внутрішньому контуру в з'єднанні сендвіч-панелей ($T_B = +20\text{ °C}$)
Вузол 4	-15,7	+18,8
Вузол 5	-13,3	+20,4
Вузол б	-19,4	+18,4

Таблиця 2.24 - Результати температур поверхонь вузлів після утеплення

Модель	Температура поверхні по зовнішньому контуру в з'єднанні сендвіч-панелей ($T_H = -17\text{ °C}$)	Температура поверхні по внутрішньому контуру в з'єднанні сендвіч-панелей ($T_B = +20\text{ °C}$)
Вузол 1	-28,3	+20,7
Вузол 2	-26,7	+19,2
Вузол 3	-27,1	+19,2
Вузол 4	-29,3	+19,3
Вузол 5	-28,1	+20,2
Вузол б	-33,1	+18,4

На рисунку 2.17 видно, що значення температур поверхні зовнішнього контуру в з'єднанні сендвіч-панелей після утеплення значно знизилася, порівняно з розрахунковою температурою зовнішнього контуру ($T_3 = -17\text{ °C}$).

Рисунок 2.17 - Графік температур поверхонь по зовнішньому контуру в з'єднаннях сендвіч-панелей ($T_3 = -20\text{ °C}$)

Також на рисунку 2.18 видно, що значення температур поверхні внутрішнього контуру в з'єднанні сендвіч-панелей після утеплення збільшилося, порівняно з розрахунковою температурою внутрішнього контуру ($T_{в} = +20\text{ }^{\circ}\text{C}$).

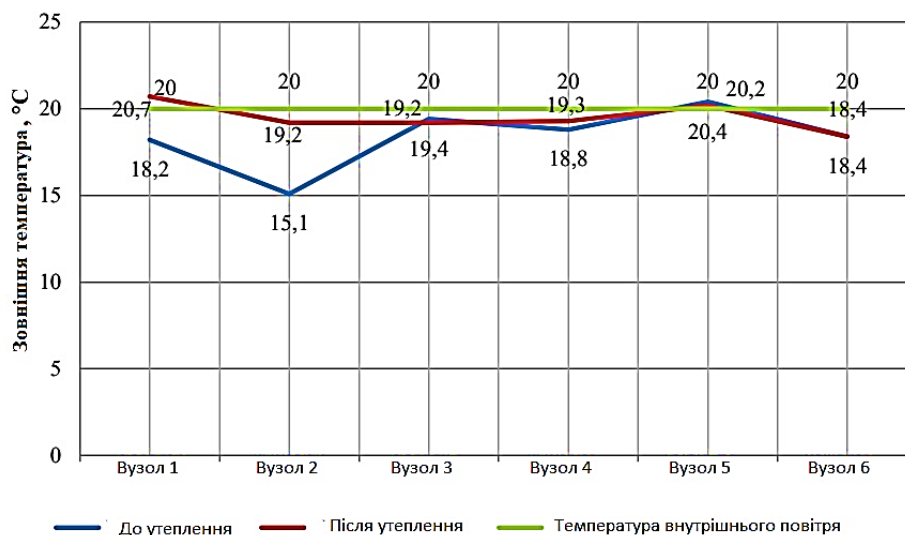


Рисунок 2.18 - Графік температур поверхні по внутрішньому контуру в з'єднаннях сендвіч-панелей ($T_{в} = +20\text{ }^{\circ}\text{C}$)

З результату розрахунку виявлено, що найефективніше використовувати в сполученнях сендвіч-панелей утеплювач з водонепроникною поліуретановою прокладкою, а також усі елементи кріплення промащувати герметиком - силіконовим для повної герметизації швів.

2.6 Висновки за результатами дослідження

Аналіз отриманих результатів експериментально-теоретичного дослідження вузлових сполучень сендвіч-панелей дають змогу зробити низку висновків.

Результати обстеження фасадної частини експлуатованих об'єктів засвідчили, що в з'єднаннях огорожувальних конструкцій із сендвіч-панелей температура поверхні панелей вища на 3-4 градуси, ніж основна частина фасаду.

