МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

ІНЖЕНЕРНИЙ НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ
імені Ю.М. ПОТЕБНІ

КАФЕДРА МІСЬКОГО БУДІВНИЦТВА І АРХІТЕКТУРИ
(повна назва кафедри)

Кваліфікаційна робота (проєкт)

магістр
(рівень вищої освіти)

на тему Світлопрозорі алюмінієві огороджувальні конструкції при будівництві цивільних будівель

Виконав: студент 2 курсу, групи 8.1924-мбг
спеціальності 192 Будівництво та цивільна інженерія
(код і назва спеціальності)
освітньої програми Міське будівництво та господарство
(назва освітньої програми)
Іщенко В.О.
(ініціали та прізвище)

Керівник доц.,к.т.н, Банах А. В.
(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)
Рецензент проф., д.т.н, Банах В.А.
(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

Запоріжжя
2025

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

ІНЖЕНЕРНИЙ НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ
імені Ю.М. ПОТЕБНІ

Кафедра міського будівництва і архітектури
Рівень вищої освіти магістр
Спеціальність 192 Будівництво та цивільна інженерія
(код та назва)
Освітня програма Міське будівництво та господарство

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри
«01» 06 2025 року

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

Іщенко Вікторії Олександрівні
(прізвище, ім'я, по батькові)

Тема роботи (проєкту) Світлопрозорі алюмінієві огороджувальні конструкції при будівництві цивільних будівель

керівник роботи доц.,к.т.н, Банах А. В.,
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)
затверджені наказом ЗНУ від «14» 09 2025 року № 1303-с .

1 Строк подання студентом роботи 01.12.2025

2 Вихідні дані до роботи Актуальність обраного напрямку досліджень, значимість у сучасному житті, можливість розвинення проблематики, перспективи впровадження майбутніх досягнень, мета роботи, завдання до виконання обраних досліджень, об`єкт досліджень, предмет досліджень, передбачувані методи виконання досліджень

3 Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) Аналітичний огляд конструктивних рішень та досвіду застосування алюмінієвих світлопрозорих конструкцій. Методика теплотехнічного розрахунку та комп'ютерне моделювання температурних полів вузлів вітражних систем у програмних комплексах THERM та WINDOW. Дослідження впливу модифікації дистанційної рамки на енергоефективність конструкції та перевірка відповідності нормативним

вимогам теплового захисту. Оцінка економічної ефективності та ав
витрат теплової енергії при експлуатації будівлі з різними типами заскле
4 Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язко
креслень) Презентація із результатами аналітичних обґрунтувань науков
напряму досліджень, результатами експериментальних дослідж
результати розрахунків із застосуванням сучасних інформаційних мето
досліджень

5 Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
1	Банах А.В.		
2	Банах А.В.		
3	Банах А.В.		

6 Дата видачі завдання 01.09.2025

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Літературний огляд	01.10	
2	Розділ 1	15.10	
3	Розділ 2	01.11	
4	Розділ 3	15.11	
5	Розробка графічної частини	20.11	
6	Оформлення роботи	25.11	
7	Попередній захист	01.12	

Студент _____ Іщенко В.О.
(підпис) (ініціали та прізвище)

Керівник роботи (проєкту) _____ Банах А.В.
(підпис) (ініціали та прізвище)

Нормоконтроль пройдено

Нормоконтролер _____ Гребенюк І.В.
(підпис) (ініціали та прізвище)

АНОТАЦІЯ

Іщенко Вікторія Олександрівна. Світлопрозорі алюмінієві огороджувальні конструкції при будівництві цивільних будівель.

Кваліфікаційна випускна робота для здобуття ступеня вищої освіти магістра за спеціальністю 192 - Будівництво та цивільна інженерія, науковий керівник А.В. Банах. Інженерний навчально-науковий інститут імені Ю.М. Потебні ЗНУ, кафедра міського будівництва і архітектури, 2025.

У магістерській роботі проведено дослідження та вибір оптимальних рішень для влаштування алюмінієвих світлопрозорих конструкцій в кліматичних умовах північних широт України.

Проведено порівняння закордонної системи «Sapa Facade 4150» та вітчизняної «Forte FA50-S20», яке показало, що за теплотехнічними характеристиками українська система не поступається зарубіжній. За допомогою програмних комплексів створено моделі та розраховано температурні поля для трьох варіантів двокамерних склопакетів у профілі Forte FA50.

Виконано розрахунок витрат на опалення для офісного приміщення в м. Суми. Найбільш енергоефективним та нормативно обґрунтованим рішенням визначено використання алюмінієвого профілю FA50 із заповненням енергозберігаючим склопакетом з аргоном, ТОП-покриттям та дистанційною рамкою з ПВХ.

Ключові слова: АЛЮМІНІЄВІ СВІТЛОПРОЗОРІ КОНСТРУКЦІЇ, ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІСТЬ, ОПІР ТЕПЛОПЕРЕДАЧІ, СКЛОПАКЕТ, ТЕРМОВСТАВКА, ДИСТАНЦІЙНА РАМКА, ТЕПЛОВТРАТИ, ФАСАДНІ СИСТЕМИ.

ABSTRACT

Ishchenko Viktoriia Oleksandrivna. Translucent Aluminum Enclosures in the Construction of Civil Buildings.

Master’s qualification paper for the degree of Master in specialty 192 – Construction and Civil Engineering, supervisor A.V. Banakh. Yu.M. Potebnia Engineering Educational and Scientific Institute of ZNU, Department of Urban Construction and Architecture, 2025.

The master's thesis conducts research and selection of optimal solutions for the arrangement of aluminum translucent structures in the climatic conditions of the northern latitudes of Ukraine.

A comparison was made between the foreign "Sapa Facade 4150" system and the domestic "Forte FA50-S20" system, which showed that the Ukrainian system is not inferior to the foreign one in terms of thermal engineering characteristics. Models were created and temperature fields were calculated for three variants of double-chamber glass units in the Forte FA50 profile using software complexes.

The calculation of heating costs for an office premise in the city of Sumy was performed. The most energy-efficient and normatively justified solution was determined to be the use of the FA50 aluminum profile filled with an energy-saving glass unit with argon, TOP-coating, and a PVC spacer frame.

Key words: ALUMINUM TRANSLUCENT STRUCTURES, ENERGY EFFICIENCY, THERMAL RESISTANCE, GLASS UNIT, THERMAL BREAK, SPACER FRAME, HEAT LOSSES, FACADE SYSTEMS.

ЗМІСТ

	СПИСОК СКОРОЧЕНЬ	8
	ВСТУП	9
Розділ 1	АКТУАЛЬНИЙ СТАН ПРОБЛЕМИ, ВИЗНАЧЕННЯ МЕТИ ТА ФОРМУЛЮВАННЯ ЗАВДАНЬ ДОСЛІДЖЕННЯ	12
1.1	Основні терміни та визначення	12
1.2	Вимоги теплового захисту до світлопрозорих огороджувальних конструкцій	12
1.3	Конструктивні елементи алюмінієвих світлопрозорих конструкцій та основні вузли кріплення	14
1.3.1	Профільна система	16
1.3.2	Світлопрозоре заповнення	17
1.3.3	Конструктивні схеми алюмінієвих світлопрозорих огороджувальних конструкцій при монтажі	21
1.4	Алюмінієві світлопрозорі конструкції: вітчизняний та зарубіжний досвід застосування	24
1.4.1	Алюмінієвий профіль «Sapa Facade 4150»	25
1.4.2	Алюмінієвий профіль «Forte FA50-S20»	26
1.5	Вітчизняні розробки та дослідження в галузі алюмінієвих світлопрозорих конструкцій	29
1.5.1	Розвиток вітчизняних профільних систем	29
1.5.2	Ключові напрямки інновацій	30
1.5.3	Наукові дослідження в Україні	32
1.6	Висновок до розділу 1	34
Розділ 2	РОЗРАХУНОК СВІТЛОПРОЗОРИХ АЛЮМІНІЄВИХ КОНСТРУКЦІЙ	36
2.1	Методика проведення дослідження та аналіз результатів	36

2.2 Основа програми THERM 37
2.3 Розрахунок у програмі THERM та WINDOW 38
2.4 Результати 42
2.5 Модифікація вітражної конструкції 47
2.6 Вузли кріплення вітражної конструкції 51
2.7 Висновок до розділу 2 60
Розділ 3 ПЕРЕВІРКА ПОЕЛЕМЕНТНИХ ВИМОГ ДО ТЕПЛОВОГО ЗАХИСТУ БУДІВЛ 61
3.1 Метод визначення приведеного опору теплопередачі за каталогом 61
3.2 Метод визначення приведеного опору теплопередачі за розрахунками ПК THERM 64
3.3 Економічна ефективність вітражної конструкції 71
3.3.1 Характеристика об'єкта дослідження 71
3.3.2 Витрата теплової енергії приміщення на опалення та вентиляцію за опалювальний період 72
3.3.3 Порівняння застосовуваних конструкцій 75
3.34 Витрата теплової енергії на опалення будівлі за рік експлуатації 77
3.3.5 Грошові витрати на теплову енергію за рік експлуатації 79
3.4 Висновок до розділу 3 81
ОСНОВНІ ВИСНОВКИ 82
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ 84

СПИСОК СКОРОЧЕНЬ

- СПК - світлопрозорі конструкції.
- КФС - конструкції фасадні світлопрозорі.
- ЕПДМ (Ethylene Propylene Diene Monomer) - етиленпропіленові каучуки - синтетичні еластомери.
- ПВХ-профіль - полівінілхлоридний профіль.

ВСТУП

Актуальність дослідження. Вітражні конструкції як декоративні елементи архітектурних споруд відомі ще з давніх часів. Це оздоблення соборів і храмів вітражним живописом, починаючи з романського періоду (XI - XII століття).

Насамперед, вони розглядалися як витвір мистецтва і лише згодом, як конструктивний елемент.

Але з розвитком технологій ці конструкції вийшли на новий рівень. Вони стали більш функціональними. І виконують:

- декоративну;
- теплозберігаючу;
- функцію природного освітлення.

А також стали невід'ємною частиною масового будівництва міських споруд. На рисунку в.1 наочно представлено розвиток галузі світлопрозорих алюмінієвих конструкцій.

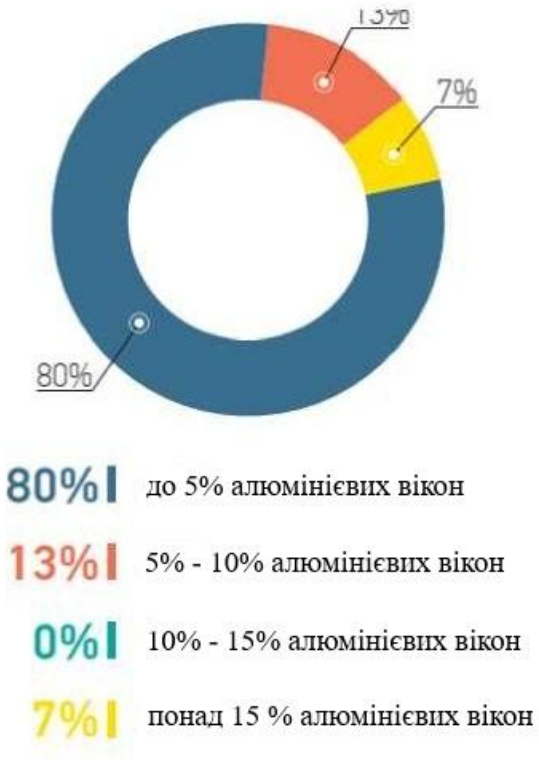


Рисунок в.1 - Частка в обсягах продажу у 2023-2024 роках алюмінієвих вікон

Їх застосування замінює зведення стін. Тим самим з'являється найбільша доступність приміщень до світла. Це дозволяє скоротити витрати на опалення та освітлення. Що ідеально підходить для торгових та виставкових комплексів, спортивних залів та концерт-холів, аеропортів, готелів.

У зв'язку з цим донині є актуальними питання щодо забезпечення енергоефективності будівель. І алюмінієві світлопрозорі огороджувальні конструкції дозволяють вирішити дану проблему, але при цьому потрібно відповідально підходити до їх проєктування, грамотно опрацьовувати вузли кріплення, тим самим мінімізувати тепловтрати.

Мета і завдання дослідження. Метою дослідження є вибір оптимальних рішень влаштування алюмінієвих світлопрозорих огороджувальних конструкцій в умовах клімату північних широт України.

Завдання дослідження :

1. Вивчити конструктивні елементи світлопрозорих алюмінієвих конструкцій та технічні рішення щодо їх влаштування та проаналізувати їхню залежність;
2. За допомогою реальних об'єктів будівництва виділити основні вузли кріплення вітражних конструкцій;
3. Виконати дослідження конструктивних рішень світлопрозорих алюмінієвих конструкцій за допомогою програмного комплексу THERM 7.6 та WINDOW 7.6;
4. Виконати розрахунок конструкції згідно з чинними нормативами.

Об'єкт дослідження. Об'єктом дослідження є алюмінієві світлопрозорі огороджувальні конструкції будівлі.

Предмет дослідження. Предметом дослідження є санітарно-гігієнічні та поелементні вимоги до алюмінієвих світлопрозорих огороджувальних конструкцій залежно від їхніх конструктивних особливостей.

Методи дослідження. При вирішенні поставлених завдань використовувалися узагальнення, аналіз теоретичних та практичних досліджень на тему роботи та комплексні дослідження експлуатаційних

властивостей фасадних панелей.

Наукова новизна одержаних результатів. Вивчено вимоги до проєктування світлопрозорих конструкцій. Розглянуто зарубіжний та вітчизняний досвіди застосування світлопрозорих конструкцій.

Практичне значення одержаних результатів. Обрані оптимальні технічні рішення влаштування світлопрозорих алюмінієвих огороджувальних конструкцій в умовах клімату північних широт України.

Особистий вклад дослідника. Досліджено вплив правильно підібраного світлопрозорого заповнення на зменшення тепловтрат.

Апробація результатів роботи. Результати роботи доповідалися на XVIII університетської науково-практичної конференції студентів, аспірантів, докторантів і молодих вчених «МОЛОДА НАУКА-2025» з доповіддю «Конструктивні елементи алюмінієвих світлопрозорих конструкцій»[48].

Структура та обсяг магістерської роботи. Магістерська робота складається зі вступу, трьох розділів, основних висновків та списку використаних джерел. Загальний обсяг роботи становить 88 сторінок. Робота містить 59 рисунків, 9 таблиць та список використаних джерел із 48 найменувань.

РОЗДІЛ 1
АКТУАЛЬНИЙ СТАН ПРОБЛЕМИ, ВИЗНАЧЕННЯ МЕТИ ТА ФОРМУЛЮВАННЯ ЗАВДАНЬ ДОСЛІДЖЕННЯ

1.1 Основні терміни та визначення

Світлопрозорі конструкції (СПК) - конструкція, що захищає, що забезпечує природним світлом приміщення будівель і споруд [1]. СВК може бути окремою самостійною спорудою, спорудою, що примикає до будівлі, або елементом будівлі.

Профіль - пресований виріб із заданими розмірами та формою поперечного перерізу [2].

Заповнення - світлопрозорі та непрозорі елементи, що відокремлюють приміщення будівлі від зовнішнього середовища та закріплені до каркасу КФС [3].

Каркас конструкцій фасадних світлопрозорих - конструкція, що сприймає навантаження та впливи, що діють на КФС, і передає їх на конструкцію будівлі, що несе [3].

Кронштейн – конструктивний елемент, призначений для кріплення елементів КФС до конструкцій будівель та споруд [3].

Ригель – горизонтальний елемент каркасу КФС [3].

Стійка – вертикальний елемент каркасу КФС [3].

Термовставка - елемент конструкції комбінованого профілю каркасу КФС, що має меншу, ніж матеріал профілю, теплопровідність [3].

1.2 Вимоги теплового захисту до світлопрозорих огороджувальних конструкцій

В даний час вимоги до теплової оболонки будівлі, і зокрема алюмінієвих світлопрозорих конструкцій, викладені в [6]. Відповідно до цього нормативу теплова оболонка будівлі повинна відповідати наступним параметрам:

а) наведений опір теплопередачі окремих огороджувальних конструкцій має бути не меншим за нормовані значення (поелементні вимоги);

б) температура на внутрішніх поверхнях конструкцій, що захищають, повинна бути не нижче мінімально допустимих значень (санітарно-гігієнічна вимога).

Вимоги теплового захисту будівлі будуть виконані за одночасного виконання всіх трьох вимог, перерахованих вище. Для задоволення поелементних вимог наведений опір теплопередачі світлопрозорих конструкцій, що огороджують, має бути не менше нормованого значення для кліматичних характеристик місця будівництва.

Нормоване значення наведеного опору теплопередачі огороджувальної конструкції $R_0^{норм}$, (м^2 °С)/Вт, визначається за формулою :

$$R_0^{норм} = R_0^{пот} m_p \quad (1.1)$$

де $R_0^{пот}$ – базове значення необхідного опору теплопередачі, (м^2•С)/Вт;

m_p - коефіцієнт, що враховує особливості регіону будівництва [4].

Базове значення необхідного опору теплопередачі $R_0^{пот}$, (м^2•С)/Вт визначається за формулою :

$$R_0^{пот} = a \bullet ГДОП + b, \quad (1.2)$$

де a та b - коефіцієнти, значення яких слід набувати за даними таблиці для відповідних груп будівель [7].

Величина градусо-доби опалювального періоду ГДОП, °С діб/рік, визначається за формулою :

$$ГДОП = (t_в - t_{от}) \bullet Z_{от}, \quad (1.3)$$

де $t_в$ – розрахункова температура внутрішнього повітря будівлі, °С;

$t_{оп}$ – середня температура зовнішнього повітря, °С;

$z_{оп}$ – тривалість опалювального періоду із середньодобовою температурою зовнішнього повітря трохи більше 8 °С, діб/рік.

1.3 Конструктивні елементи алюмінієвих світлопрозорих конструкцій та основні вузли кріплення

В основі СПК лежить алюмінієвий профіль і на сьогоднішній день він є ідеальним матеріалом на відміну від сталі та пластику. Це пояснюється його пластичністю.

Алюміній стає м'яким і пластичним при нагріванні до 500°С, а при проходженні матрицею на виході виходить профіль заданої інструментом конфігурації, тобто. легко формоутворюється. Ця властивість відрізняє його від сталі, яка, у свою чергу, не має такої пластичності і отримати профіль складної конфігурації з неї вже буде важко. І відповідно сталь ніколи не буде легшою за алюміній.

Пластик не має необхідних фізико-механічних властивостей будівельного матеріалу – для отримання конструкції, наприклад, вікна великої площі, його потрібно посилювати та армувати, щоб підвищити статичні характеристики. Крім того, він тендітний при температурах нижче -20 °С і деформується при температурах вище +50 °С.

Таким чином, плюси алюмінієвого профілю в тому, що він легкий, довговічний, і, крім того, правильно спроектований переріз профілю і підібраний алюмінієвий сплав дозволяють отримати статичні характеристики, порівняні зі сталлю.

При розрахунку схеми навантажень слабкий переріз можна посилити, стінки алюмінієвого профілю потовщувати, домагаючись компенсації характеристик.

Основна вага у світлопрозорих алюмінієвих конструкціях припадає не

на каркас, а на скло чи склопакети різних габаритів та структури. Чому вибрано скло під час створення СПК:

1. Фасад зі скла – це красиво. Такі будматеріали, як цегла та бетон поступово здають позиції перед прозорим «легким» скляним фасадом.

2. Скляний фасад допомагає підтримувати постійний мікроклімат усередині будівлі. Властивості скла такі, що в жарку погоду воно здатне підтримувати постійну температуру, не допускаючи її різких перепадів.

3. Ізоляція від вуличного шуму.

4. Економія на електриці, оскільки скляний фасад пропускає всередину досить природне світло.

5. Скло – негорючий матеріал, що робить його пожежобезпечним.

6. Скляний фасад, за умови використання якісних матеріалів для каркасу та кріплення, здатний прослужити десятки та сотні років.

Скло - це аморфні тіла, які утворюються внаслідок переохолодження розплаву. Ці тіла внаслідок поступового збільшення рівня в'язкості виявляються наділеними всіма ознаками твердих тіл.

Серед виражених властивостей скла можна виділити його міцність - здатність чинити опір внутрішнім напругам при впливі будь-яких зовнішніх навантажень. Межа міцності скла становить від 500 до 2000 МПа, для порівняння, у кришталю - 700-800 МПа, у чавуну та сталі: відповідно 600-1200 та 2000 МПа.

Ступінь міцності того чи іншого виду скла залежить безпосередньо від хімічної речовини, що входить до його складу. Більш міцні скла, що включають до свого складу оксиди кальцію або бору. Низькою міцністю відрізняються шибки з оксидами свинцю та алюмінію.

Серед хімічних властивостей також необхідно підкреслити хімічну стійкість скла – здатність не піддаватися впливу води, розчинів солей, газів та вологи атмосфери. Показники хімічної стійкості залежать від якості скломаси та діючого агента.

Так, скло не зазнає корозії при дії води. Це головна перевага

використання під час створення алюмінієвих СПК.

Тепер докладно розглянемо конструктивні елементи вітражних конструкцій.

1.3.1 Профільна система

Основними типами алюмінієвих систем в залежності від конструктивних особливостей, функцій та призначення вважаються «теплий» і «холодний».

"Теплий" алюмінієвий профіль.

Конструктивна особливість даного типу профілю полягає у наявності спеціальних термоізоляційних вставок з поліаміду, які перешкоджають появі містка холоду (рисунок 1.1, а). Вони дають змогу нівелювати високу теплопровідність алюмінію, знизити тепловтрати, покращити звукоізоляцію. Такі профілі застосовуються під час облаштування громадських будівель, оранжерей, офісних приміщень та інших видів об'єктів.

"Холодний" алюмінієвий профіль

Холодний профіль застосовується в спорудах, де збереження тепла не є першочерговим завданням. Він не передбачає термовставок, у зв'язку з чим відрізняється легкістю і нижчою ціною проти «теплим» варіантом (рисунок 1.1, б). «Холодний» тип найчастіше використовується при влаштуванні складів, лоджій та внутрішніх перегородок.

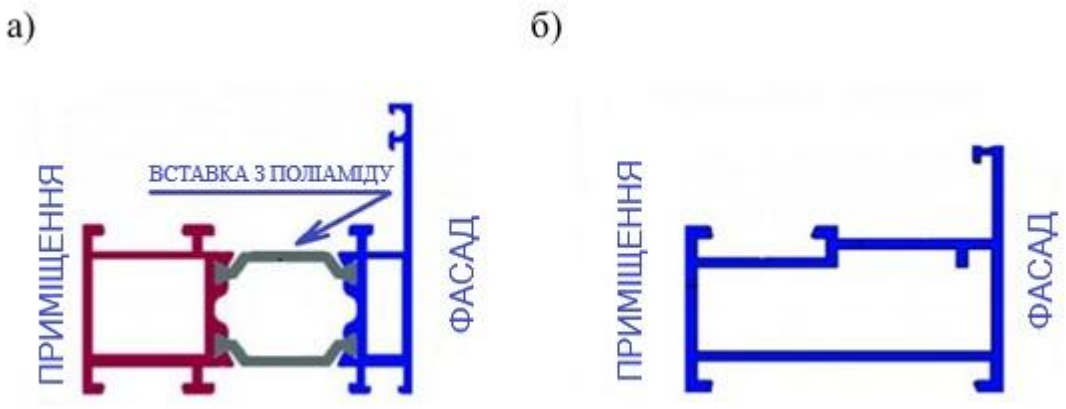


Рисунок 1.1 - Переріз алюмінієвого профілю
а) теплий профіль; б) холодний профіль

На сучасному ринку алюмінієвих світлопрозорих конструкцій представлено величезний асортимент марок. Лідерами серед вітчизняних виробників є вітражі українських компаній «Building Energy Alliance», «Алюмініка», а також системи європейських брендів «Алютех», «Schuco», «Рейнерс».

1.3.2 Світлопрозоре заповнення

Ще одна характеристика алюмінієвих світлопрозорих конструкцій – ширина заповнення, яка визначає, який тип скла чи склопакетів можна встановити у профіль. Безпосередньо від наповнення залежить енергоефективність вітражної конструкції.

Як базове заповнення алюмінієвих світлопрозорих конструкцій застосовується скло завтовшки від 3 мм до 18 мм згідно [8].

Склопакети - виріб, що складається з двох або більше листів базового скла, з'єднаних між собою по контуру за допомогою дистанційних рамок і герметиків, що утворюють замкнуті герметично камери, заповнені осушеним повітрям або іншим газом. Товщина варіюється від 24 мм до 48 мм згідно з [9].

Види склопакетів представлені рисунку 1.2.



Рисунок 1.2 - Склопакет у розрізі

Відповідно до [6] в Україні виробляються два види склопакетів - однокамерні (СПО) та двокамерні (СПД).