Під час розрахунку в програмному комплексі Elcut Professional виявлено,

що величина зовнішньої огорожувальної конструкції у вузлових з'єднаннях сендвіч-панелей у середньому дорівнює -18.3 °С, температура зовнішнього повітря, прийнята для розрахунку, -20 °С, що свідчить про те, що у вузлах відбуваються тепловтрати.

Під час детального аналізу вузлів виявлено, що в місцях з'єднаннях сендвіч-панелей використовується монтажна піна. За результатами розрахунку в програмному комплексі виявилось, що зміни температурного потоку відбуваються саме у вузлових стиках сендвіч-панелей, слід зазначити, що в цих місцях використовується монтажна піна. Під час розрахунку на визначення залежності між коефіцієнтами теплопровідності монтажної піни та температурою поверхні вузлових з'єднань сендвіч-панелей у програмному комплексі Elcut, виявлено, що під час збільшення коефіцієнта теплопровідності монтажної піни за рахунок структурних змін характеристик, які відбуваються у матеріалі, збільшуються тепловтрати в місцях сполучення сендвіч-панелей, тим самим зменшується термін довговічності вузлового сполучення. Зважаючи на це, термін експлуатації будівлі, заявлений проєктувальниками, імовірно, зменшується у 2-3 рази.

Виявлено, що після утеплення вузлів з'єднань сендвіч-панелей мінеральною ватою та ущільнювальною масою для герметизації стиків, температура зовнішнього і внутрішнього контуру наблизилася до нормативної температури, що свідчить про відсутність тепловтрат.

РОЗДІЛ 3

ШЛЯХИ УСУНЕННЯ ДЕФЕКТІВ І ПОШКОДЖЕНЬ СЕНДВІЧ- ПАНЕЛЕЙ В ЕКСПЛУАТОВАНИХ БУДІВЛЯХ

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

Як зазначено в другому розділі, вузли з'єднань стінових панелей між собою; вузли конструкції покрівлі; обпирання стінової сендвіч-панелі на цоколь будівлі необхідно утеплювати, оскільки в місцях з'єднань сендвіч-панелей використовують монтажну піну, за рахунок чого з'являються тепловтрати в будівлі.

У каркасних будівлях із теплоізоляцією з мінераловатних і скловолокнистих плит в умовах підвищеної інфільтрації велике значення має герметичність зовнішньої оболонки будівлі. З урахуванням цих ознак, автор рекомендує забезпечувати герметичність швів вітрогідрозахисною і пароізоляційною мембраною, а також створювати щільне з'єднання повітронепроникних поверхонь різних будівельних конструкцій між собою. Особливу увагу під час зведення стінових огорожувальних конструкцій слід приділяти проклеюванню мембрани біля притворів вікон і дверей, а також у місцях замкового з'єднання сендвіч-панелей.

Підвищення теплозахисних якостей стінових огорожувальних конструкцій полягає у збільшенні їхнього опору теплопередачі до нормативних значень, що діють у даний час. Це досягається утепленням стін теплоізоляційними матеріалами, які повинні захищатися від зовнішніх впливів захисно-декоративним шаром, здатним у разі потреби зберегти або поліпшити архітектурно-художній вигляд будівлі або приміщення. Також слід зазначити, що при збільшенні кількості кріпильних елементів у вузлах, також збільшується міцність вузлових з'єднань.

З розрахунків у пп 2.4 було доведено, що набагато вигідніше використовувати в стиках сендвіч-панелей утеплювач із мінеральної вати та

ущільнювальну масу для герметизації стику, що істотно скорочує тепловтрати з приміщень у навколишнє середовище.

Для усунення в процесі будівництва або експлуатації зім'яття сендвіч-панелей на опорах, відшарування утеплювача від сталевих листів панелі необхідно використовувати певні кріпильні елементи, як-от болти, монтажні дюбелі, заклепки, і водночас забезпечувати герметичність швів.