Однокамерні складаються з двох листів скла та однієї дистанційної рамки. Вони легкі та підходять для скління великих прорізів. В основному їх встановлюють на балконах, лоджіях та терасах.

Двокамерні — із трьох листів скла та двох рамок. Застосовні для житлових та громадських будівель, володіючи більшою теплоізоляцією на відміну від однокамерної.

Також передбачені інші конструкції, що складаються з чотирьох або п'яти листів скла. Це три- та чотирикамерні склопакети. Вони виготовляються найчастіше за спеціальним замовленням і становлять невеликий відсоток від загального виробництва, оскільки порівняно важче і пропускають менше світла, ніж інші види склопакетів.

Поряд із склом або стандартним склопакетом існує таке поняття, як триплекс. Або інша назва – багатошарове скло. Матеріал складається з трьох шарів: двох стекол, скріплених особливою плівкою або специфічними

полімерами. Завдяки цьому він здатний витримувати величезні навантаження, що відносить його до ударозахисних виробів.

В основному застосовується для вітрин, дверей, перегородок - там, де потрібно убезпечити людей від осколків скла після його пошкодження.

На рисунку 1.3 наведено приклад триплексу в однокамерному склопакеті.



Рисунок 1.3 - Триплекс. Однокамерний склопакет

У формулі склопакета триплекс позначається як:

- 3.3.1 (два тримілiметрові стекла і плівка товщиною 1 мм);
- 4.4.1 (два скла по 4 мм та плівка 1 мм);
- МС 33.2 (два скла 3 мм та плівка 2 мм);
- Stratobel Clear 3.3.1 (4.4.1);
- Optilam Clear 3.3.1 (4.4.1).

Залежно від характеристик триплекс може витримувати удари твердим або м'яким тілом та вплив вогню. Існують різновиди, здатні захистити не тільки від шуму, а й радіаційних перешкод.

Також існують різновиди особливих покриттів, що використовуються як в склі, що окремо стоїть, так і в склопакеті в цілому. Застосовуються в основному від впливу прямих сонячних променів, як дизайнерські рішення конструкції або приховування від сторонніх очей. Це топ-покриття, плівки, розчини. Вони мають різні функції: це захист від прямих сонячних променів.

Прикладами може бути:

- тоноване скло - може бути пофарбоване в масі, або використана плівка, що клеїться на поверхню (рисунок 1.4);

- мультифункціональне скло наносять шари оксиду срібла та інших металів у вакуумно-магнетронній установці промисловим способом (рисунок 1.5).



Рисунок 1.4 - Тоноване скло

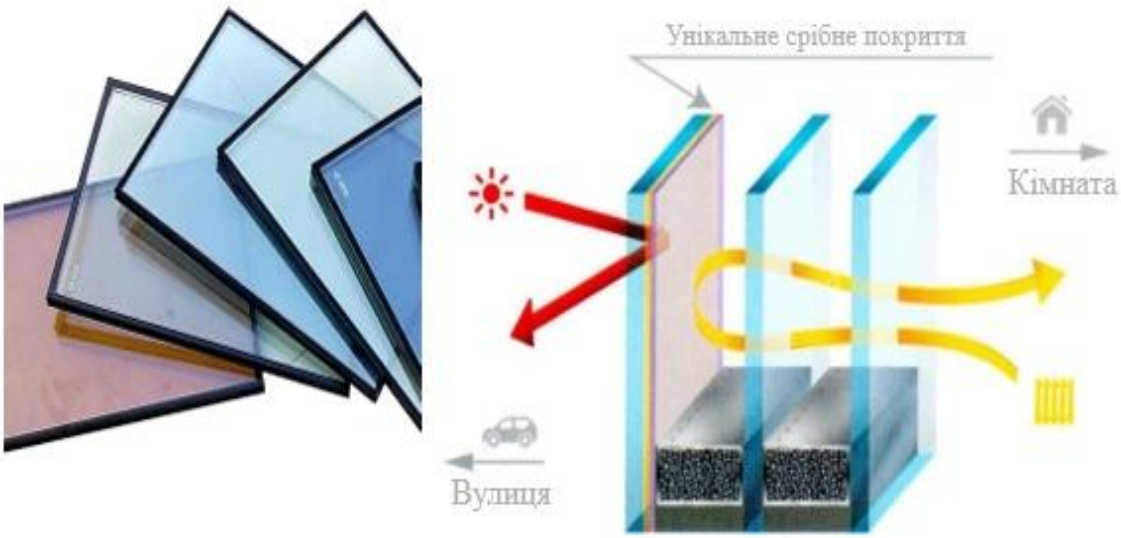


Рисунок 1.5 - Мультифункціональне скло

1.3.3 Конструктивні схеми алюмінієвих світлопрозорих огороджувальних конструкцій при монтажі

Несучий каркас конструкції – основа монтажу алюмінієвих світлопрозорих конструкцій.

Він має такі схеми кріплення:

- Стійково-ригельний - єдина конструкція зі стійок, ригелів та заповнення (рисунок 1.6).

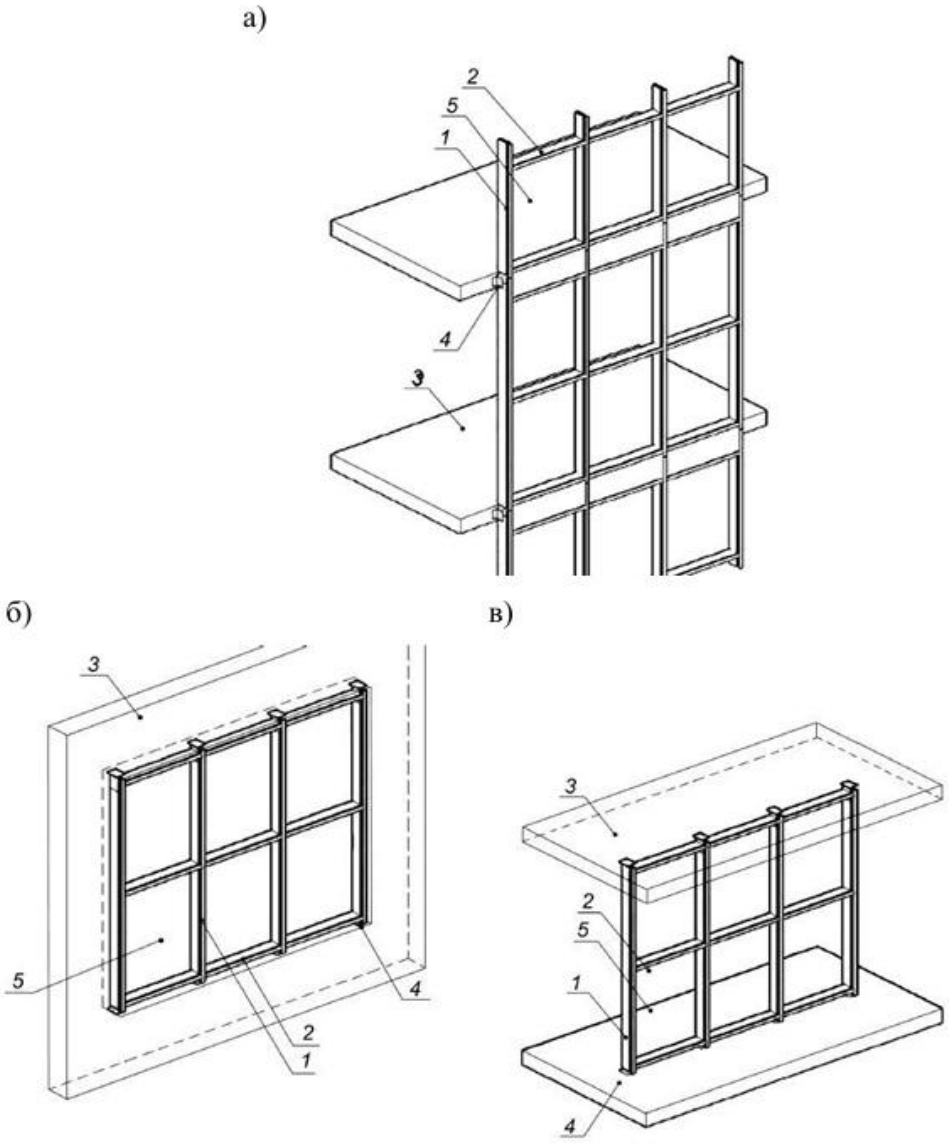


Рисунок 1.6 - Стійково-ригельна конструкція

а - на відносі від каркасу будівлі; б - у отворі стіни; в - між дисками перекриття 1 – стійка; 2 - ригель; 3 – конструкції каркасу будівлі; 4 – кронштейн кріплення; 5 - заповнення

- Модульний - єдина конструкція, що складається з набору панелей (модулів) та міжпанельних ущільнювачів. Модуль являє собою зовнішню силову раму, внутрішній каркас із стійок та ригелів, та заповнення (рисунок 1.7). Кожен елемент збирається на виробництві та поставляється на об'єкт у готовому вигляді. Монтаж провадиться з винесенням від каркаса за допомогою кронштейнів.

- Структурний - всі елементи кріплення розташовуються всередині конструкції і з зовнішнього боку непомітні. Мають покращені дизайнерські характеристики, але існують обмеження по висотності будівель. Конструкції не мають достатнього запасу міцності, вага конструкції обмежена.

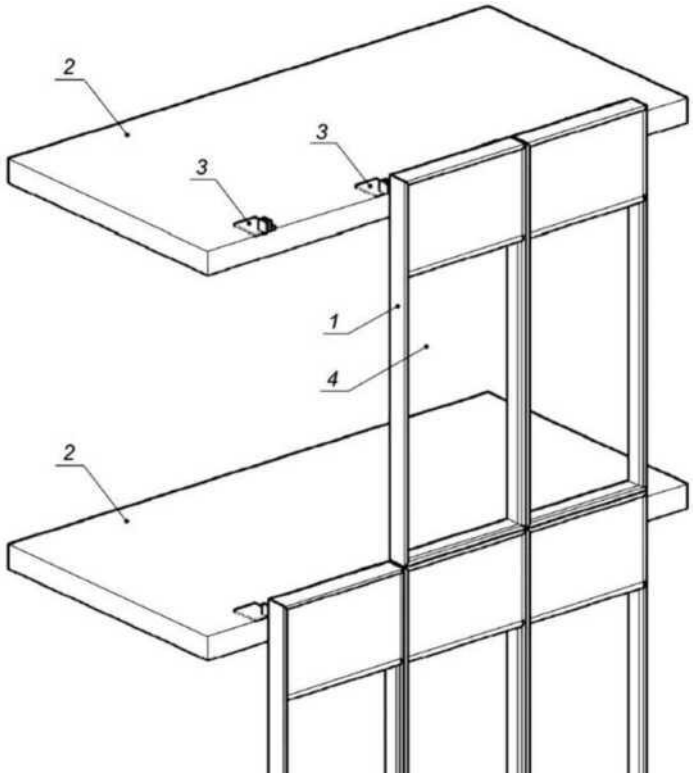


Рисунок 1.7 - Модульна конструкція

1 – силова рама; 2 – конструкції каркасу будівлі; 3 – кронштейн кріплення; 4 - заповнення

При проектуванні несучого каркасу, обов'язково проводиться статичний розрахунок самого каркаса з урахуванням ваги алюмінієвих профілів і скління.

Кріплення алюмінієвих профілів до каркасу виготовляють за допомогою

сталевих кронштейнів або за допомогою монтажних скоб [15].

Готова конструкція має бути повністю герметичною зовні, при цьому система дренажних каналів повинна забезпечувати відведення конденсату та внутрішнє вентилювання з'єднань та вузлів.

Вузлове складання стійок і ригелів здійснюється за допомогою системних шурупів і сухарів згідно з каталогом конструкції. Крім застосування штатної заглушки у поєднанні стійка/ригель, всі стики обробляються герметиком. Те саме стосується і поздовжнього з'єднання стійка/стійка, використовуючи компенсатор стику, з'єднання додатково герметизується. При влаштуванні заповнення все герметизується за допомогою стрічки Герлен (рисунок 1.8).

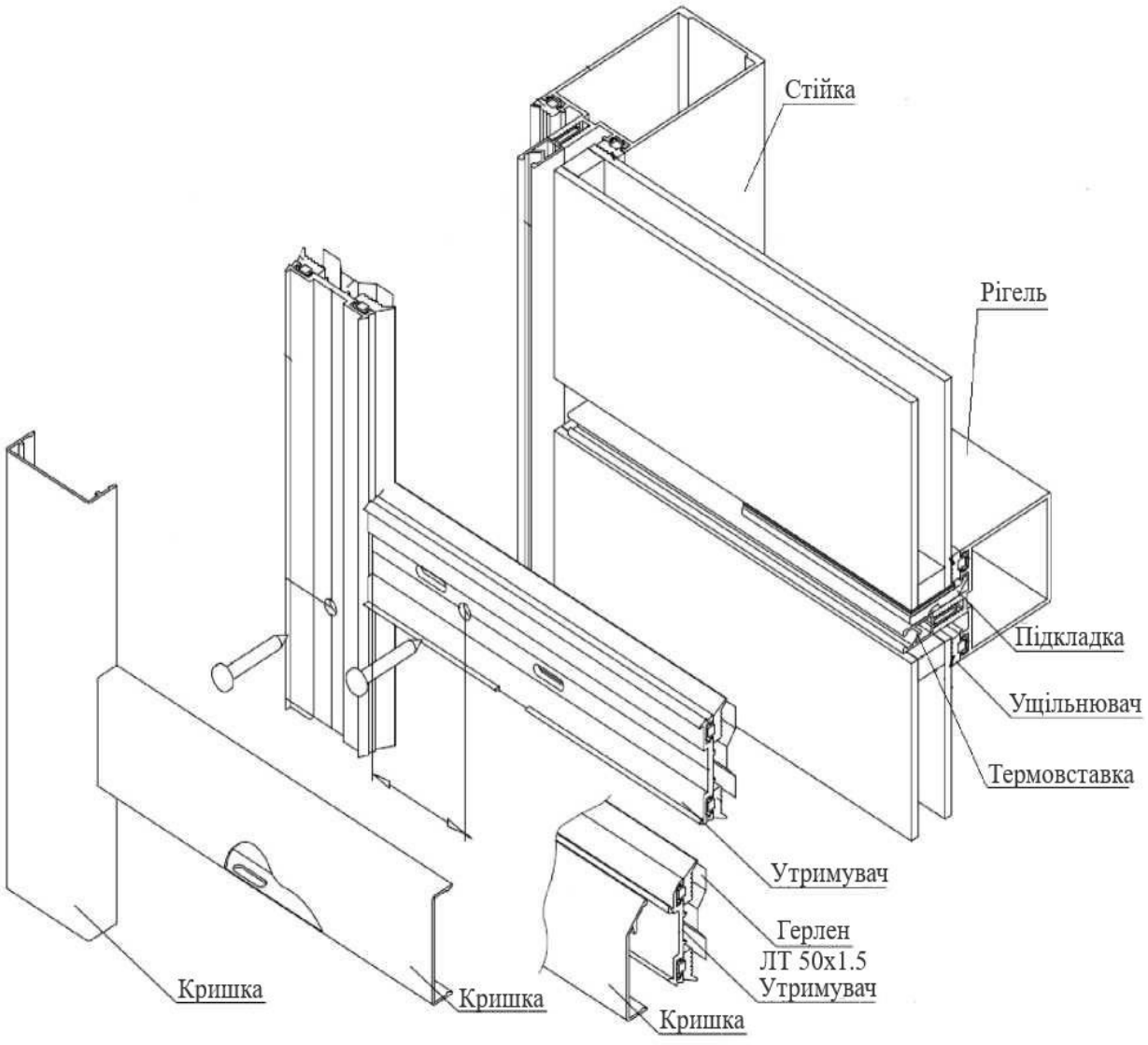


Рисунок 1.8 - Застосування стрічки при заповненні Герлен [14]

1.4 Алюмінієві світлопрозорі конструкції: вітчизняний та зарубіжний досвід застосування

Із середини XX століття у розвитку теплоізоляції світлопрозорих конструкцій при будівництві житлових, громадських та адміністративних будівель відбувся прорив, що дозволив переглянути підхід до енергоефективності приміщення – вченими вперше було використано ПВХ для віконних рам. За півстоліття вдосконалення технології використовувалися різні матеріали, включно з деревом, сталлю та фібергласом.

Останнім часом найсучаснішим матеріалом все частіше називають алюміній.

Раніше вважалося, що алюмінієві рами використовуються для засклення лоджій, балконів або великих приміщень на зразок магазинів чи спортзалів. Іншими словами, зовсім нещодавно алюміній використовувався для засклення приміщень, до яких не висувалися вимоги щодо комфортного постійного перебування людей. Справа в тому, що алюмінієві рами, хоч і легкі в установці, мали високу теплопровідність через природні властивості цього металу.

Однак ситуація почала змінюватися, і сьогодні у конструктивних рішеннях світлопрозорих конструкцій все частіше використовуються алюмінієві профілі, як «теплі», так і «холодні».

Перше місце в рейтингу виробників алюмінієвого профілю для будівництва посідає шведсько-норвезький алюмінієвий гігант Sapa Building System з науково-дослідним інститутом у Белленберзі компанії Wicona.

Саме Wicona та її інститут у Белленберзі стали тією перевагою, яка відсуває на друге місце компанію Aluminium Forte. В іншому вона нічим не поступиться Sapa.

Розглянемо алюмінієвий профіль марки Sapa та Aluminium Forte на прикладі «теплого профілю» та порівняємо їхні теплотехнічні характеристики.

1.4.1 Алюмінієвий профіль «Sapa Facade 4150»

Базова профільна система – Sapa Facade 4150 – з шириною профілю 50 мм та глибиною від 35 до 300 мм (рисунок 1.9). Термоізоляція забезпечується внутрішніми прокладками та терморозривом з ізоляційного матеріалу.

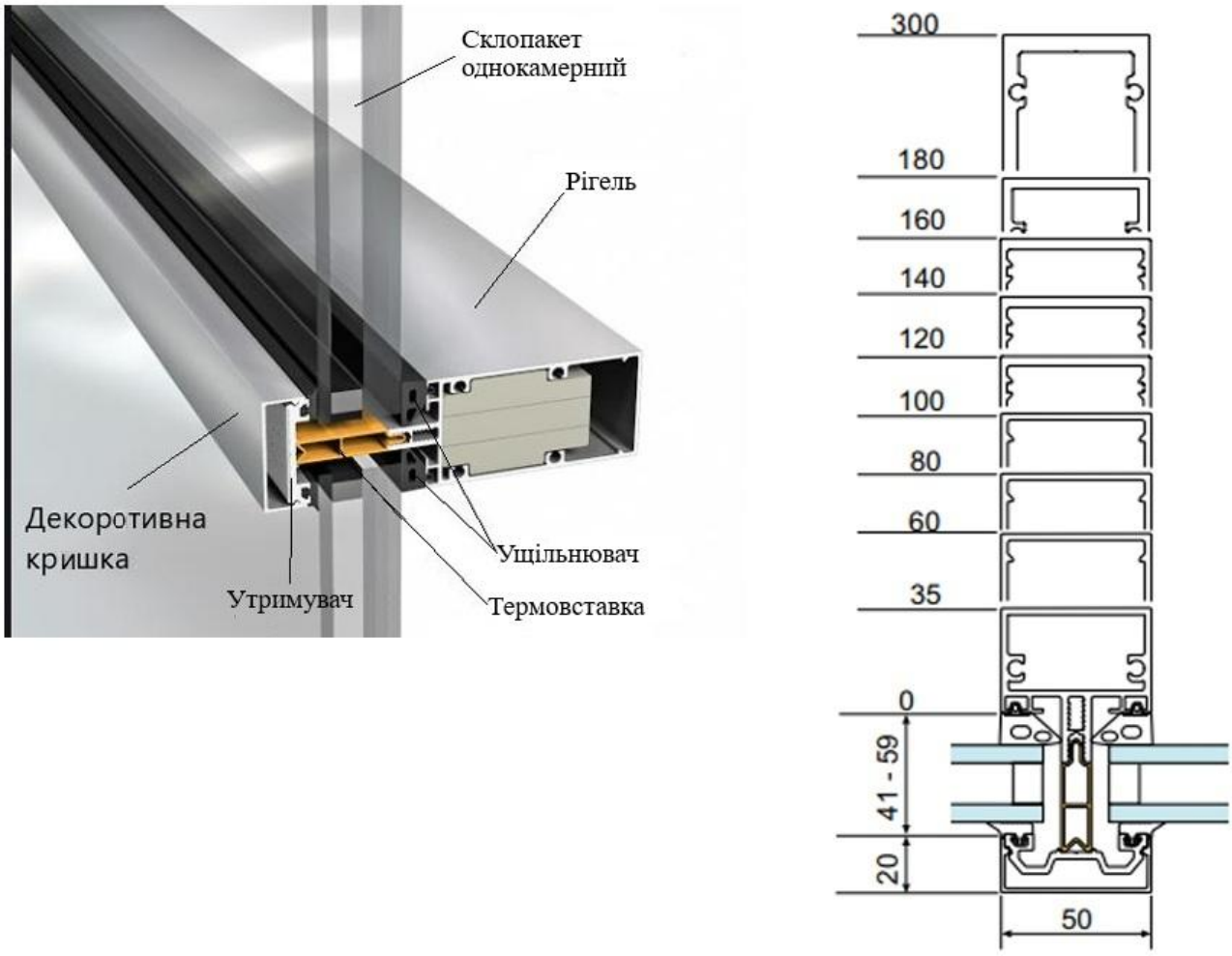


Рисунок 1.9 - Перетин Sapa Facade 4150

Sapa 4150 може застосовуватися як для холодного, так і для теплового фасаду. Все залежить від засклення.

Скло застосовується від 4 мм до 10 мм, склопакет – одно- та двокамерний (рисунок 1.10). Товщиною від 23 мм до 48 мм. І максимальний опір теплопередачі становить 0,9 м²·°С/Вт.

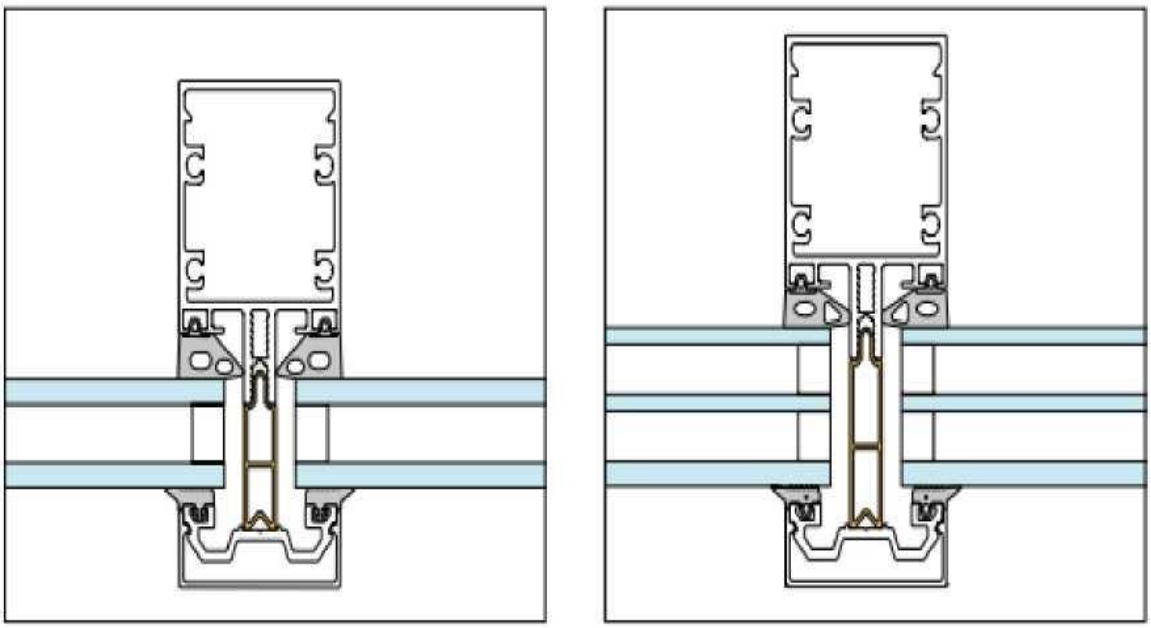


Рисунок 1.10 - Заповнення Sapa 4150

1.4.2 Алюмінієвий профіль «Forte FA50-S20»

FA50-S20 – структурна система скління без видимих зовнішніх планок – гладкий скляний фасад з силіконовими швами. Склопакети збираються на структурному силіконі і кріпляться до несучого профілю за допомогою дистанційної рамки склопакета і з’єднувального профілю (рисунок 1.11).