Застосування болтів у царині з'єднань сендвіч-панелей не набуло широкого застосування внаслідок невеликої технологічності таких з'єднань порівняно з гвинтовими і заклепувальними, внаслідок таких причин:

1. необхідність точного виконання отворів на заводі;
2. застосування болтів малих діаметрів, зважаючи на малу товщину деталей, що з'єднуються, і відсутність на ринку механізованого інструменту для їхнього монтажу;
3. необхідності забезпечення двостороннього доступу до конструкції в процесі монтажу.

Застосування монтажних дюбелів для порохових і пневматичних монтажних пістолетів під час з'єднання елементів вирізняється високою швидкістю монтажу, особливо в разі використання стрічкової подачі патронів і дюбелів, однак при цьому необхідна висока кваліфікація монтажника і дотримання спеціальних заходів техніки безпеки. Також необхідно зазначити, що вартість монтажного дюбеля і патрона вища за вартість гвинтів і витяжних заклепок. Істотним недоліком застосування монтажних дюбелів є неможливість забезпечення міцного з'єднання тонколистового матеріалу з базовим листом завтовшки менше 2 мм.

Застосування заклепок зумовлене низкою переваг порівняно з іншими типами з'єднань. При застосуванні заклепок виходить більш щільне, герметичне з'єднання, відповідно підвищується несуча здатність на зсув; значно менша вартість; велика різноманітність застосовуваного інструменту для встановлення заклепок: ручний, пневматичний, акумуляторний; простота встановлення, доступ до сполучних елементів потрібен тільки з одного боку.

Застосування прес з'єднань і з'єднань типу "Розетт", за яких з'єднання утворюється за допомогою продавлювання з подальшим розвальцьовуванням сталевго листа деталей, що з'єднуються, доцільно в умовах з'єднання елементів каркаса на заводі з виробництва готових комплектів металокопструкцій з подальшим укрупнювальним збиранням на будівельному майданчику за допомогою інших типів з'єднань. Подібні типи з'єднань вирізняє невисока вартість, проте виконання цих з'єднань в умовах будмайданчика і на висоті неможливе. З'єднання сендвіч-панелей на витяжні заклепки і самонарізні гвинти набули найбільшого поширення. З'єднання вирізняють висока технологічність, можливість застосування мобільного, зокрема акумуляторного інструменту, невелика енерговитратність, незалежність від кліматичних умов, відсутність потреби у високій кваліфікації монтажників, однобічність застосування кріплення (можливість вести монтаж з одного боку) а також невелика вартість з'єднання.

На рисунку 3.1 представлено вид з'єднання типу "Розетт" сендвіч-панелей на гвинти, що самонарізаються, з герметизацією стику.

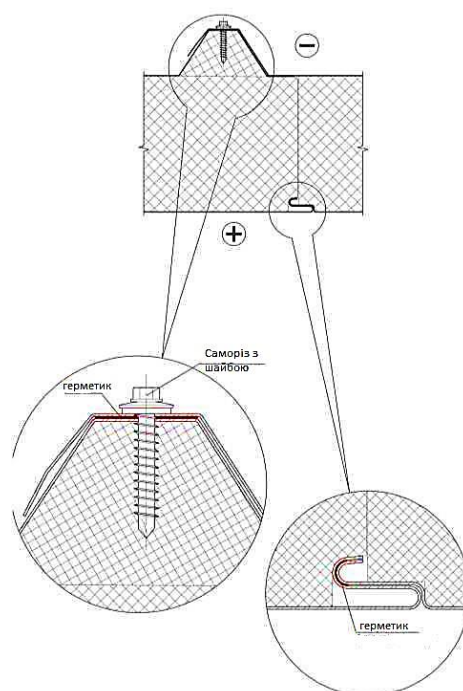


Рисунок 3.1 - З'єднання типу "Розетт" сендвіч-панелей на гвинти-самонарізні з герметизацією стику

З перерахованого вище випливає, що найефективніше використовувати заклепувальне з'єднання сендвіч-панелей, тому що завдяки такому з'єднанню отвори будуть герметичні, а з'єднання сендвіч-панелей щільніше, унаслідок цього волога не буде потрапляти в утеплювач, тим самим зменшуючи ймовірність випинання або розшарування утеплювача в сендвіч-панелях. Також за рахунок пневматичного встановлення заклепувального з'єднання можливо уникнути перетягування або недотягування кріплень, тим самим можна збільшити несучу здатність сендвіч-панелі.

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

З метою забезпечення необхідної якості монтажу сендвіч-панелей монтажні-складальні роботи повинні піддаватися контролю на всіх стадіях їх виконання. Виробничий контроль підрозділяється на вхідний, операційний (технологічний), інспекційний і приймальний. Контроль якості виконуваних робіт повинні здійснювати фахівці і спеціальні служби, оснащені технічними засобами, що забезпечують необхідну достовірність і повноту контролю, і 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 їхнє виготовлення і робочих креслень.

До проведення монтажних робіт сендвіч-панелі, з'єднувальні деталі, арматура і засоби кріплення, що надійшли на об'єкт, повинні бути піддані вхідному контролю. Кількість виробів і матеріалів, що підлягають вхідному контролю, має відповідати нормам, наведеним у технічних умовах і стандартах.

Вхідний контроль проводиться з метою виявлення відхилень від цих вимог. Вхідний контроль панелей, що надходять, здійснюється зовнішнім оглядом і шляхом перевірки їхніх основних геометричних розмірів, наявності закладних деталей, відсутності пошкоджень лицьової поверхні панелей. Необхідно також

упевнитися, що небетоновані сталеві закладні деталі мають захисне антикорозійне покриття. Заставні деталі, монтажні петлі та стропувальні отвори мають бути очищені від бетону. Кожен виріб повинен мати маркування, виконане незмивною фарбою.

Сендвіч-панелі, з'єднувальні деталі, а також засоби кріплення, що надійшли на об'єкт, повинні мати супровідний документ (паспорт), у 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 в Журнал обліку вхідного контролю матеріалів і конструкцій.

У процесі монтажу необхідно проводити операційний контроль якості робіт. Це дасть змогу своєчасно виявити дефекти і вжити заходів щодо їх усунення та запобігання. Контроль проводиться під керівництвом майстра, виконроба відповідно до Схеми операційного контролю якості. Не допускається застосування не передбачених проектом підкладок для вирівнювання монтованих елементів за відмітками без узгодження з проектною організацією.

Під час операційного (технологічного) контролю слід перевіряти відповідність виконання основних виробничих операцій з монтажу вимогам, установленим будівельними нормами і правилами, робочим проектом і нормативними документами. Результати операційного контролю повинні бути зареєстровані в Журналі робіт з монтажу будівельних конструкцій.

РОЗДІЛ 4

ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

4.1 Охорона праці

Охорона праці – це зведення законодавчих актів і правил, відповідних їм гігієнічних, організаційних, технічних та соціально-економічних заходів, що забезпечують безпеку, збереження здоров'я та працездатність людини в процесі праці. Організація будівельного майданчика, ділянки робіт та робочих місць повинна забезпечувати безпеку праці працюючих на всіх етапах виконання робіт.

Вирішення питань про охорону праці та здоров'я трудящих на будівельному майданчику є найважливішим завданням. При вирішенні завдань необхідно чітко представляти сутність процесів і відшукати способи (найбільш підходящі до кожного конкретного випадку), що усувають вплив на організм шкідливих і небезпечних факторів і унеможливають травматизм і професійні захворювання.

4.1.1 Інженерні рішення з охорони праці

Проектом передбачені інженерні рішення з техніки безпеки будівельно-монтажних та супутніх допоміжних робіт.