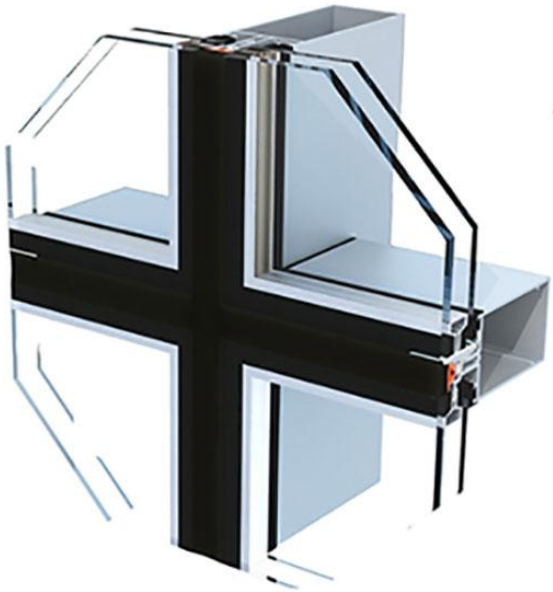


Рисунок 1.11 - Стойково-ригельна система Forte FA50-S20

Несучий каркасстоєчно-ригельної системи розташовується з внутрішнього боку стіни. При використанні даної системи, немає необхідності в установці зовнішніх алюмінієвих профілів (декоративних кришок). Основною естетичною відмінністю даного фасадного рішення є відсутність притискних і декоративних кришок, видно лише скло і заповнені шви. Структурна система скління – це гладкий фасад з силіконовими або гумовими (EPDM) швами шириною 20мм між заповненнями, що створює ефект «скляної стіни» і дозволяє досягти відчуття легкості і цілісності будівлі. Установка прихованих стулок створює відчуття цілісності фасаду, так як в закритому положенні вони нічим не відрізняються від глухих елементів. Профілі каркаса видно тільки зсередини приміщення (ширина стійок і ригелів – 50 мм) (рисунок 1.12-1.13.)[17].

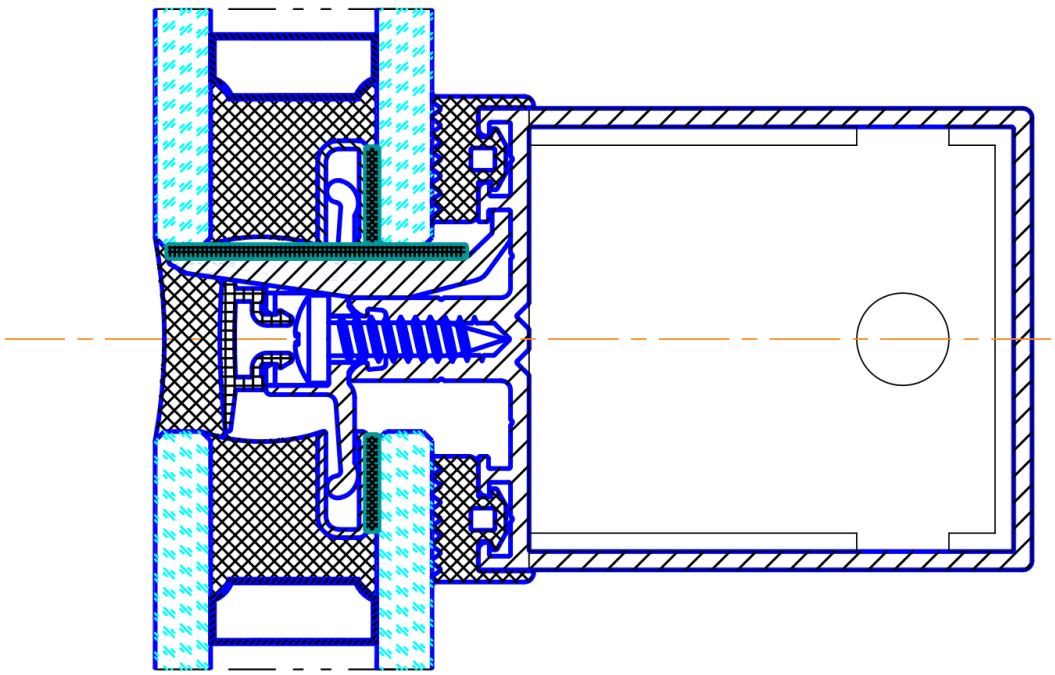


Рисунок 1.12 – Вертикальний переріз системи Forte FA50-S20

Що стосується теплотехнічних характеристик алюмінієвого профілю КП50, показник опору теплопередачі варіюється від 0,734 до 1,33 м²·°С/Вт. В результаті сертифікованих випробувань виявлено, що показник опору

теплопередачі залежить в основному від застосовуваної термовставки та коефіцієнта засклення (відношення площі світлопрозорої частини до загальної площі конструкції). Методика розрахунку опору теплопередачі згідно з ДСТУ-Н Б В.2.6-83:2009 «Конструкції будинків і споруд. Настанова з проектування світлопрозорих елементів огороджувальних конструкцій».

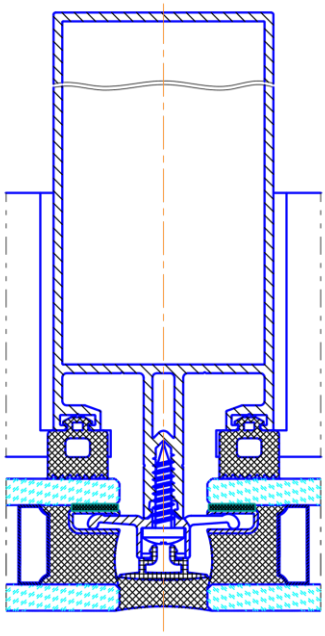


Рисунок 1.13 – Горизонтальний переріз системи Forte FA50-S20

Таким чином, порівнявши базовий алюмінієвий профіль марки FA50-S20 компанії Aluminium Forte та профіль марки Sapa Facade 4150 компанії Sapa Building System, можна зробити висновок, що за теплотехнічними характеристиками, а саме опором теплопередачі, що дорівнює середньому значенню 0,9 м²·°С/Вт, вони не відрізняються.

Це свідчить про те, що алюмінієві світлопрозорі конструкції розвиваються, і українське виробництво не поступається зарубіжному, а в чомусь навіть і перевершує його.

1.5 Вітчизняні розробки та дослідження в галузі алюмінієвих світлопрозорих конструкцій

Зростання вимог до енергоефективності будівель, закріплених у ДБН В.2.6-31:2021 «Теплова ізоляція та енергетична ефективність будівель», стало потужним стимулом для розвитку українського ринку "теплих" алюмінієвих світлопрозорих конструкцій (СПК). Якщо раніше алюміній застосовувався переважно для "холодного" скління, то сьогодні вітчизняні виробники активно конкурують не лише між собою, а й із відомими європейськими брендами.

1.5.1 Розвиток вітчизняних профільних систем

В Україні сформувався пул потужних виробників, які розробляють та виготовляють власні алюмінієві профільні системи. Серед них:

- Framex (Фрамекс): Один з лідерів ринку, пропонує широкий асортимент віконних, дверних та фасадних систем. Наприклад, їхні "теплі" віконно-дверні системи (як-от Framex 50 або Framex 71) використовують багатокамерні поліамідні термовставки, що дозволяє досягати показників опору теплопередачі профілю R_f до 0.8–1.0 м²·°С/Вт. Фасадна система Framex F50 — аналог популярних європейських стійково-ригельних систем з видимою шириною 50 мм[14].
- KMD (Київський Металообробний Завод): Відомий виробник з власними серіями систем. Застосовують сучасні поліамідні термовставки, ущільнювачі з EPDM та елементи з підвищеною герметичністю[15].
- Alumash (Алюмаш, Дніпро): Випускає профілі під маркою Tekno, у тому числі фасадні системи з терморозривом.

Інші компанії: Alupro, Aluminium Forte та регіональні виробники також реалізують власні рішення або ліцензійні системи.



Рисунок 1.14 – Приклад фасадної системи Framex F50 у сучасному адміністративному будинку

1.5.2 Ключові напрямки інновацій

Термовставки: удосконалення геометрії камер, використання армованих та комбінованих поліамідних елементів; заповнення порожнин спіненими полімерами для підвищення опору теплопередачі.

Ущільнювачі: перехід до багатоконтурних EPDM-систем, що забезпечують зменшення інфільтрації повітря та покращення акустичних характеристик.

Інтегровані рішення: сумісність із сонцезахисними елементами, вентиляційними клапанами, системами «розумний дім».

Варіант фасадного скління вітражної конструкції одночасно із застосуванням скла однокамерного склопакета та жалюзі.

Дана конструкція – це вдосконалений вид вітражної конструкції, що працює на основі рекуперації. При цьому будівля зовні стає холоднішою, проходження повітря через спеціально організований прошарок веде до зміни

температур огороджувальних стінок, радіаційного теплообміну між приміщенням, склом та тепловідбивними екранами (рисунок 1.15). Дуже важливе місце розміщення екрану, його характеристики та напрямок потоку тепла від нагрітого тепловідбивного екрану (йде він в атмосферу або повертається, рекуперується всередину приміщення). У даному випадку спільна дія тепловідбивного екрану в повітряному проміжку та вентилювання через цей проміжок з активною рекуперацією тепла та вологи всередину приміщення зовнішнім холодним повітрям, багаторазово підвищує тепловий ефект.

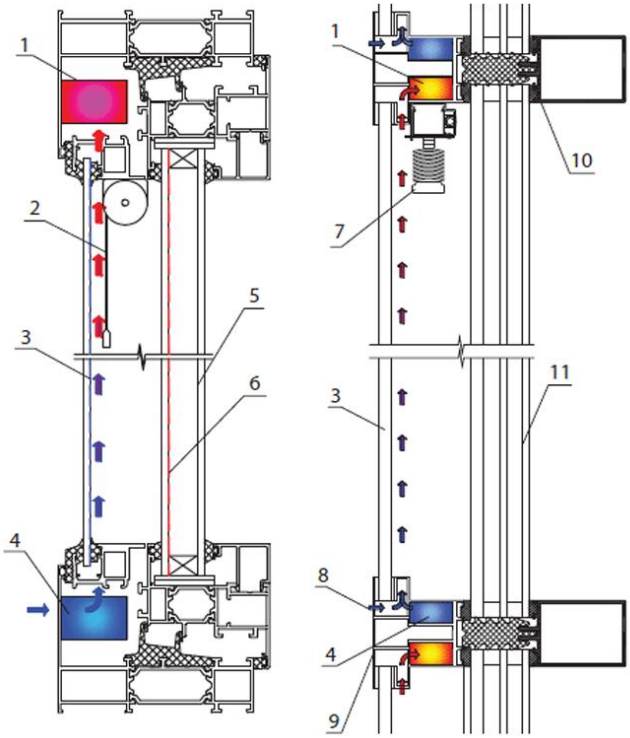


Рисунок 1.15 – Варіанти енергоефективних вентильованих світлопрозорих огороджувальних конструкцій з активною рекуперацією вихідного теплового потоку

а) тепле алюмінієве вікно; б) стійково-ригельна алюмінієва система; 1 – канал збору повітря; 2 – тканинний екран із тепловідбивним покриттям; 3 – зовнішнє К-скло; 4 – розподільчий канал потоку повітря; 5 – однокамерний склопакет; 6 – І-скло; 7 – жалюзі з низькоемісійним покриттям; 8 – приплив холодного повітря; 9 – несуча кришка-притиск; 10 – стійково-ригельна система; 11 – двокамерний склопакет

1.5.3 Наукові дослідження в Україні

Українські наукові установи, зокрема КНУБА (Київський національний університет будівництва і архітектури) та НДІБК (Державний науково-дослідний інститут будівельних конструкцій), відіграють важливу роль у дослідженні та вдосконаленні алюмінієвих СПК.

- Моделювання теплових процесів:

За допомогою програмних комплексів (наприклад, Ansys, Comsol, Therm) проводяться детальні розрахунки температурних полів у складних перерізах алюмінієвих профілів та вузлах їх з'єднання. Досліджується вплив геометрії камер, матеріалу та форми термовставки на загальний опір теплопередачі профілю (R_f) та лінійний коефіцієнт теплопередачі по краях склопакета (ψ_g). Праці науковців КНУБА, таких як проф. В. П. Чернишов, часто присвячені оптимізації конструкцій з точки зору теплофізики.

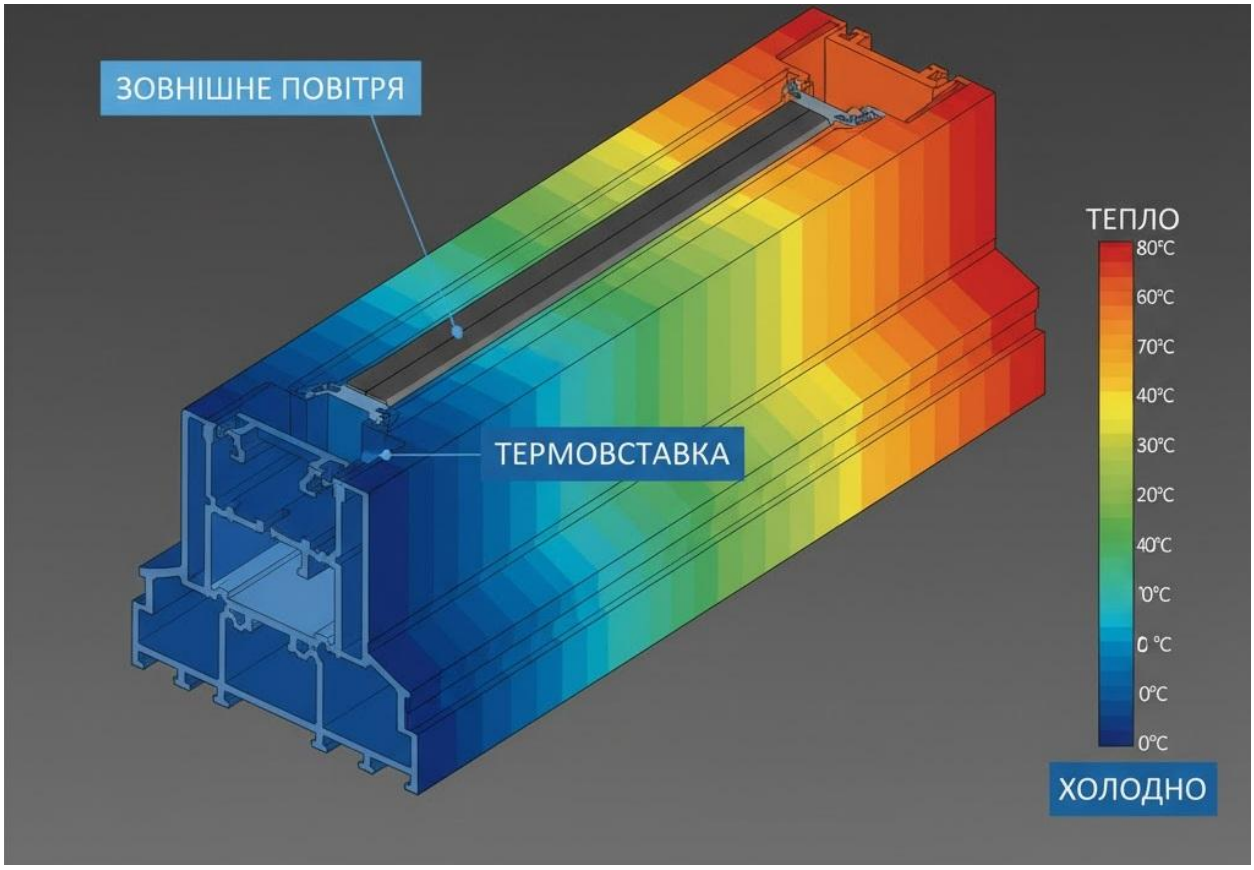


Рисунок 1.16 – Модель розподілу температур у алюмінієвому профілі (Ansys)

- Дослідження вузлів примикання:

НДІБК активно працює над розробкою та стандартизацією енергоефективних вузлів примикання віконних та фасадних конструкцій до стін будівель. Це надзвичайно важливо для запобігання утворенню "містків холоду", конденсату та плісняви, особливо враховуючи вимоги ДБН В.2.6-31 щодо мінімальної температури внутрішніх поверхонь.

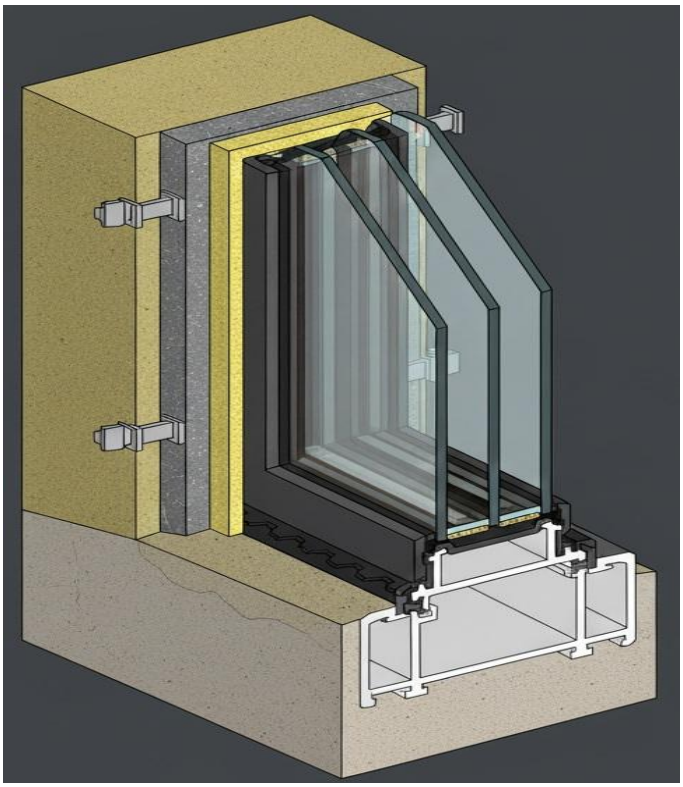


Рисунок 1.17 – Вузол примикання алюмінієвого вікна до зовнішньої стіни

- Аналіз довговічності та експлуатаційної надійності:

Досліджуються питання стійкості алюмінієвих конструкцій до вітрових навантажень, впливу температурних деформацій, корозійної стійкості покриттів (анодування, порошкове фарбування) у різних кліматичних зонах України.

- Інноваційні системи:

Хоча менш поширені через вартість, але досліджуються і подвійні вентильовані фасади та інтегровані системи з рекуперацією тепла. Такі дослідження проводяться як в університетах, так і виробниками у співпраці з

науковцями (рисунок 1.15).

Українська галузь алюмінієвих світлопрозорих конструкцій демонструє стабільний розвиток, поєднуючи власні інженерні рішення з активними науковими дослідженнями. Вітчизняні системи поступово досягають європейського рівня, зберігаючи при цьому доступність та адаптованість до кліматичних умов України.

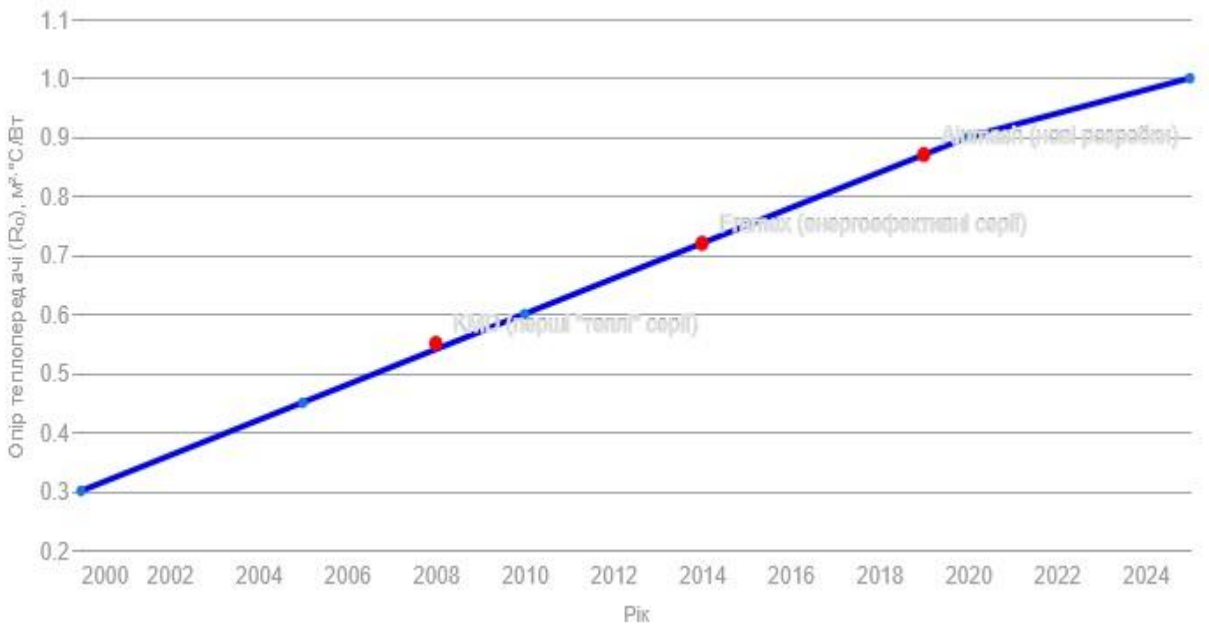


Рисунок 1.18 – Еволюція українських алюмінієвих систем (2000–2024 рр.)

1.6 Висновок до розділу 1

В ході аналізу вітчизняного та зарубіжного досвіду в галузі розробок щодо поліпшення теплотехнічних характеристик вікон та вітражів з алюмінієвого профілю, було виявлено, що на даний момент ведеться робота зі збільшення кількості повітряних камер склопакета, а також із впровадження додаткових покриттів скла, що дозволяють утримувати тепло всередині приміщення. У свою чергу, алюмінієвий профіль удосконалюється різними вставками з підвищеними теплотехнічними властивостями.

Таким чином, для встановлення оптимальних та рекомендованих до подальшого застосування алюмінієвих світлопрозорих конструкцій у кліматичних умовах України, в наступних розділах будуть описані методи та інструменти, що використовуються для визначення теплотехнічних характеристик глухих вітражів, а також виконані розрахунки на відповідність чинній нормативно-технічній документації та економічна оцінка з позиції енергоефективності.

РОЗДІЛ 2
РОЗРАХУНОК СВІТЛОПРОЗОРИХ АЛЮМІНІЄВИХ КОНСТРУКЦІЙ

2.1 Методика проведення дослідження та аналіз результатів

Для розрахунку світлопрозорих алюмінієвих конструкцій підібрані базові вузли, основним з яких є вузол перерізу алюмінієвого профілю зі вставленими по краях склопакетами, за якими і буде проведена вибірка (рисунок 2.1).

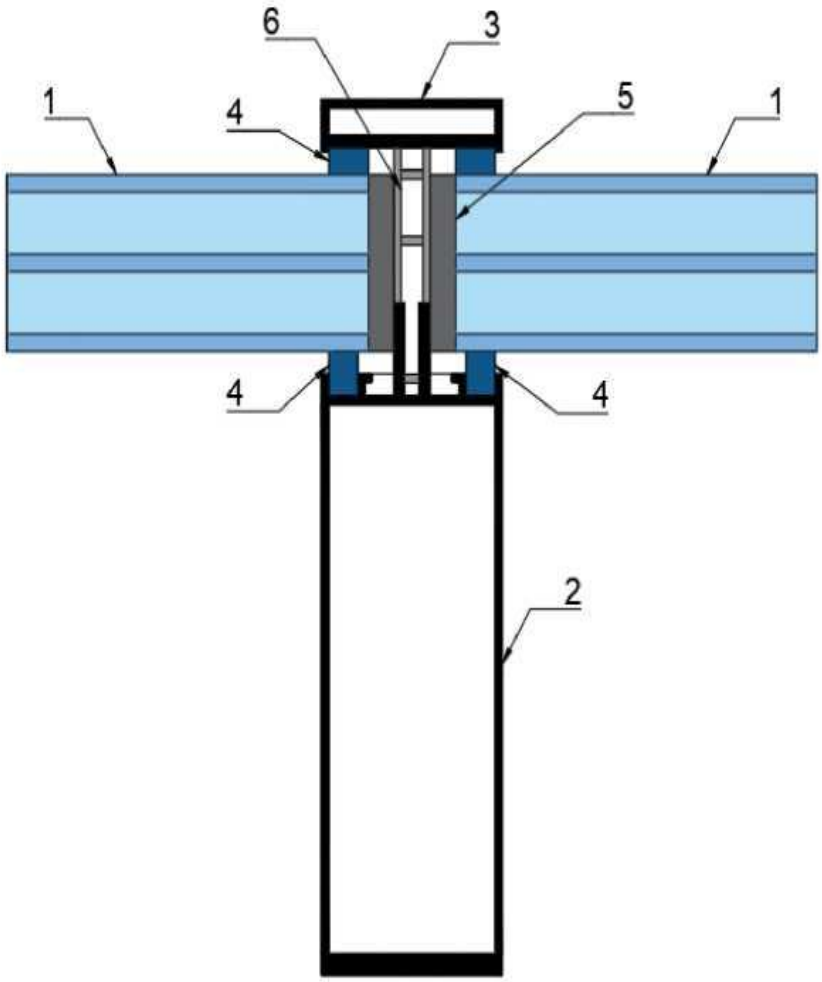


Рисунок 2.1 – Типовий вузол розрахунку

1 – двокамерний склопакет, 2 – алюмінієвий профіль системи Forte FA50, 3 – алюмінієвий тримач і кришка КП50, 4 – гумовий ущільнювач, 5 – підкладка під склопакет, 6 – термовставка ПВХ

Маючи готову схему, необхідно створити розрахункову модель конструкції для подальшого аналізу та вибору оптимального рішення для поліпшення теплотехнічних характеристик за допомогою програмних комплексів THERM 7.6 та WINDOW 7.6[23,24].

2.2 Основа програми THERM

Програма THERM у своїй роботі використовує розв'язання двовимірної (плоскої) задачі теплопровідності та радіаційний аналіз теплопередачі, заснований на методі скінченних елементів, який може моделювати складні конфігурації світлопрозорих конструкцій спільно з ПК WINDOW. Загалом вони є інструментами математичного моделювання двовимірних температурних полів.

Математичне моделювання допомагає оптимізувати процес дослідження та виявити проблеми, пов'язані з накопиченням вологи через випадання конденсату. Також чисельне моделювання не вимагає економічних витрат, це, у свою чергу, робить дослідження найбільш доступним.

Процес поширення тепла описує рівняння теплопровідності:

$$\frac{\partial}{\partial_x}\lambda\frac{\partial T}{\partial_x}+\frac{\partial}{\partial_y}\lambda\frac{\partial T}{\partial_y}=0, \qquad (2.1)$$

де λ – коефіцієнт теплопровідності, Вт/(м °С);

Т – температура, °С.

Для виконання теплотехнічного розрахунку за допомогою математичного моделювання визначаються умови однозначності:

– геометрична форма області розрахунку;

– властивості матеріалів конструкції;

– розрахункові параметри зовнішнього та внутрішнього середовища.

2.3 Розрахунок у програмі THERM та WINDOW

У роботі основним критерієм вибірки для оптимізації конструкції є вид заповнення – це марка склопакета. Дистанційна рамка застосовується алюмінієва шириною 14 мм. Досліджувані склопакети:

– Двокамерний склопакет шириною 40 мм (СПД 4М1-14-4М1-14-4М1);

– Двокамерний енергозберігаючий склопакет шириною 40 мм (СПД 4М1-14Ar-4М1-14Ar-4М1);

– Двокамерний енергозберігаючий склопакет шириною 40 мм з ТОП-покриттям (СПД 4М1-14Ar-4М1-14Ar-4ТОП).

Тепер складемо модель розрахунку для кожного з варіантів. Для цього виконуємо наступне:

1. Креслимо полігони для представлення геометрії профілю.

2. Систему скління імпортуємо з програми WINDOW 7.6 (конструкція склопакета була попередньо задана, див. рисунок 2.2). Як дистанційну рамку використовуємо алюмінієву.

3. Після того, як рисунок готовий, задаємо матеріали кожному полігону. Використовуємо бібліотеку матеріалів THERM за замовчуванням для твердих тіл моделі або порожнин рами, у разі потреби створюємо нові матеріали (рисунок 2.3).

Властивості використовуваних матеріалів наведені в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 – Властивості використовуваних матеріалів

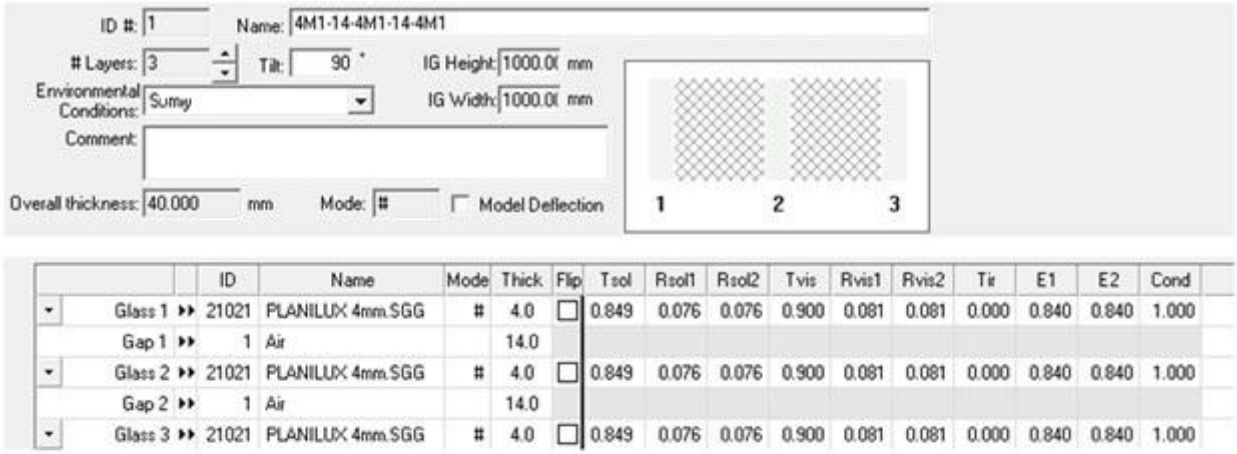
Матеріал	Коефіцієнт теплопровідності λ_A, Вт/(м·°С)	Джерело
Пінополістирол ППС100	0,039	З бібліотеки ПК THERM
Скло	0,75	- " -
Полівінілхлорид	0,16	- " -
Піна монтажна	0,05	- " -
Алюмінієвий сплав	165	- " -
Ущільнювач	0,16	- " -
Повітряний прошарок	Варіюється програмою	- " -

Розрахункові параметри зовнішнього та внутрішнього середовища наведені в таблиці 2.2.

Таблиця 2.2 – Розрахункові параметри зовнішнього та внутрішнього середовища

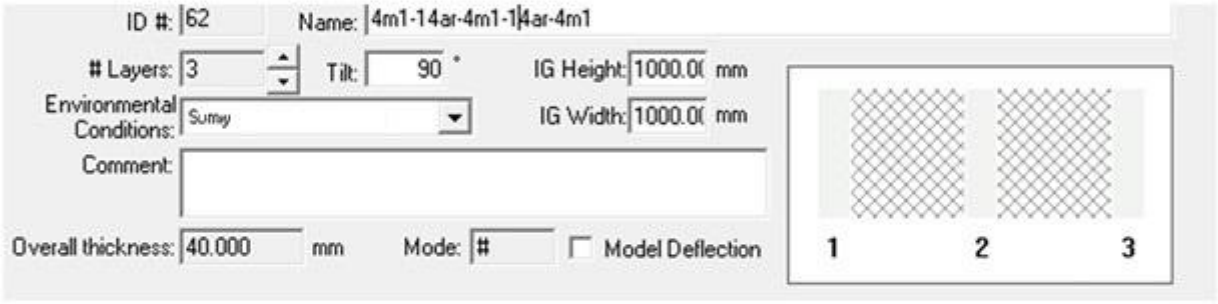
Параметри	Значення параметрів	Джерело
1. Населений пункт	м. Суми	-
2. Розрахункова температура зовнішнього повітря, $t_н$, °С	-25	ДСТУ-Н Б В.1.1-27:2010
3. Розрахункова температура внутрішнього повітря, $t_в$, °С – громадські приміщення 2 категорії	20	ДБН В.2.5-67:2013
4. Розрахункова відносна вологість внутрішнього повітря, $\phi_в$, % – громадські приміщення 2 категорії	50	ДБН В.2.6-31:2021
5. Температура «точки роси» – громадські приміщення 2 категорії	9,3	ДБН В.2.6-31:2021
6. Коефіцієнт тепловіддачі зовнішньої поверхні $\alpha_з$, Вт/(м^2·°С) - стіни - віконного блоку	23 23	ДБН В.2.6-31:2021
7. Коефіцієнт тепловіддачі внутрішньої поверхні $\alpha_в$, Вт/(м^2·°С) - стіни - вікна	8,6 8,1	ДБН В.2.6-31:2021
8. Вологісний режим приміщень	Нормальний	ДБН В.2.6-31:2021
9. Зона вологості території будівництва	Суха	ДБН В.2.6-31:2021
10. Умови експлуатації огороджувальних конструкцій	А	ДБН В.2.6-31:2021

а)



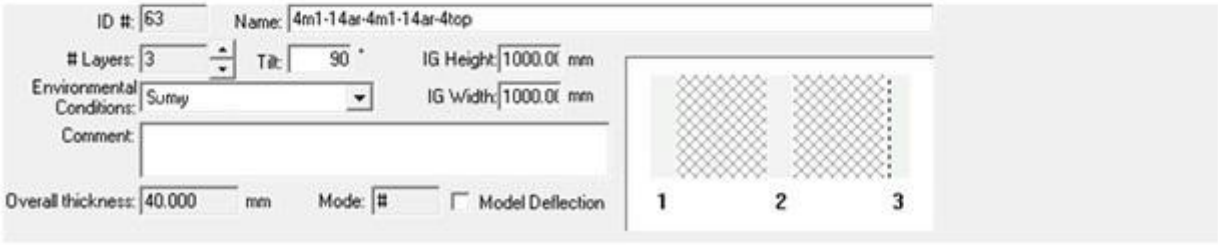
	ID	Name	Mode	Thick	Flip	Tsol	Rsol1	Rsol2	Tvis	Rvis1	Rvis2	Tir	E1	E2	Cond
Glass 1	21021	PLANILUX 4mm.SGG	#	4.0		0.849	0.076	0.076	0.900	0.081	0.081	0.000	0.840	0.840	1.000
Gap 1	1	Air		14.0											
Glass 2	21021	PLANILUX 4mm.SGG	#	4.0		0.849	0.076	0.076	0.900	0.081	0.081	0.000	0.840	0.840	1.000
Gap 2	1	Air		14.0											
Glass 3	21021	PLANILUX 4mm.SGG	#	4.0		0.849	0.076	0.076	0.900	0.081	0.081	0.000	0.840	0.840	1.000

б)



	ID	Name	Mode	Thick	Flip	Tsol	Rsol1	Rsol2	Tvis	Rvis1	Rvis2	Tir	E1	E2	Cond
Glass 1	21021	PLANILUX 4mm.SGG	#	4.0		0.849	0.076	0.076	0.900	0.081	0.081	0.000	0.840	0.840	1.000
Gap 1	2	Argon		14.0											
Glass 2	21021	PLANILUX 4mm.SGG	#	4.0		0.849	0.076	0.076	0.900	0.081	0.081	0.000	0.840	0.840	1.000
Gap 2	2	Argon		14.0											
Glass 3	21021	PLANILUX 4mm.SGG	#	4.0		0.849	0.076	0.076	0.900	0.081	0.081	0.000	0.840	0.840	1.000

в)



	ID	Name	Mode	Thick	Flip	Tsol	Rsol1	Rsol2	Tvis	Rvis1	Rvis2	Tir	E1	E2	Cond
Glass 1	21021	PLANILUX 4mm.SGG	#	4.0		0.849	0.076	0.076	0.900	0.081	0.081	0.000	0.840	0.840	1.000
Gap 1	2	Argon		14.0											
Glass 2	21021	PLANILUX 4mm.SGG	#	4.0		0.849	0.076	0.076	0.900	0.081	0.081	0.000	0.840	0.840	1.000
Gap 2	2	Argon		14.0											
Glass 3	21434	PLANITHERM XN 4mm.	#	4.0		0.642	0.292	0.260	0.901	0.049	0.059	0.000	0.050	0.840	1.000

а) - СПД 4М1-14-4М1-14-4М1; б) - СПД 4М1-14Ar-4М1-14Ar-4М1;
в) - СПД 4М1-14Ar-4М1-14Ar-4ТОП

Рисунок 2.2 - Конструкція склопакета в ПК WINDOW 7.6 33

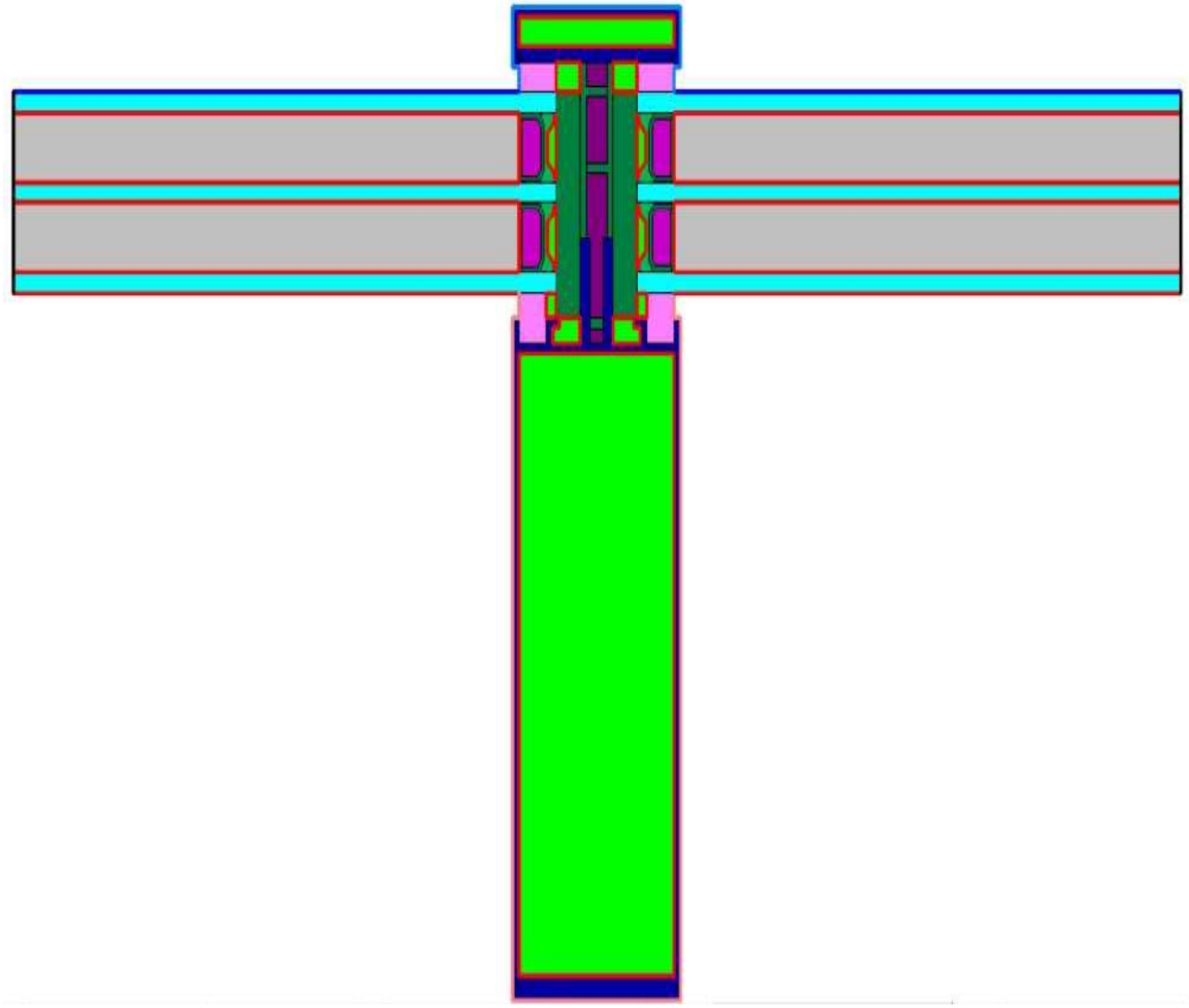


Рисунок 2.3 - Модель розрахунку

Далі задаємо граничні умови для району будівництва м. Суми (рисунок 2.4). І безпосередньо переходимо до розрахунку.

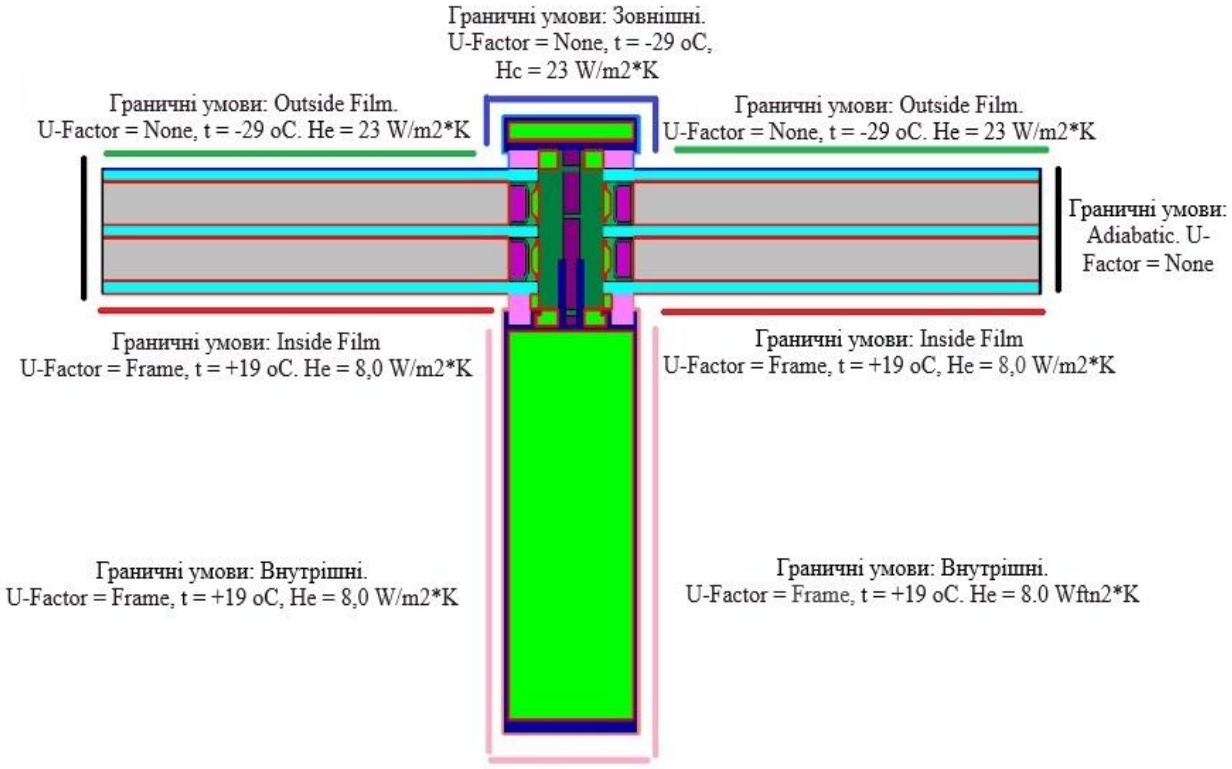


Рисунок 2.4 - Граничні умови для м. Суми

2.4 Результати

Отримані результати можуть бути представлені у вигляді:

– U-фактор (коефіцієнт теплопередачі Вт/(м^2·К));

– скінченно-елементна сітка;

– ізотерми;

– зображення векторів теплового потоку;

– градієнти температур;

– кольорові лінії теплового потоку;

– температури (локальне і середнє число, максимальне і мінімальне значення).

Таким чином, ми отримали 3 готові схеми з різним видом заповнення. Під час розрахунку визначалися значення температури на внутрішній поверхні конструкції для перевірки на відповідність санітарно- гігієнічним вимогам [1].

На рисунках 2.5-2.11 представлені ізотерми наших конструкцій.

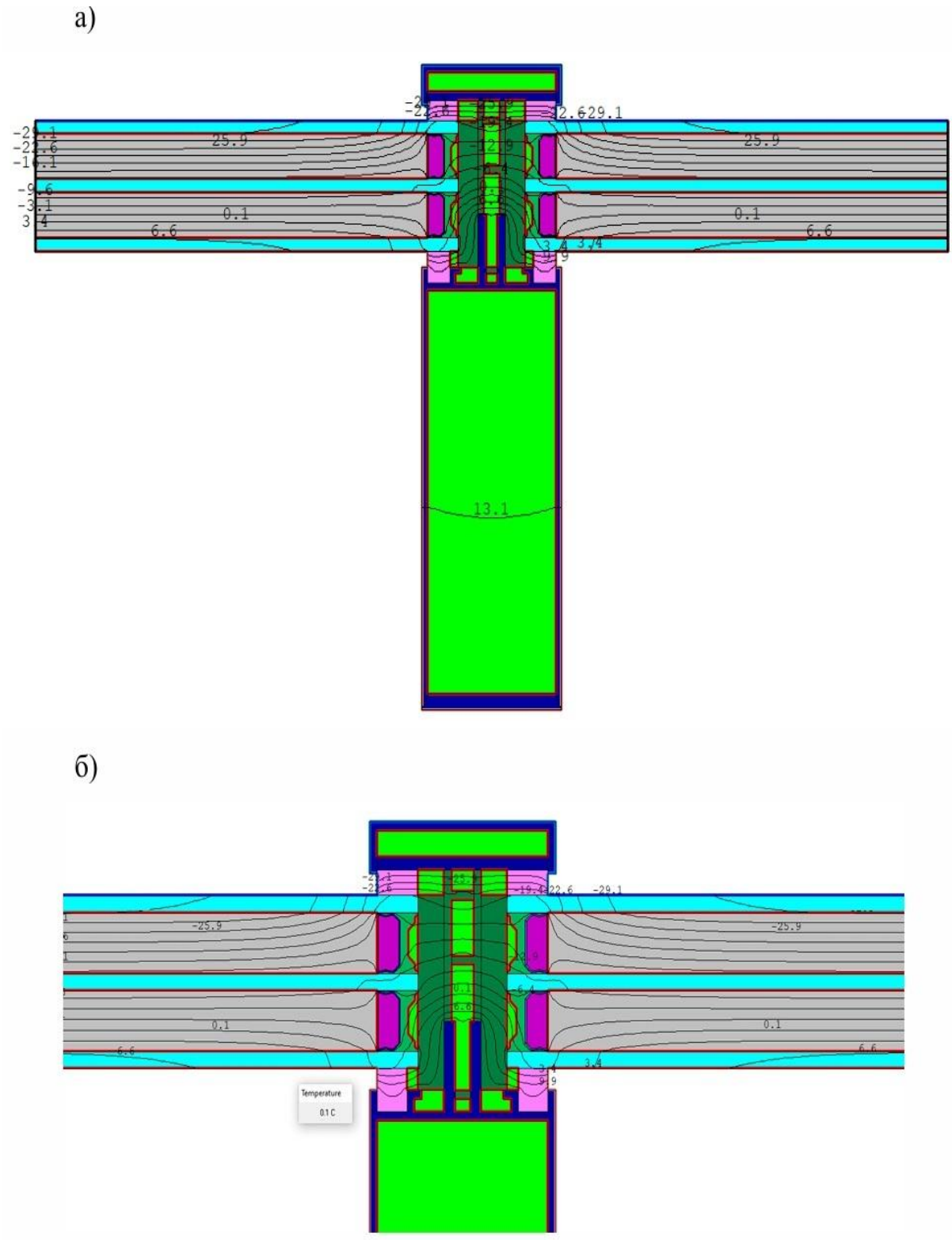


Рисунок 2.5 - Ізотерми варіанта 1

а) загальна схема розподілу ізотерм;