При виробництві будівельно-монтажних робіт необхідно дотримуватись вимог [39]. Чинна система охорони праці (трудове законодавство, виробнича санітарія та техніка безпеки) забезпечує належні умови праці робітникам-будівельникам, підвищення культури виробництва, безпеку робіт та їх полегшення, що сприяє підвищенню продуктивності праці. Створення безпечних умов праці у будівництві тісно пов'язане з технологією та організацією виробництва. Відповідальність за безпеку робіт покладено у законодавчому порядку на технічних керівників будівель – головних інженерів та інженерів з охорони праці, виробників робіт та будівельних майстрів. Керівники будівництва зобов'язані організувати планування заходів з охорони праці та протипожежної техніки та забезпечити проведення цих заходів у встановлені терміни.

Поліпшення організації виробництва, створення на будівельному майданчику умов праці, що усувають виробничий травматизм, професійні захворювання та забезпечують нормальні санітарно-побутові умови – одне з найважливіших завдань, від успішного вирішення якого залежить подальше підвищення продуктивності праці на забудовах.

До обов'язків адміністрації будівельних організацій з охорони праці входять:

- дотримання правил охорони праці, здійснення заходів з техніки безпеки та виробничої санітарії;

- розробка перспективних планів та угод колективних договорів щодо покращення та оздоровлення умов праці;

- забезпечення працюючих спецодягом, спецвзуттям, засобами індивідуального захисту;

- проведення інструктажів та навчання робочих правил техніки безпеки;

- організація пропаганди безпечних методів праці, забезпечення будівельних об'єктів плакатами, запобіжними написами тощо;

- організація навчання та щорічної перевірки знань, правил та норм охорони праці інженерно-технічного персоналу;

- проведення медичних оглядів осіб, зайнятих на роботах із підвищеною небезпекою та шкідливими умовами;

- розслідування всіх нещасних випадків та профзахворювань, що сталися на виробництві, а також їх облік та аналіз;

- ведення документації та перевірка встановленої звітності з охорони праці;

- видання наказів та розпоряджень з питань охорони праці.

Загальне керівництво робіт з техніки безпеки та виробничої санітарії, а також відповідальність за її стан покладається на керівників (начальників та головних інженерів) будівельних організацій.

4.2 Безпека в надзвичайних ситуаціях

4.2.1 Законодавча база України

Основу нормативно-правової бази в сфері цивільної оборони, захисту населення і території від наслідків надзвичайних ситуацій складають: Кодекс цивільного захисту України, закони «Про війська цивільної оборони», «Про аварійно-рятувальні служби»; укази Президента України «Про Концепції захисту населення і територій у випадку загрози і виникнення НС» і Положення «Про міністерство України з питань НС і в справах захисту населення від наслідків Чорнобильської катастрофи», постанови Кабінету Міністрів України про затвердження «Положення про цивільну оборону України», «Про єдину державну систему попередження і реагування на НС техногенного і природного характерів», «Положення про керування з питань НС і цивільного захисту населення обласних і міських державних адміністрацій» та інші нормативні акти.

4.2.2 Заходи при землетрусі

Землетруси починаються раптово і охоплюють значні території. Руйнування будівель, зсуви і обвали крутих схилів є головними причинами людських жертв і великих матеріальних збитків при сильних землетрусах. Сейсмічними вважають райони, де зареєстровані або теоретично очікувані землетруси у 6 балів та вище. Основні вимоги до будівництва у сейсмічних районах зведено до вжиття таких заходів:

1. Вибір ділянки для будівництва.
2. Вибір конструктивного рішення (КР) та об'ємно-планувального рішення (ОПР).
3. Забезпечення високої якості будівництва.
4. Поділ будівель і споруд антисейсмічними швами.