б) збільшена схема з мінімальною температурою в кутку склопакета

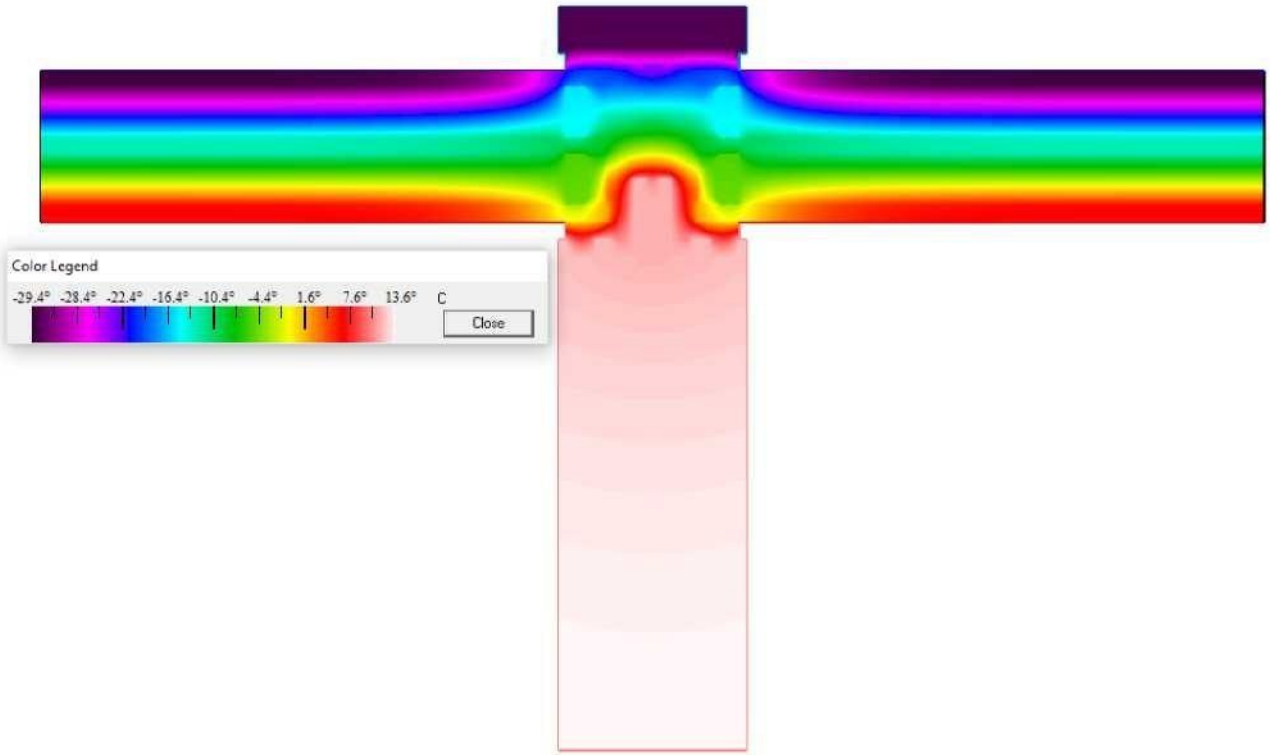


Рисунок 2.6 - Кольорові лінії теплового потоку варіанта 1

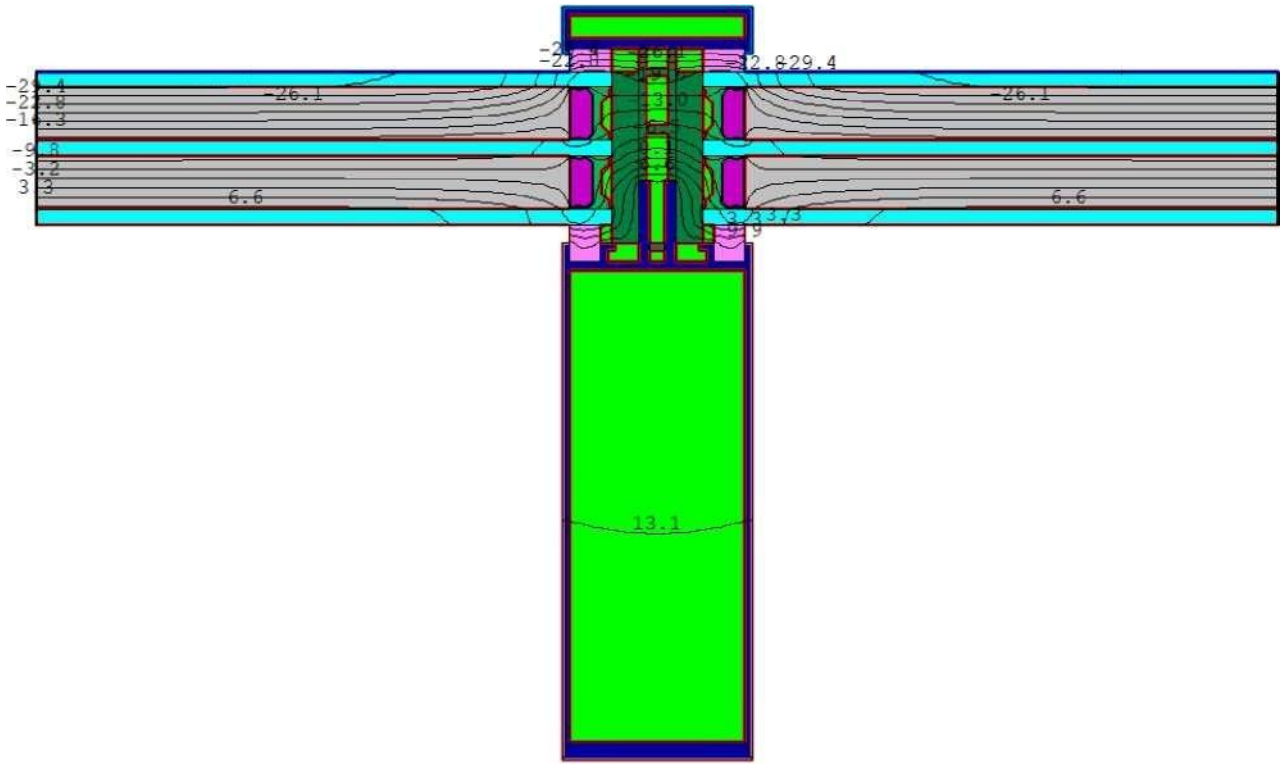


Рисунок 2.7 - Ізотерми варіанта 2_а)

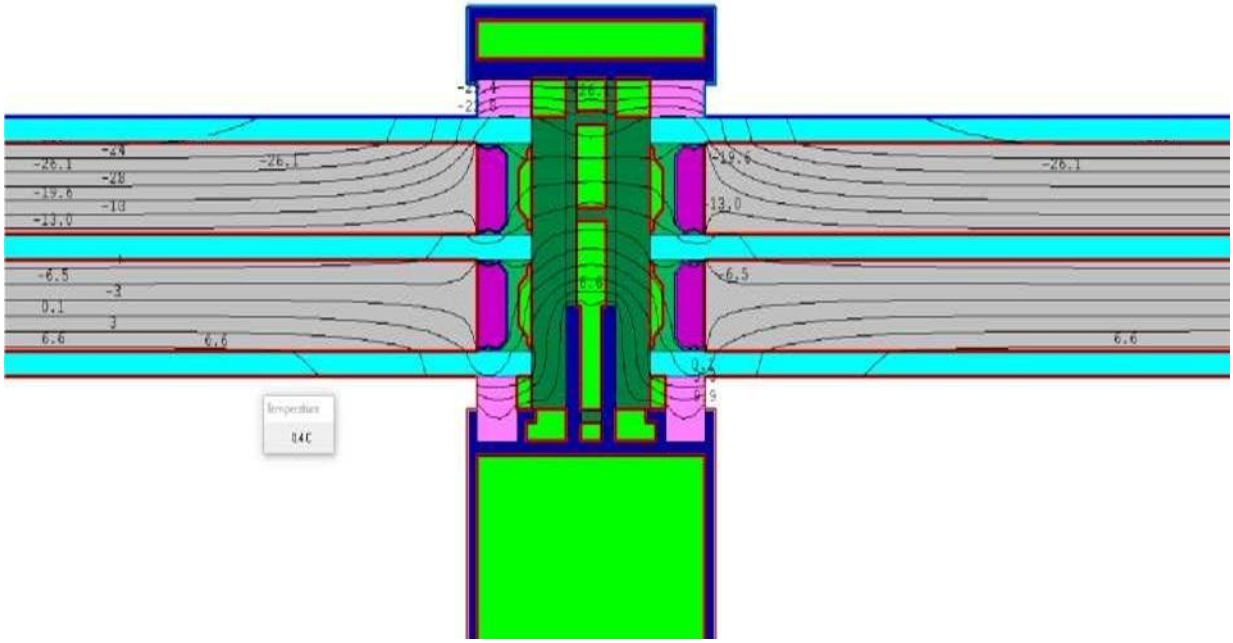


Рисунок 2.8 - Ізотерми варіанта 2_б)

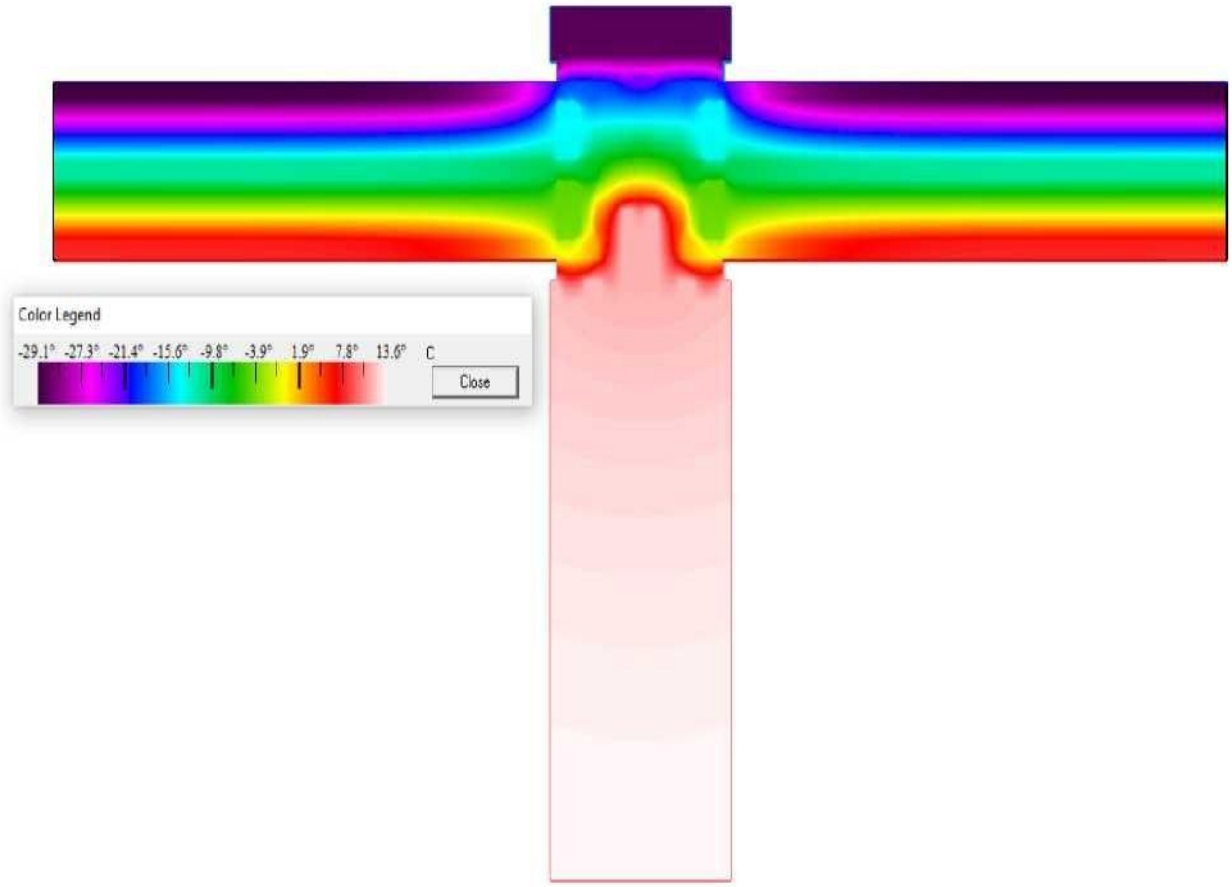


Рисунок 2.9 - Кольорові лінії теплового потоку варіанта 2

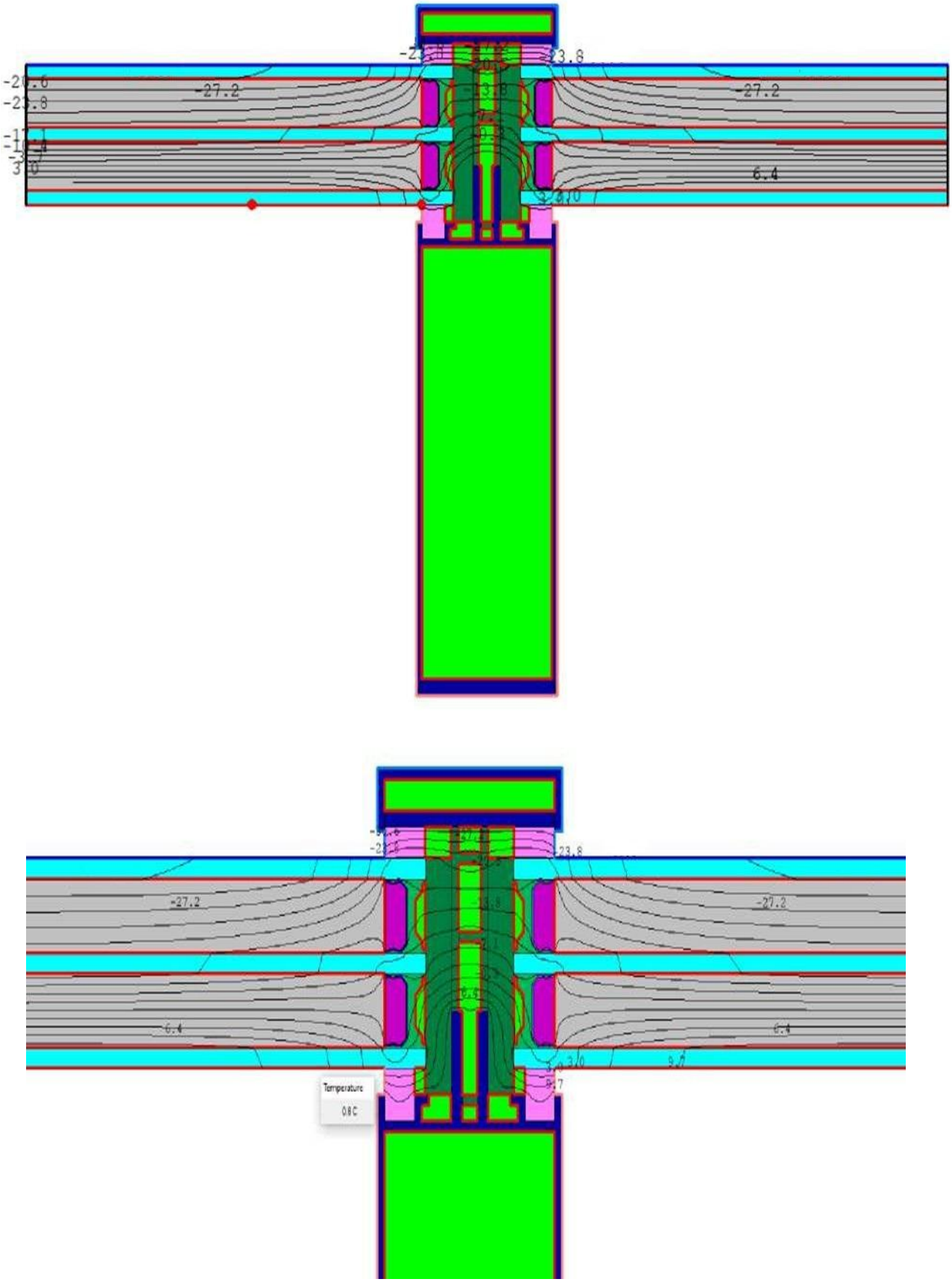


Рисунок 2.10 - Ізотерми варіанта 3

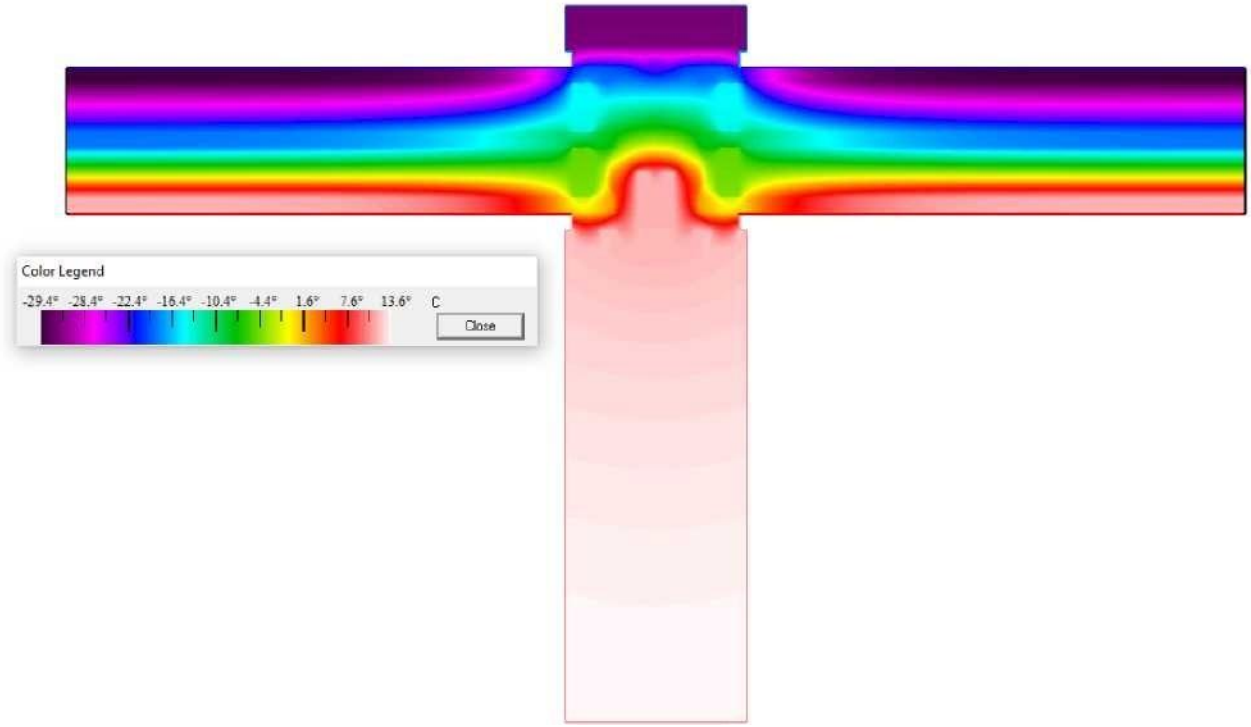


Рисунок 2.11 - Кольорові лінії теплового потоку варіанта 3

Під час проведення розрахунку виявлено, що застосування алюмінієвої дистанційної рамки дає незадовільні результати. Температура внутрішньої поверхні в місці примикання склопакета й алюмінієвого профілю становить 0,1°С – для варіанта 1 із заповненням СПД 4М1-14-4М1- 14-4М1; для варіанта 2 із заповненням СПД 4М1-14Ar-4М1-14Ar –4М1 – 0,4°С; для варіанта 3 із заповненням СПД 4М1-14Ar-4М1-14Ar–4ТОП – 0,8°С. Різниця значень першого і третього варіанта становить 12,5%.

Згідно з [24] мінімальне значення температури точки роси для м. Суми – 8,3°С. З цього випливає, що дані конструкції не проходять нормативні значення. Тому необхідна їхня модифікація.

2.5 Модифікація вітражної конструкції

За результатами проведених вище досліджень видно, що вразливим місцем у вітражній конструкції є зона переходу з полівінілхлоридної підкладки до склопакета, а це якраз наша дистанційна рамка. У попередніх розрахунках була використана рамка з алюмінію.

Враховуючи факт того, що в холодну пору року зниження температури на внутрішній поверхні світлопрозорого заповнення призводить до утворення конденсату і зволоження профілю, а за низьких температур – до утворення інею та криги, розглянемо застосування дистанційної рамки з полівінілхлориду і виконаємо розрахунок.

Результати представлені на рисунках 2.12–2.17.