Будівельні майданчики під населені пункти і споруди обираються з урахуванням геологічних даних, якнайдалі від можливих або явних розривних порушень, далеко від крутих схилів, що загрожують обвалами і зсувами. Неприятливими для будівництва вважають пухкі ґрунти і тріщинуваті породи. При виборі ділянки для забудови враховують такі поняття як сейсмостійкість будівельних об'єктів та сейсмічність будівельного майданчика. Сейсмостійкістю називають здатність ґрунтів, будівель і споруд протистояти сейсмічним впливам. Заходи з підвищення сейсмостійкості будівель застосовуються у районах із сейсмічністю у 7 балів і вище. Нормативне обґрунтування цих заходів здійснюється за «ДБН В.1.112:2006. Будівництво у сейсмічних районах України». За сейсмічності більше 9 балів зведення капітальних будівель заборонено.

4.3 Висновки до розділу 4

У цьому розділі було розглянуто безпеку в надзвичайних ситуаціях з фокусом на землетрусі.

Оскільки, землетруси є однією з найбільш небезпечних природних катастроф, які можуть призвести до значних матеріальних збитків та загибелі людей. Однак, певні заходи можуть бути прийняті, щоб зменшити ризик втрати життя та матеріальних збитків.

Було розглянуто заходи, які можуть бути прийняті в разі землетрусу. Вони включають в себе пошук безпечного місця, прикриття голови та шиї твердим предметом, уникнення ліфтів та швидкого виходу з будівлі.

Було розглянуто системи сейсмозахисту будівель, які можуть допомогти зменшити ризик матеріальних збитків та загибелі людей. Ці системи включають в себе ізолятори, амортизатори та інші системи, які можуть допомогти зменшити вібрації та поглинати енергію землетрусу.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

У роботі розглянуто питання, пов'язані з теоретичним і експериментальним вивченням дефектів, пов'язаних із тепловтратами в експлуатованих будівлях з огорожувальними конструкціями з сендвіч-панелей.

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

У результаті проведених досліджень отримано такі результати та зроблено такі висновки:

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

Отримані результати розрахунку в програмному комплексі Elcut Professional підтверджують наявність тепловтрат у вузлах сполучень панелей і дають змогу визначити, завдяки чому з погляду енергоефективності відбуваються тепловтрати у вузлових з'єднаннях огорожувальних конструкцій із сендвіч-панелей в експлуатованих будівлях. Згідно з розрахунком у вузлових з'єднаннях сендвіч-панелей відбуваються тепловтрати завдяки застосуванню у вузлах монтажної піни, оскільки, можливо, використовується не якісний матеріал під час заповнення стиків, також у процесі експлуатації або в процесі будівництва можливе проникнення вологи або ультрафіолетового світла у вузлові з'єднання сендвіч-панелей, тим самим погіршуючи якість монтажної піни.

Отримано залежність між коефіцієнтом теплопровідності монтажної піни і температурою поверхонь у місцях сполучень і кріплень сендвіч-панелей. З результату розрахунку виявлено, що в разі збільшення коефіцієнта теплопровідності монтажної піни збільшуються тепловтрати в місцях сполучення сендвіч-панелі, тим самим зменшується термін експлуатації будівлі у 2-3 рази.

Запропоновано практичні рекомендації щодо усунення дефектів у вузлах сполучень і кріплень сендвіч-панелях.