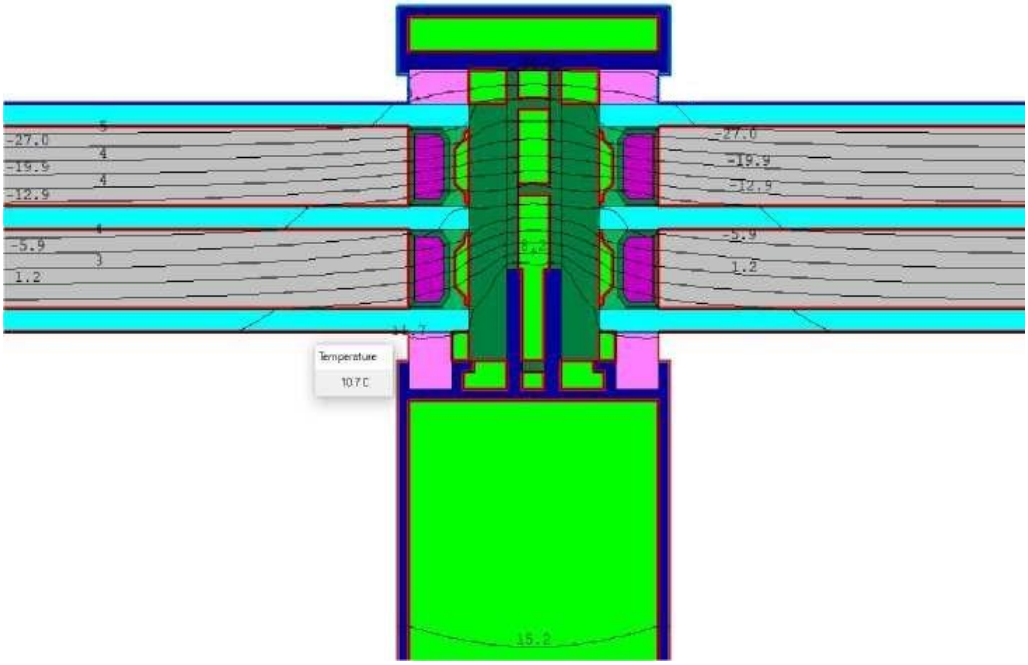


Рисунок 2.12 - Ізотерми варіанта 1 з дистанційною рамкою з ПВХ

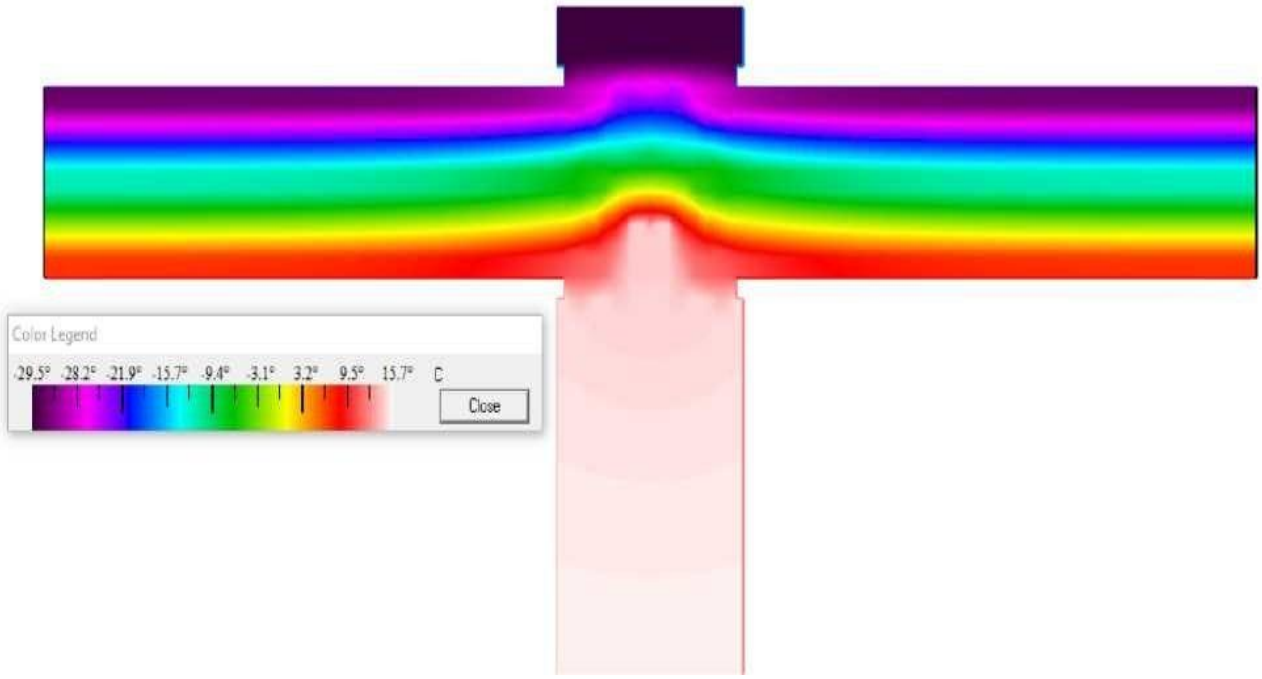


Рисунок 2.13 - Кольорові лінії теплового потоку варіанта 1 з рамкою з ПВХ

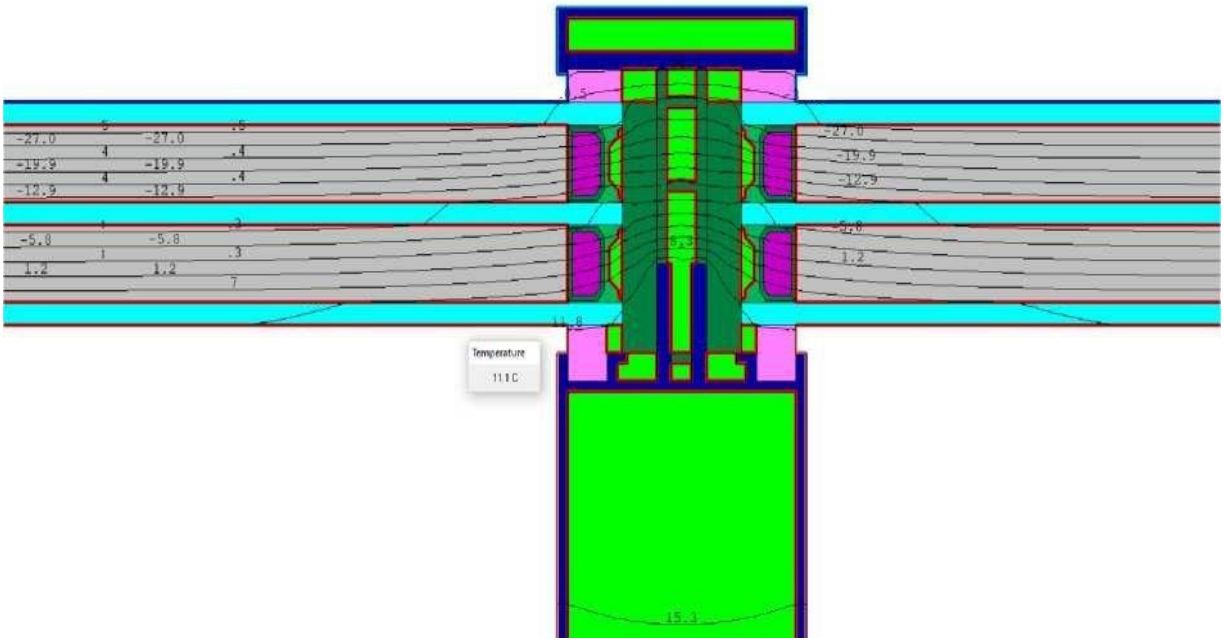


Рисунок 2.14 - Ізотерми варіанта 2 з дистанційною рамкою з ПВХ

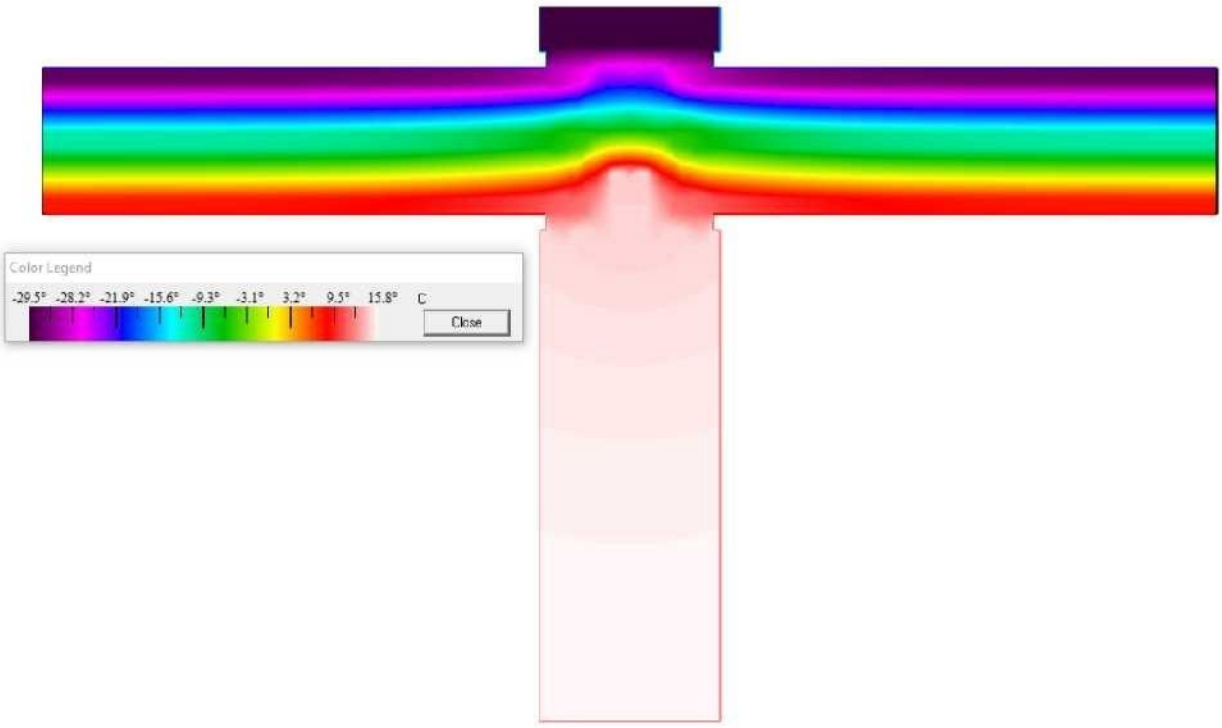


Рисунок 2.15 - Кольорові лінії теплового потоку варіанта 2 з дистанційною рамкою з ПВХ

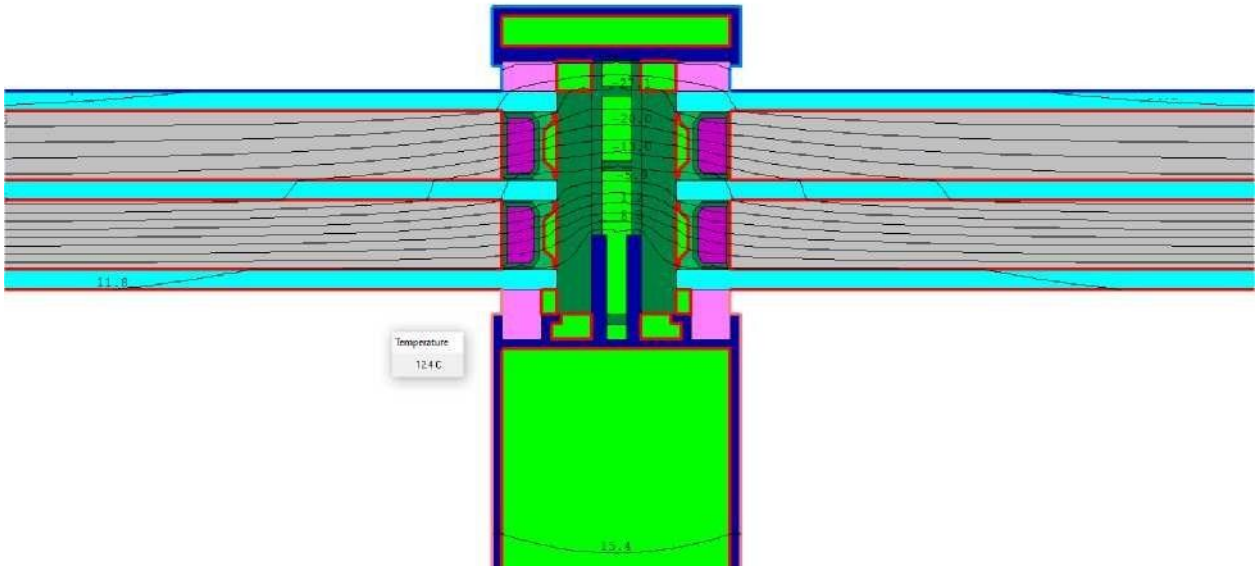


Рисунок 2.16 - Ізотерми варіанта 3 з дистанційною рамкою з ПВХ

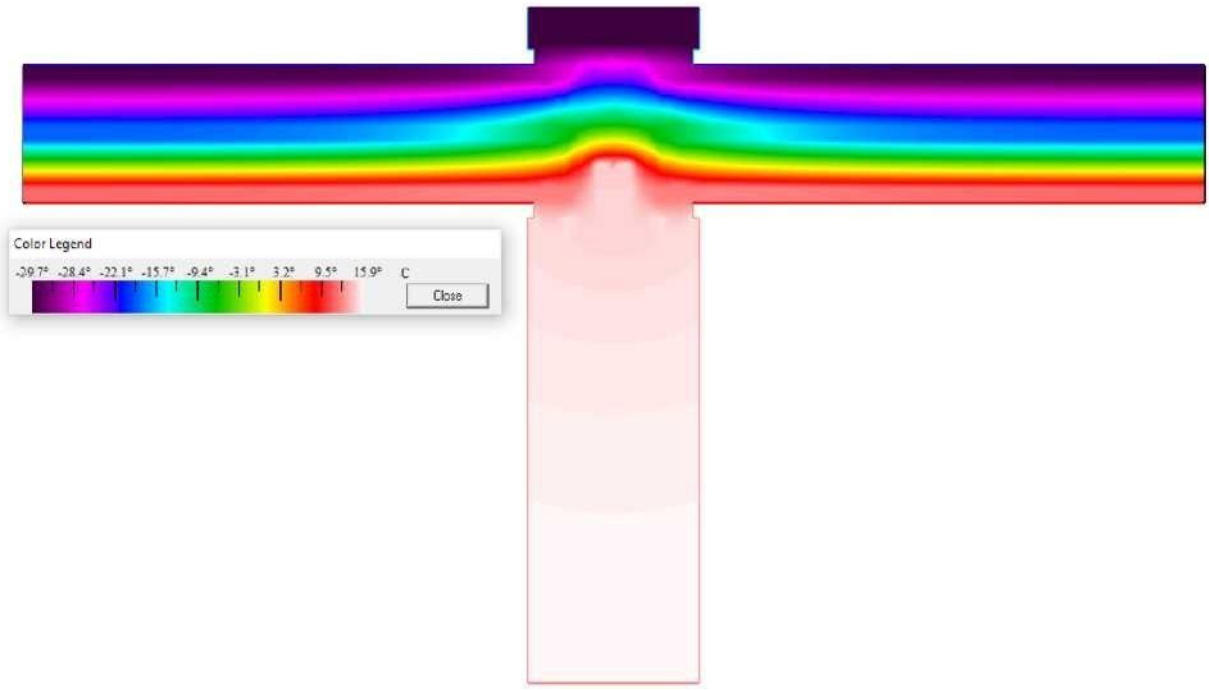


Рисунок 2.17 - Кольорові лінії теплового потоку варіанта 3 з дистанційною рамкою з ПВХ

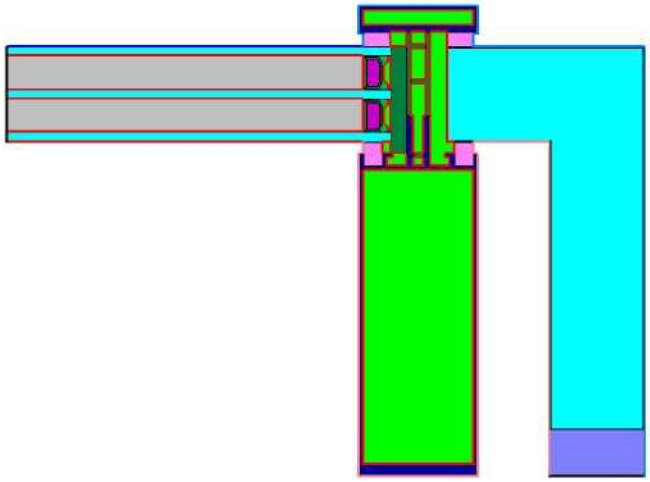
За результатами розрахунку на рисунках 2.12 - 2.17 наочно видно поліпшення теплотехнічних показників. Заміна дистанційної рамки з алюмінієвої на рамку з полівінілхлориду показала добрий результат. Температура внутрішньої поверхні в місці примикання склопакета й алюмінієвого профілю становить 10,7 ºС – для варіанта 1; 11,1 ºС – для варіанта

2; 12,4 °С – для варіанта 3.

2.6 Вузли кріплення вітражної конструкції

Для цілісності дослідження додатково розглянемо вузли кріплення вітражної конструкції до стін і плит перекриття будівлі. Це нижній вузол влаштування конструкції та боковий вузол кріплення (рисунок 2.18).

а)



б)

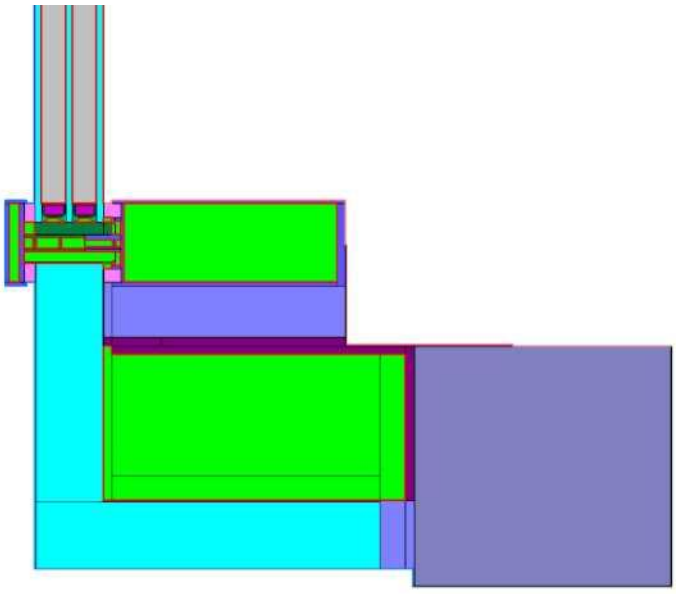


Рисунок 2.18 - Вузли кріплення вітражної конструкції

а) – боковий вузол кріплення, б) – нижній вузол кріплення

Розрахунок бокового вузла кріплення для варіанта 1 із заповненням СПД 4М1- 14-4М1-14-4М1 представлений на рисунках 2.19-2.21.

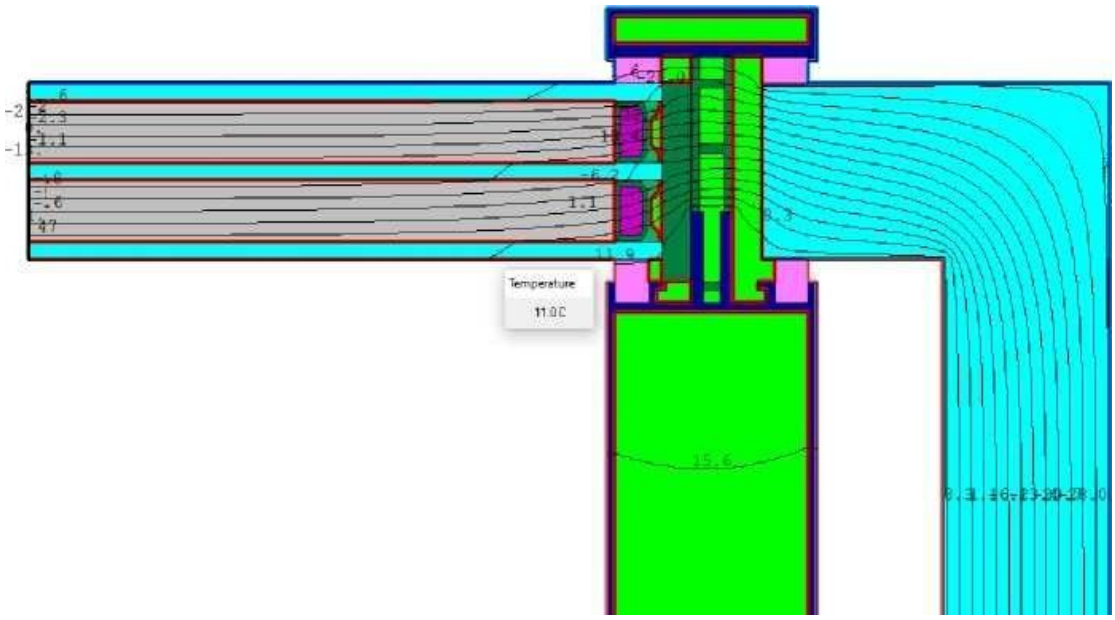


Рисунок 2.19 - Температура внутрішньої поверхні в місці примикання склопакета й алюмінієвого профілю для варіанта 1

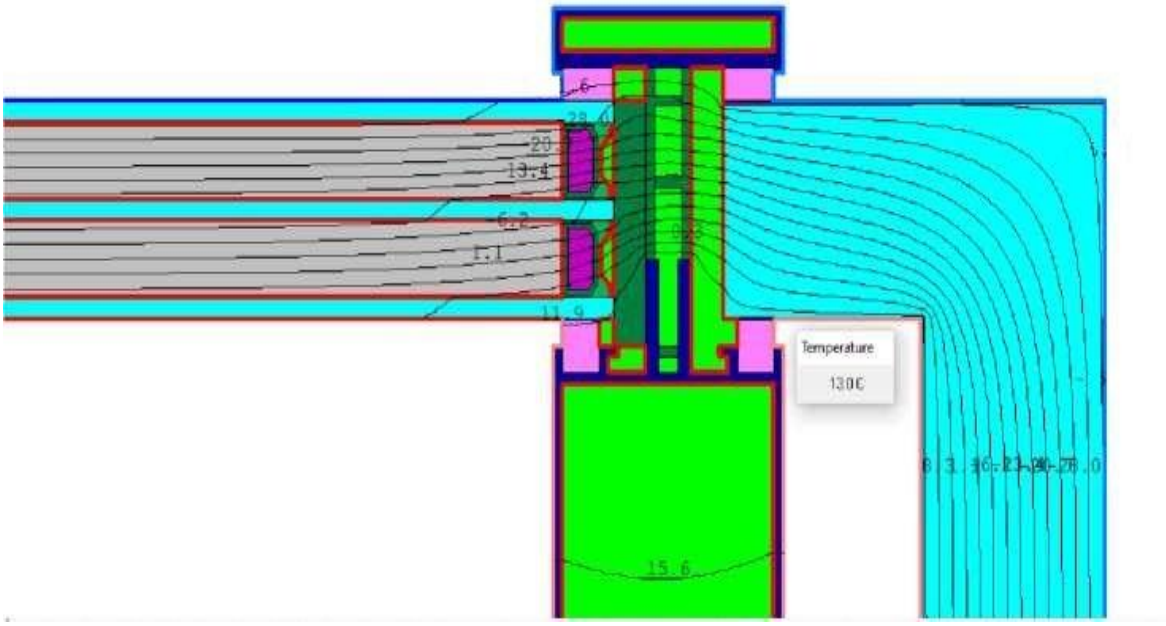


Рисунок 2.20 - Температура внутрішньої поверхні в місці примикання сендвіча й алюмінієвого профілю для варіанта 1

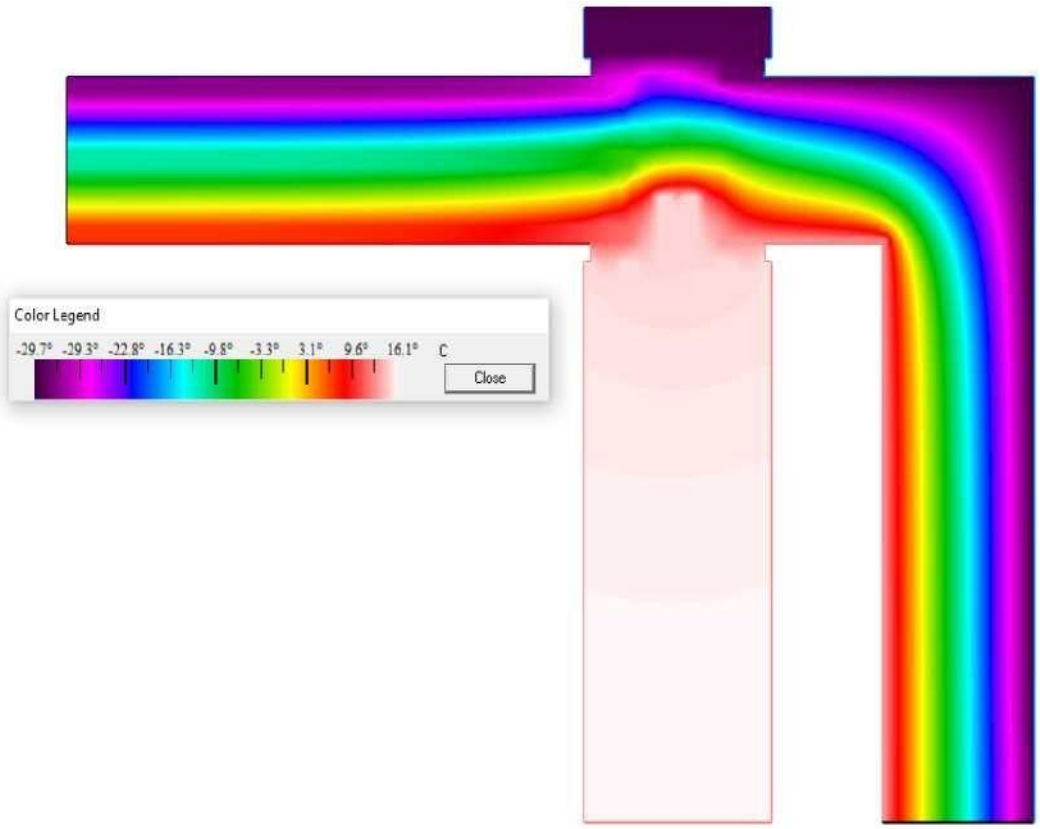


Рисунок 2.21 - Кольорові лінії теплового потоку бокового вузла для варіанта 1

Розрахунок бокового вузла кріплення для варіанта 2 із заповненням СПД 4M1- 14Ar-4M1-14Ar-4M1 представлений на рисунках 2.22-2.24.

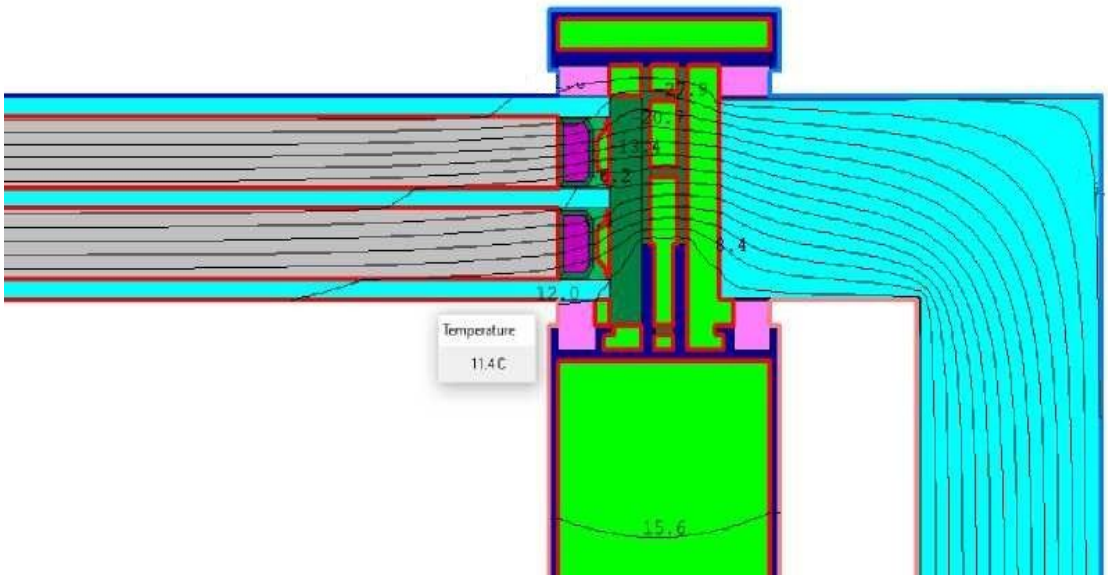


Рисунок 2.22 - Температура внутрішньої поверхні в місці примикання склопакета й алюмінієвого профілю для варіанта 2

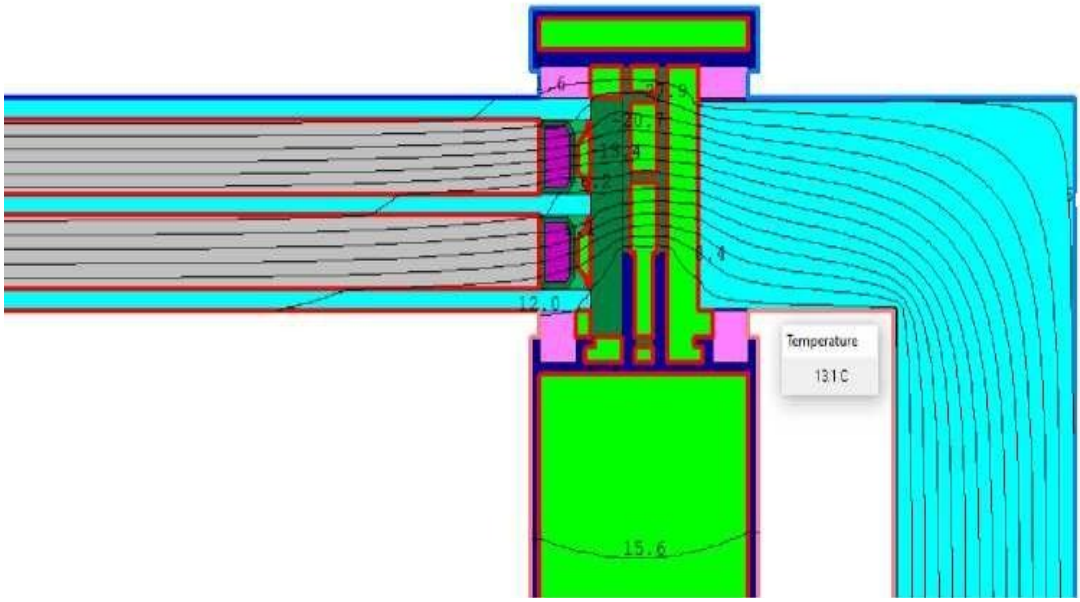


Рисунок 2.23 - Температура внутрішньої поверхні в місці примикання сендвіча й алюмінієвого профілю для варіанта 2

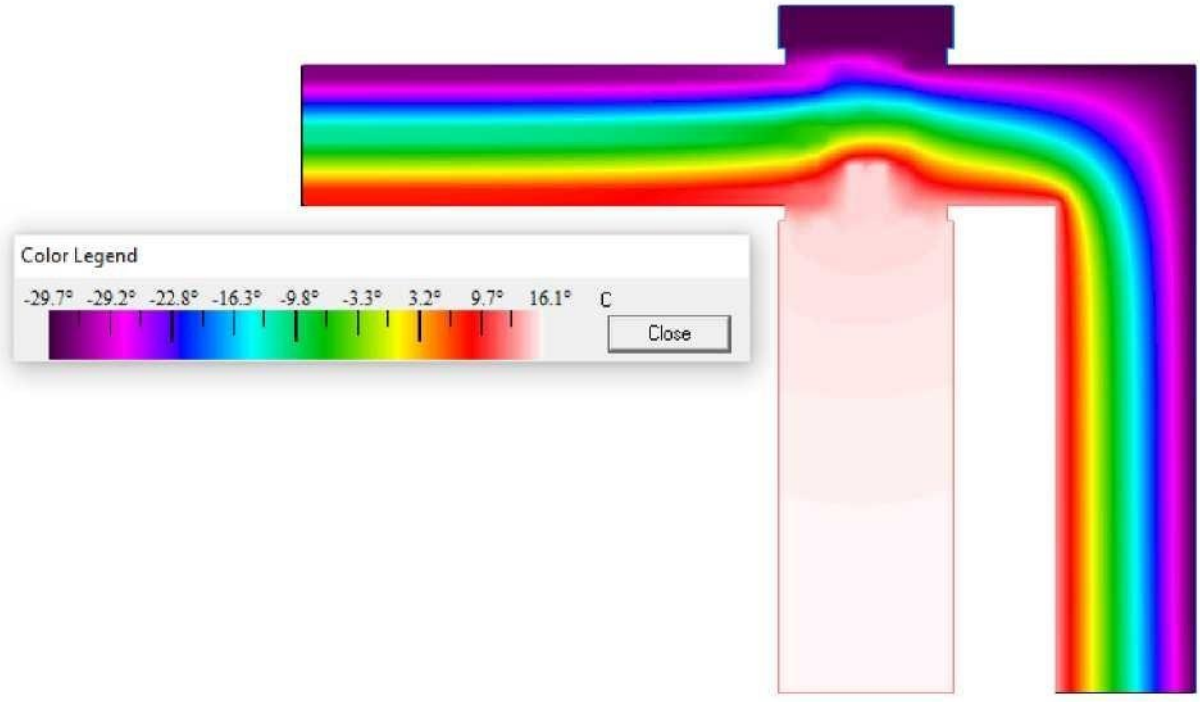


Рисунок 2.24 - Кольорові лінії теплового потоку бокового вузла для варіанта 2

Розрахунок бокового вузла кріплення для варіанта 3 із заповненням СПД 4М1- 14Ar-4М1-14Ar-4ТОП представлений на рисунках 2.25-2.27.

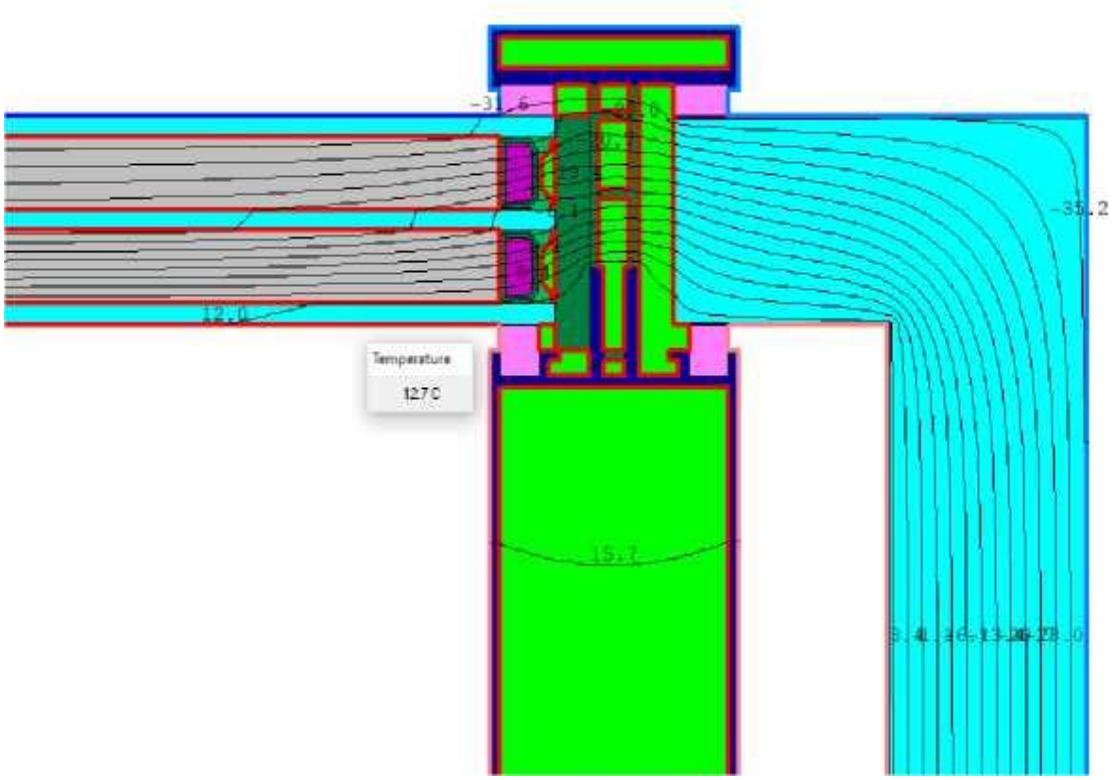


Рисунок 2.25 - Температура внутрішньої поверхні в місці примикання склопакета й алюмінієвого профілю для варіанта 3

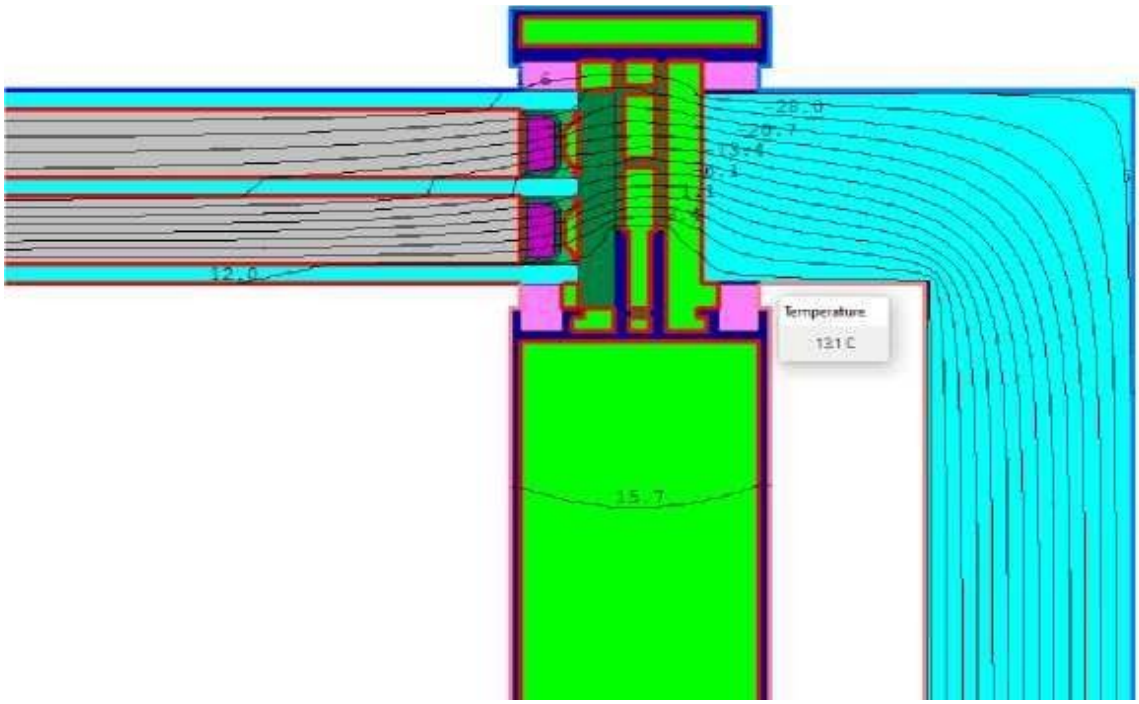


Рисунок 2.26 - Температура внутрішньої поверхні в місці примикання сендвіча й алюмінієвого профілю для варіанта 3

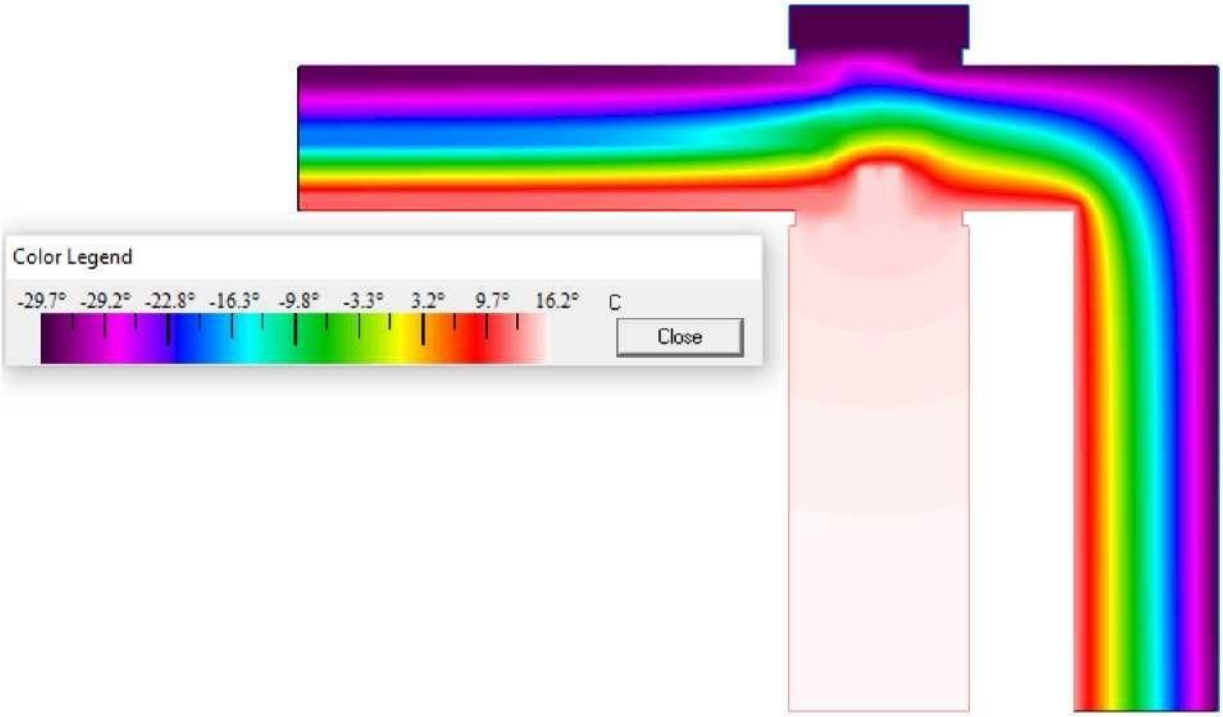


Рисунок 2.27 - Кольорові лінії теплового потоку бокового вузла для варіанта 3

Після розрахунку бокового вузла кріплення результати наступні. Температура внутрішньої поверхні в місці примикання склопакета й алюмінієвого профілю становить:

– для варіанта 1 – 11,0 °С;

– для варіанта 2 – 11,4 °С;

– для варіанта 3 – 12,7 °С;

У місці примикання сендвіча:

– для варіанта 1 – 13,0 °С;

– для варіанта 2 – 13,1 °С;

– для варіанта 3 – 13,1 °С.

Отже, результати задовольняють нормативні значення для кліматичних умов даного регіону. Також на рисунках 2.21, 2.24, 2.27 завдяки колірному спектру температур видно, що температура на внутрішній поверхні вітража максимальна і становить 16,1–16,2 °С [26].

Розрахунок нижнього вузла кріплення для варіанта 1 представлений на рисунках 2.28-2.29.

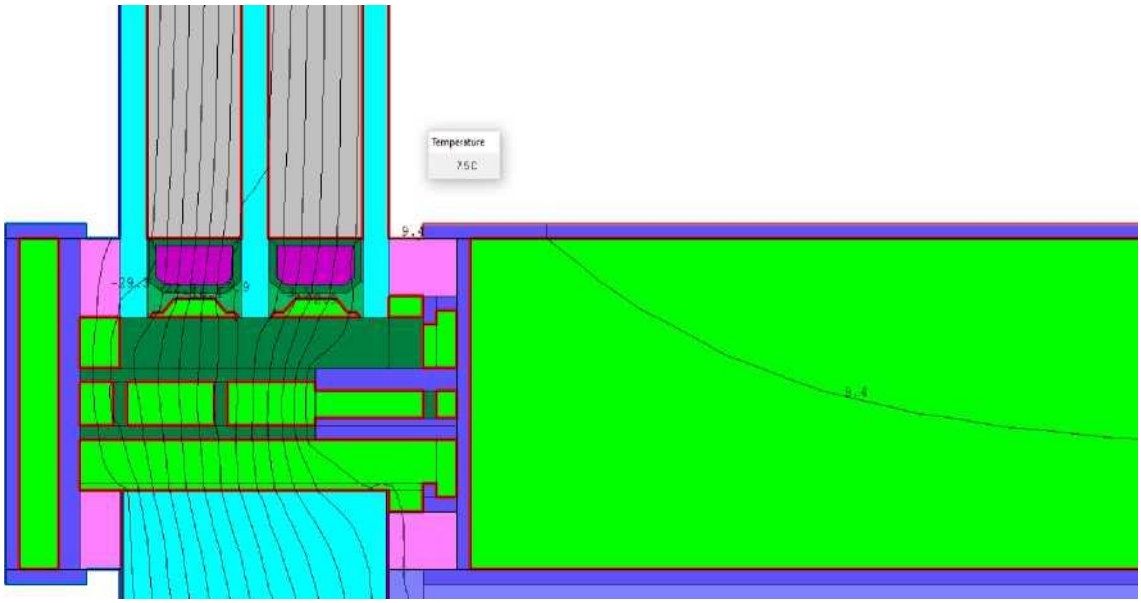


Рисунок 2.28 - Ізотерми нижнього вузла варіанта 1

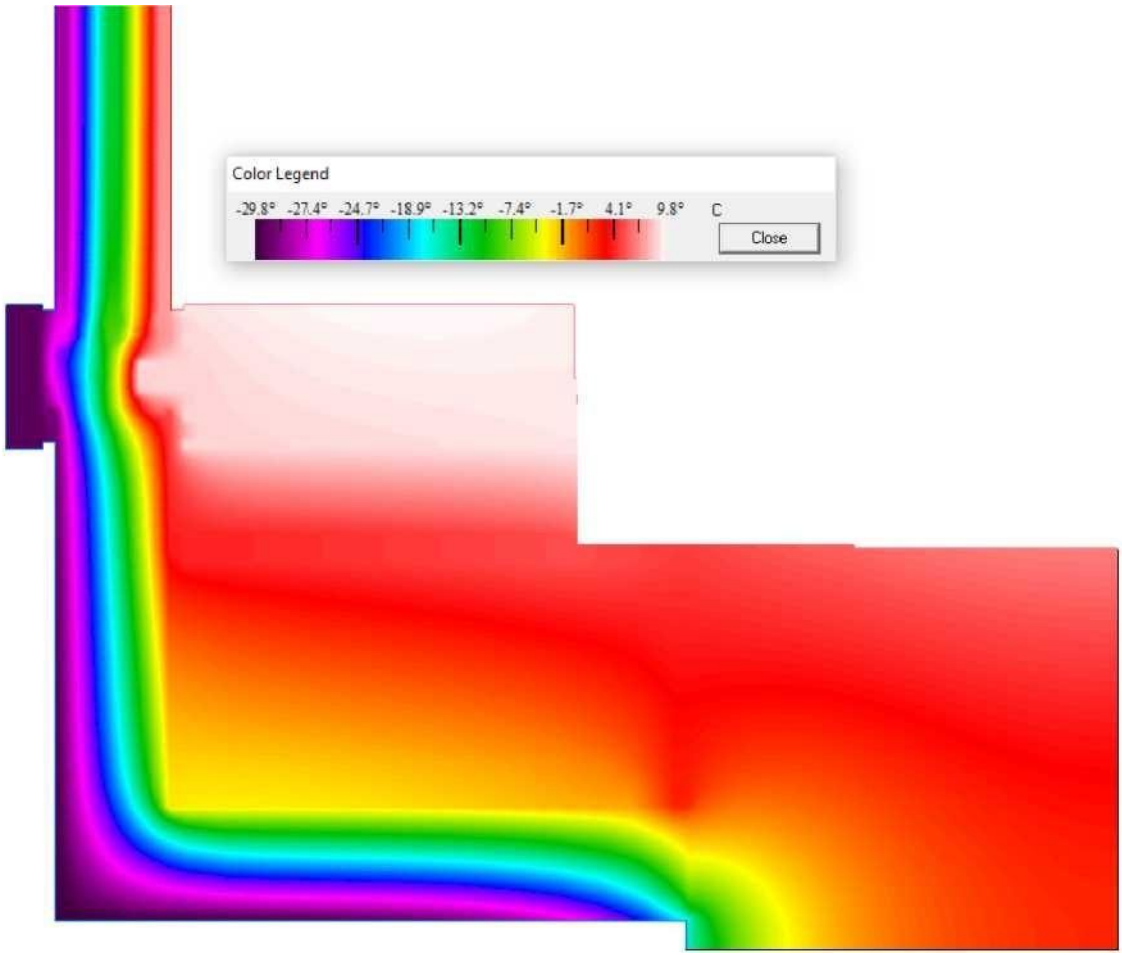


Рисунок 2.29 - Кольорові лінії теплового потоку нижнього вузла варіанта 1

Розрахунок нижнього вузла кріплення для варіанта 2 представлений на рисунках 2.31-2.32.

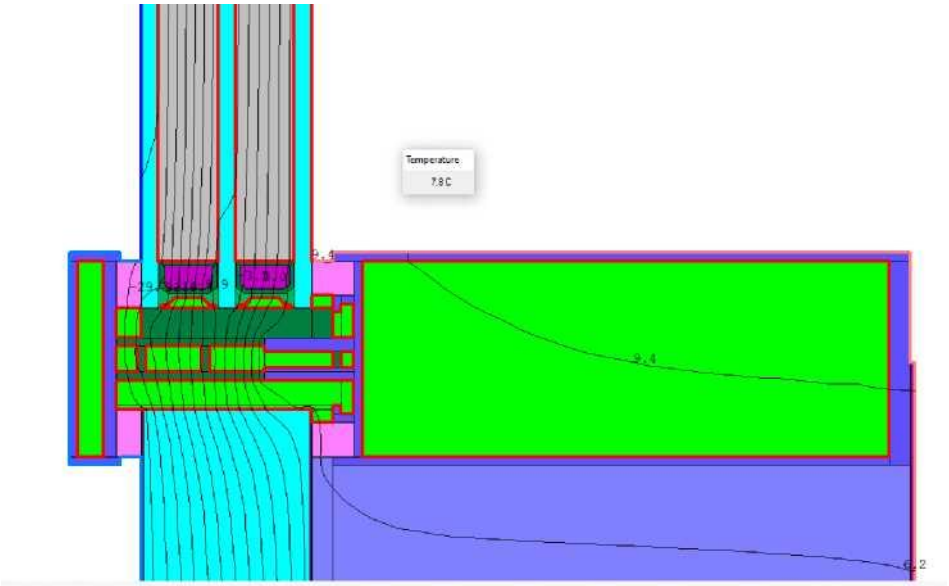


Рисунок 2.31 - Ізотерми нижнього вузла варіанта 2

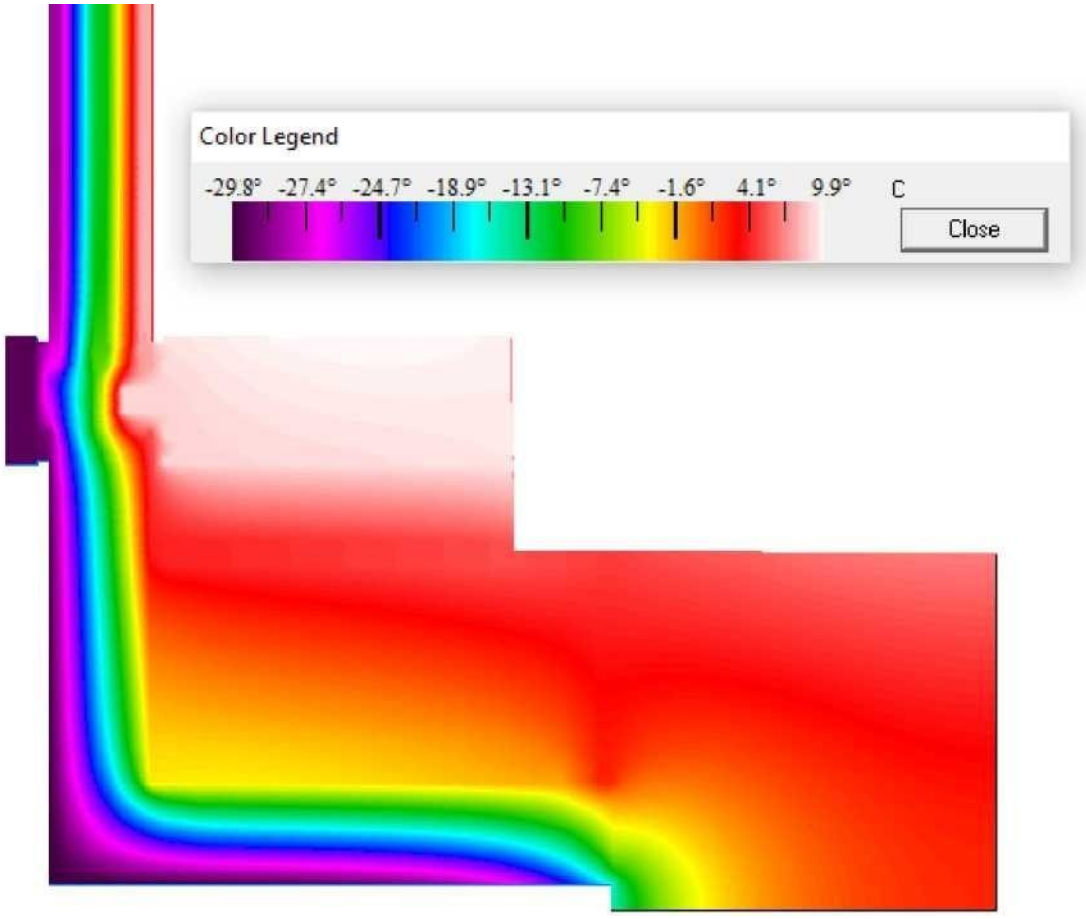


Рисунок 2.32 - Кольорові лінії теплового потоку нижнього вузла варіанта 2

Розрахунок нижнього вузла кріплення для варіанта 3 представлений на рисунках 2.33-2.34.