БІБЛІОГРАФІЯ

1. Ковальчук Я. О. Методичний посібник для виконання кваліфікаційної роботи магістра за спеціальністю 192 “Будівництво та цивільна інженерія” / Я. О. Ковальчук, Г. М. Крамар, О. М. Мещерякова. - Тернопіль: ТНТУ, 2020. – 56 с.
2. J.M. Davies, *Lightweight sandwich construction*, Blackwell Science, Oxford, 2001.
3. D. Zenkert, *An introduction to sandwich construction*, Engineering Materials Advisory Services, 1995.
4. O.T. Thomsen, *Theoretical and experimental investigation of local bending effects in sandwich plates*. *Composite Structures*, 30(1), 85-101, 1995.
5. E.E. Gdoutos, I.M. Daniel, K.-A. Wang, *Compression facing wrinkling of composite sandwich structures*, *Mechanics of Materials*, 35(3-6), 511-522, 2003.
6. V. Koissin, A. Shipsha, V. Skvortsov, *Effect of physical nonlinearity on local buckling in sandwich beams*, *Journal of Sandwich Structures and Materials*, 12, 477-494, 2010.
7. M.A. Stiftinger, F.G. Rammerstorfer, *Face layer wrinkling in sandwich shells – theoretical and experimental investigations*, *Thin-walled Structures*, 29(1-4), 113-127, 1997.
8. E. Lolive, J-M. Berthelot, *Non-linear behaviour of foam cores and sandwich materials, Part 2: indentation and three-point bending*, *Journal of Sandwich Structures and Materials*, 4(4), 297-352, 2002.
9. Vidwans, Aditya & Fantuzzi, Nicholas & Correia, José & Trovalusci, Patrizia. (2024). *Comparison between Stiffened Plate and Steel Aluminum Foam Sandwich Panels*. *Practice Periodical on Structural Design and Construction*. 29. 10.1061/PPSCFX.SCENG-1309.
10. Allen, H. G. 2013. *Analysis and design of structural sandwich panels: The commonwealth and international library: Structures and solid body mechanics division*. Amsterdam, Netherlands: Elsevier.
11. EU-Parliament. 2018. *Directive 2008/98/ec of the European parliament*

and of the council of 19 November 2008 on waste and repealing certain directives. Luxembourg: Official Journal of the European Union.

12. Pozorska, Jolanta & Pozorski, Zbigniew & Janik, Łukasz. (2017). Numerical simulations of structural behavior of sandwich panels subjected to concentrated static loads. *Journal of Applied Mathematics and Computational Mechanics*. 16. 113-121. 10.17512/jamcm.2017.2.09.

13. Pozorski, Zbigniew & Pozorska, Jolanta. (2016). NUMERICAL ANALYSIS OF SANDWICH PANELS SUBJECTED TO POINT LOADS. 7765-7770. 10.7712/100016.2372.4621.

14. ДРЕВНИЦЬКИЙ, В. І.; КОВАЛЬ, І. В. Теплоізоляція стіни різними ізоляційними шарами. Збірник тез доповідей ІХ Міжнародної науково-технічної конференції молодих учених та студентів „Актуальні задачі сучасних технологій“, 2020, 1: 62-62.

15. ПННЯК, О. М.; МАЦЬКІВ, О. Г.; КОВАЛЬ, Ігор Володимирович. Енергоефективність будівель. Збірник тез доповідей Х Міжнародної науково-практичної конференції молодих учених та студентів „Актуальні задачі сучасних технологій“, 2021, 1: 53-53.

16. ГАВРИЛИШИН, Р. І.; КОВАЛЬ, І. В. Вогнестійкість EPS сендвіч-панелей. Матеріали ХІІ Міжнародної науково-практичної конференції молодих учених та студентів „Актуальні задачі сучасних технологій“, 2023, 27-27.

17. Баран, Д., Шманько, Н., Томків, В., Коляса, П., & Ольшанський, А. (2021). Особливості застосування тонкостінних холодно-гнутих профілів для виготовлення несучих будівельних конструкцій. Збірник тез доповідей Х Міжнародної науково-практичної конференції молодих учених та студентів „Актуальні задачі сучасних технологій“, 1, 29-30.

18. КОРНИЦЬКИЙ, В. В.; БАРАН, Денис Ярославович. Основні завдання дослідження граничного навантаження для сандвіч панелей. Матеріали VІІІ науково-технічної конференції „Інформаційні моделі, системи та технології“, 2020, 194-194.

19. Стручок В.С. Безпека в надзвичайних ситуаціях. Методичний посібник для здобувачів освітнього ступеня «магістр» всіх спеціальностей денної та заочної (дистанційної) форм навчання / В.С.Стручок. — Тернопіль: ФОП Паляниця В. А., 2022. — 156 с.

20. Методичні вказівки для написання розділу дипломного проекту з дисципліни «Охорона праці в галузі» / В. Б. Каспрук. - Тернопіль: ТНТУ, 2017. - 14 с.