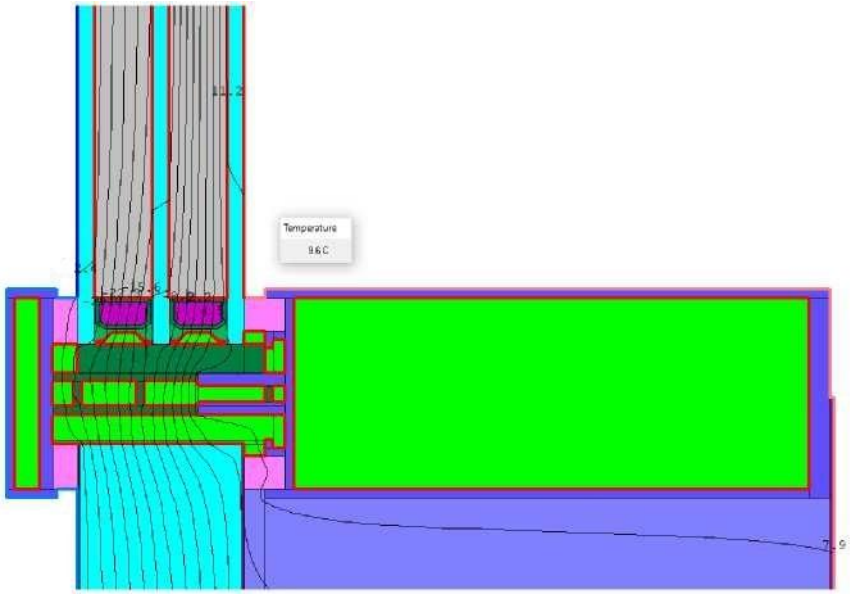


Рисунок 2.33- Ізотерми нижнього вузла варіанта 3

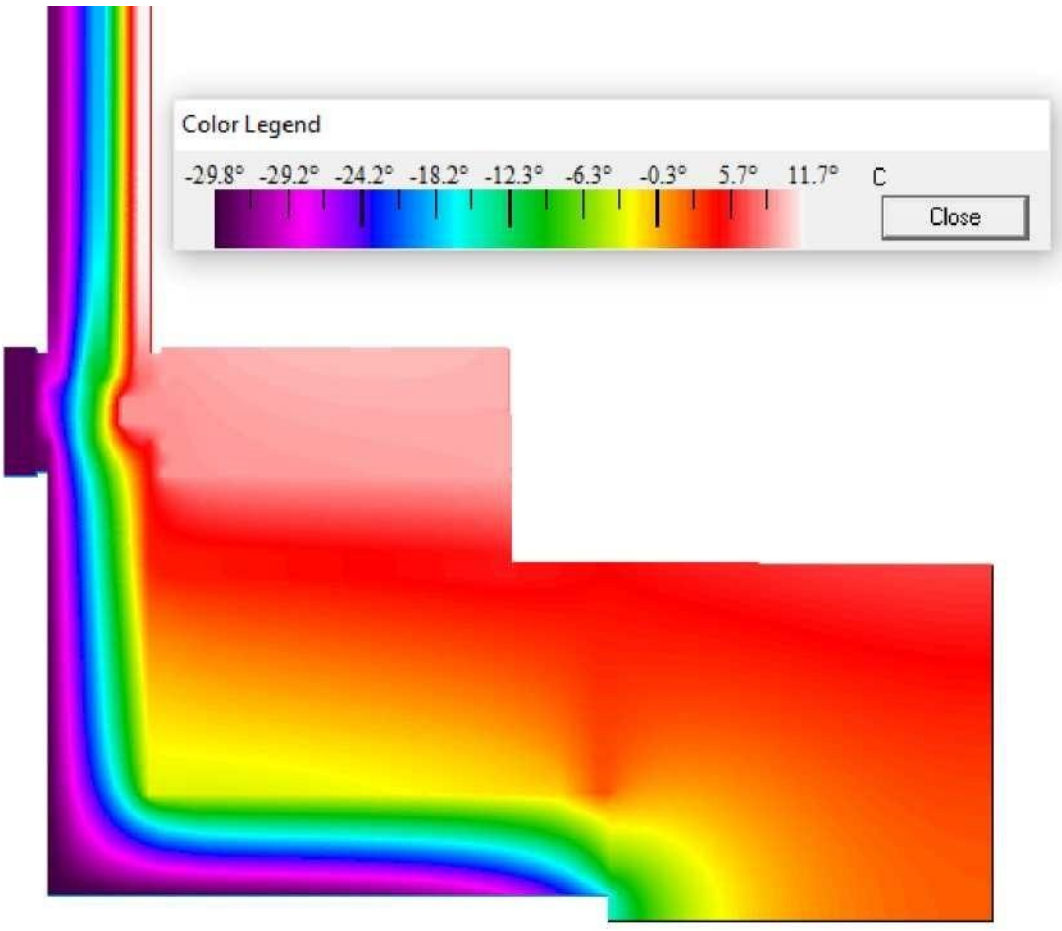


Рисунок 2.34 - Кольорові лінії теплового потоку нижнього вузла варіанта 3

У нижньому вузлі кріплення температура внутрішньої поверхні в місці примикання склопакета й алюмінієвого профілю становить:

– для варіанта 1 – 7,5 °С;

– для варіанта 2 – 7,8 °С;

– для варіанта 3 – 9,6 °С.

Перші два варіанти не задовольняють нормативні значення, де мінімальне значення температури точки роси – 8,3 °С. На колірній легенді температура на поверхні склопакета й алюмінієвого профілю збільшується з 9,8°С до 11,7°С. Це сприятливо позначається на температурі всередині приміщення.

2.7 Висновок до розділу 2

Проаналізувавши представлені вище результати, можна зробити висновок, що санітарно-гігієнічні вимоги до теплового захисту будівлі згідно з [6] виконуються у вітражів з алюмінієвим профілем FA50 і трьома видами склопакетів тільки з дистанційною рамкою з полівінілхлориду. Всі три конструкції задовольнили нормативні значення. Критерієм оцінки на даному етапі була температура внутрішньої поверхні в місці примикання склопакета й алюмінієвого профілю.

Розглянувши три вузлових з'єднання: імпост, бокове і нижнє, тільки у вузлів нижнього кріплення пройшли не всі конструкції, варіант 1 і варіант 2 мали температуру внутрішньої поверхні нижчу за нормативну, 7,5°С і 7,8°С відповідно, що менше 8,3°С.

Таким чином, якщо враховувати всі фактори вибірки, викладені вище, то найоптимальнішою залишається вітражна конструкція із заповненням 4М1-4Ar-4М1-4Ar-4ТОП при влаштуванні алюмінієвих світлопрозорих конструкцій (СПК) у будівництві м. Суми. Для цілісності дослідження також необхідною умовою є перевірка поелементних вимог до теплового захисту будівлі.

РОЗДІЛ 3
ПЕРЕВІРКА ПОЕЛЕМЕНТНИХ ВИМОГ ДО ТЕПЛОВОГО ЗАХИСТУ БУДІВЛІ

3.1 Метод визначення приведеного опору теплопередачі за каталогом

Отримавши чисельні значення попередніх розрахунків, визначаємо приведений опір теплопередачі світлопрозорих огороджувальних конструкцій за допомогою методики, описаної в [3], яка є найбільш точною, нетрудомісткою та оптимальною.

Опір теплопередачі світлопрозорої конструкції, R_o, (м^2°С)/Вт, обчислюють за формулою :

$$R_o=\frac{S_o}{\sum\frac{S_{св}}{R_{св}}+\sum\frac{S_{непр}}{R_{непр}}+\sum l\psi\cdot\psi}, \quad (3.1)$$

де S_o – площа проекції світлопрозорої конструкції, м^2;

$S_{св}$, $S_{непр}$ – площі світлопрозорої та непрозорої зон віконної конструкції відповідно, м^2;

$R_{св}$, $R_{непр}$ – опори теплопередачі центральної частини світлопрозорої та непрозорої зон конструкції відповідно, (м^2°С)/Вт;

ψ – коефіцієнт лінійної теплопередачі, який враховує взаємодію між рамою та склінням, Вт/(м °С);

l_ψ – довжина периметра світлопрозорої зони, м.

На рисунку 3.1 представлена розрахункова схема для визначення площ скління, рамних елементів та розмірів крайових зон різного конструктивного рішення.

Вихідні дані:

Розмір світлопрозорих ділянок – 1500 х 2000 (h) мм.

Розмір усієї конструкції – 3150 х 4150 (h) мм.

$R_{непр}$ для термовставки Т50-09 – 0,898 ($м^2°С$)/Вт.

Заповнення СПД 4М1-14-4М1-14-М1.

$R_{св}$ для заповнення – значення отримані за допомогою програми WINDOW 7.6;

ψ – 0,06 для двокамерного склопакета з алюмінієвою дистанційною рамкою 14 мм, для рамки ПВХ – 0,04.

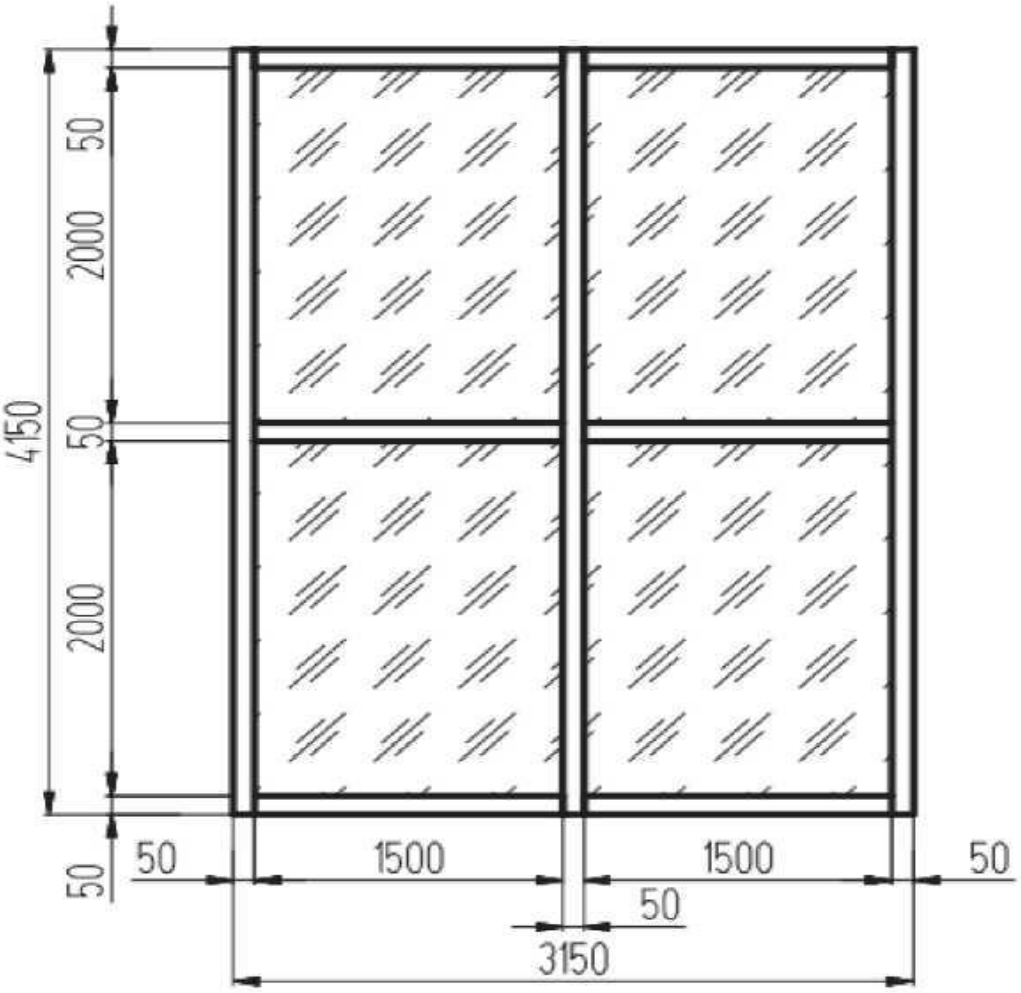


Рисунок 3.1 - Розрахункова схема конструкції

Розрахункові дані:

$S_o = 3,15 \cdot 4,15 = 13,07 м^2$

$\psi = 0,06 \cdot 1,15 = 0,069$

$\psi = 0,04 \cdot 1,15 = 0,046$

$S_{св} = 1,5 \cdot 2 \cdot 4 = 12 м^2$

$S_{непр} = 4,15 \cdot 0,05 \cdot 3 + 1,5 \cdot 0,05 \cdot 6 = 1,07 м^2$

l_ψ =(1,5+2)·8=28м.

Розрахунок:

$$R_o = \frac{13.07}{\frac{12}{0.58}+\frac{1.07}{0.898}+28\cdot 0.07} = 0{,}549 \text{ (м}^2\text{°C)/Вт.}$$

Аналогічно виконаємо розрахунок для конструкцій зі склопакетами різної марки. У таблиці 3.1 представлені результати розрахунку.

Таблиця 3.1 – Результати розрахунку

h,м	b,м	S_o,м^2	$S_{непр}$,м^2	$R_{непр}$,(м^2°C)/Вт	$S_{св}$,м^2	$R_{св}$,(м^2°C)/Вт	l_ψ,м	ψ	R_o,(м^2°C)/Вт
Алюмінієвий профіль FA50 зі склопакетом 40 мм (СПД 4М1-14-4М1-14-4М1) дистанційна рамка алюмінієва									
4,15	3,15	13,07	1,07	0,898	12,0	0,58	28	0,069	0,549
Алюмінієвий профіль FA50 з енергозберігаючим склопакетом 40 мм з аргоном (СПД 4М1-14Ar-4М1-14Ar-4М1) дистанційна рамка алюмінієва									
4,15	3,15	13,07	1,07	0,898	12,0	0,63	28	0,069	0,590
Алюмінієвий профіль FA50 з енергозберігаючим склопакетом 40 мм з аргоном і ТОП-покриттям (СПД 4М1-14Ar-4М1-14Ar-4ТОП) дистанційна рамка алюмінієва									
4,15	3,15	13,07	1,07	0,898	12,0	0,95	28	0,069	0,830
Алюмінієвий профіль КП50 зі склопакетом шириною 40 мм (СПД 4М1-14-4М1-14-4М1) дистанційна рамка з полівінілхлориду									
4,15	3,15	13,07	1,07	0,898	12,0	0,58	28	0,046	0,564

h,м	b,м	S_o,м^2	$S_{непр}$,м^2	$R_{непр}$,(м^2°С)/Вт	$S_{св}$,м^2	$R_{св}$,(м^2°С)/Вт	$l\psi$,м	ψ	R_o,(м^2°С)/Вт
Алюмінієвий профіль FA50 з енергозберігаючим склопакетом 40 мм з аргоном (СПД 4М1-14Ar-4М1-14Ar-4М1) дистанційна рамка з полівінілхлориду									
4,15	3,15	13,07	1,07	0,898	12,0	0,63	28	0,046	0,607
Алюмінієвий профіль FA50 з енергозберігаючим склопакетом 40 мм з аргоном і ТОП-покриттям (СПД 4М1-14Ar-4М1-14Ar-4ТОП) дистанційна рамка з полівінілхлориду									
4,15	3,15	13,07	1,07	0,898	12,0	0,95	28	0,046	0,865

оелементна вимога до теплового захисту будівлі не виконується у перших двох варіантів при використанні дистанційної рамки як алюмінієвої, так і рамки з полівінілхлориду. Їхній приведений опір теплопередачі менший за нормоване значення для світлопрозорих огороджувальних конструкцій, що дорівнює 0,73 (м^2 °С)/Вт. Алюмінієві вітражні конструкції із заповненням СПД 4М1-14Ar-4М1-14Ar- 4ТОП з двома видами дистанційних рамок умову задовольняють.

3.2 Метод визначення приведеного опору теплопередачі за розрахунками ПК THERM

Розрахунок температурних полів елементів вітражної конструкції виконується за програмою THERM 7.6.

В якості плоского елемента виступає склопакет у своїй центральній однорідній частині.

В якості лінійного елемента приймаються:

– імпост склопакета;

– бокове примикання (бокові та верхній контури конструкції);

– нижнє примикання.

Всі температурні поля розраховуються для температури зовнішнього повітря – 29°С і температури внутрішнього повітря – 19 °С. Конструкції для розрахунку – три види склопакета з дистанційною рамкою ПВХ. Вітражна конструкція площею 13,07 м^2

Плоский елемент 1 – склопакет A_1 = 13,07 м^2, a_1= 1м^2/м^2, приведений опір теплопередачі $R_{o1}^{по}$ = 0,58 м^2°С / Вт (розраховано в програмі WINDOW 7.6).

Плоский елемент 2 – склопакет A_2 = 13,07 м^2, a_2= 1м^2/м^2, приведений опір теплопередачі $R_{o2}^{по}$ = 0,63 м^2°С / Вт (розраховано в програмі WINDOW 7.6).

Плоский елемент 3 – склопакет A_3 = 13,07 м^2, a_3= 1м^2/м^2, приведений опір теплопередачі $R_{o3}^{по}$ = 0,95 м^2°С / Вт (розраховано в програмі WINDOW 7.6).

Лінійні елементи мають протяжність:

– L_1 імпост = 7 м;

– L_2 бокове примикання = 11,45 м;

– L_3 нижнє примикання = 3,15 м.

Довжина проекції лінійної неоднорідності, що припадає на 1 м^2 площі фрагмента:

– l_1 імпост = 7/13,07 = 0,536 м/м^2;

– l_2 бокове примикання = 11,45/13,07 = 0,876 м/м^2;

– l_3 нижнє примикання = 3,15/13,07 = 0,241 м/м^2.

Питомі втрати теплоти для плоского елемента визначаються за формулою

$$U = 1/ R_o^{ум}, \qquad (3.2)$$

де $R_o^{ум}$ – усереднений за площею умовний опір теплопередачі фрагмента

теплозахисної оболонки будівлі або виділеної огороджувальної конструкції, $м^{2o}С$ / Вт.

Площа фрагмента вітражної конструкції, що увійшла до розрахункової ділянки:

- S_1 імпост = 0,326 $м^2$;
- S_2 бокове примикання = 0,188 $м^2$;
- S_3 нижнє примикання = 0,188 $м^2$.

Втрати теплоти через ділянку фрагмента за результатами розрахунку температурних полів склали :

1. Для конструкції зі склопакетом СПД 4М1-14-4М1-14-4М1:

- Q_1^{L1} імпост = 35,06 Вт/м;
- Q_1^{L2} бокове примикання = 21,30 Вт/м;
- Q_1^{L3} нижнє примикання = 27,56 Вт/м.

2. Для конструкції зі склопакетом СПД 4М1 -14Ar -4М1-14А-М1:

- Q_2^{L1} імпост = 32,96 Вт/м;
- Q_2^{L2} бокове примикання = 20,25 Вт/м;
- Q_2^{L3} нижнє примикання = 26,56 Вт/м.

3. Для конструкції зі склопакетом СПД 4М1 -14Ar -4М1-14Ar -4ТОП:

- Q_3^{L1} імпост = 25,16 Вт/м;
- Q_3^{L2} бокове примикання = 16,35 Вт/м;
- Q_3^{L3} нижнє примикання = 22,68 Вт/м.

Втрати теплоти через однорідну ділянку тієї ж площі:

$$Q_l = \frac{t_в - t_з}{R_o^{пр}} \cdot a_i \cdot S, \qquad (3.3)$$

де $t_в$ – розрахункова температура внутрішнього повітря, °С;

$t_з$ – розрахункова температура зовнішнього повітря, °С;

$R_o^{пр}$ – приведений опір теплопередачі, м²°С/Вт;

a_i – площа плоского елемента конструкції і-го виду, що припадає на 1 м² фрагмента теплозахисної оболонки будівлі, або виділеної огороджувальної конструкції, м²/м²;

S – площа фрагмента конструкції, що увійшла до розрахункової ділянки, м².

Додаткові втрати теплоти через лінійний елемент:

$$\Delta Q_L = Q_L - Q_l, \tag{3.4}$$

де Q_L – втрати теплоти через ділянку фрагмента за результатами розрахунку температурних полів з THERM;

Q_l – втрати теплоти через однорідну ділянку тієї ж площі.

Питомі лінійні втрати теплоти через лінійний елемент:

$$\psi = \frac{\Delta Q_L}{t_в - t_з}\cdot, \tag{3.5}$$

де ΔQ_L – додаткові втрати теплоти через лінійний елемент, Вт/м;

$t_в$ – розрахункова температура внутрішнього повітря, °С;

$t_з$ – розрахункова температура зовнішнього повітря, °С.

Приведений опір теплопередачі вітражної конструкції визначається за формулою:

$$R_o^{пр} = \frac{1}{\sum a_i U_i + \sum l_j \psi_j}, \tag{3.6}$$

де l_j – протяжність лінійної неоднорідності j-го виду, що припадає на 1 м² фрагмента теплозахисної оболонки будівлі, або виділеної огороджувальної конструкції, м/м²;

ψ_j – питомі втрати теплоти через лінійну неоднорідність j-го виду,

Вт/(м·°С).

Розрахунок виконано для вітражних конструкцій із заповненням склопакетом з дистанційною рамкою з полівінілхлориду, оскільки попередній розрахунок з ПК THERM показав, що алюмінієва дистанційна рамка в жодному з видів заповнення не задовольнила нормативні значення [6]. Дані дослідження представлені в таблицях 3.2, 3.3.

Таблиця 3.2 – Температурні поля елементів

Елемент фрагмента	Втрати теплоти через однорідну ділянку стіни	Втрати теплоти через неоднорідну ділянку	Питомі втрати теплоти	Питомий геометричний показник
Плоский елемент 1	Q_1=96,54 Вт/м	-	U_1=1,721 Вт/(м²·°С)	a_1=1 м²/м²
Плоский елемент 2	$Q_2 = 88,89$ Вт/м	-	U_2 = 1,585 Вт/(м²·°С)	a_2=1 м²/м²
Плоский елемент 3	$Q_3 = 58,95$ Вт/м	-	U_3 = 1,035 Вт/(м²·°С)	a_3=1 м²/м²
Вітраж зі склопакетом 4М1-14-4М1-14-4М1				
Лінійний елемент 1	$Q1_{l1}$=31,52 Вт/м	$Q1_{L1}$ = 35,1 Вт/м	$\Psi_{1,1}$=0,0649 Вт/(м·°С)	l_1 = 0,538 м/м²
Лінійний елемент 2	$Q1_{l2}$ = 18,16 Вт/м	$Q1_{L2}$ = 21,40 Вт/м	$\Psi_{1,2}$=0,0573 Вт/(м·°С	l_2 = 0,878 м/м²
Лінійний елемент 3	$Q1_{l3}$ = 18,16 Вт/м	$Q1_{L3}$ = 27,46 Вт/м	$\Psi_{1,3}$=0,169 Вт/(м·°С)	l_3 = 0,243 м/м²
Вітраж зі склопакетом 4М1-14Ar-4М1-14Ar-4М1				
Лінійний елемент 1	$Q2_{l1}$=28,68 Вт/м	$Q2_{L1}$=32,86 Вт/м	$\Psi_{2,1}$=0,0741 Вт/(м·°С)	l_1 = 0,538 м/м²
Лінійний елемент 2	$Q2_{l2}$ = 17,71 Вт/м	$Q2_{L2}$ = 20,35 Вт/м	$\Psi_{2,2}$=0,0652 Вт/(м·°С)	l_2 = 0,878 м/м²
Лінійний елемент 3	$Q2_{l3}$ = 17,71 Вт/м	$Q2_{L3}$ = 26,76 Вт/м	$\Psi_{2,3}$=0,1789 Вт/(м·°С)	l_3 = 0,243 м/м²

Вітраж зі склопакетом 4М1-14Ar-4М1-14Ar-4ТОП				
Лінійний елемент 1	$Q3_{l1}$=19,22 Вт/м	$Q3_{L1}$ = 25,18 Вт/м	$\Psi_{3,1}$=0,1071 Вт/(м·°С)	l_1 = 0,538 м/м²
Лінійний елемент 2	$Q3l^2$ = 11,08 Вт/м	$Q3_{L2}$ = 16,45 Вт/м	$\Psi_{3,2}$=0,0961 Вт/(м·°С)	l_2 = 0,878 м/м²
Лінійний елемент 3	$Q3l^3$ = 11,08 Вт/м	$Q3_{L3}$ = 22,78 Вт/м	$\Psi_{3,3}$=0,2081 Вт/(м·°С)	l_3 = 0,243 м/м²

Таблиця 3.3 – Розрахунок приведеного опору теплопередачі

Елемент конструкції	Питомий геометричний показник	Питомі втрати теплоти	Питомий потік теплоти, обумовлений елементом	Частка загального потоку теплоти через фрагмент, %
Вітраж зі склопакетом 4М1-14-4М1-14-4М1				
Плоский елемент 1	a_1 = 1 м/м²	U_1=1,711 Вт/(м²·°С)	U_1a_1=1,711 Вт/(м²·°С)	93,31
Лінійний елемент 1	1_1 = 0,536 м/м²	$\Psi_{1,1}$=0,0638 Вт/(м·°С)	$\Psi_{1,1}l_1$=0,033 Вт/(м²·°С)	1,85
Лінійний елемент 2	l_2 = 0,876 м/м²	$\Psi_{1,2}$=0,0553 Вт/(м·°С)	$\Psi_{1,2}l_2$=0,049 Вт/(м²·°С)	2,65
Лінійний елемент 3	l_3 = 0,241 м/м²	$\Psi_{1,3}$=0,1684 Вт/(м·°С)	$\Psi_{1,3}l_3$=0,041 Вт/(м²·°С)	2,19
Разом			$1/R_{o1}^{\text{пр}}$=1,834 Вт/(м²·°С)	100%
			$R_{o1}^{\text{пр}}$=0,543 (м²·°С)/Вт	
Вітраж зі склопакетом 4М1-14Ar-4М1-14Ar-4М1				
Плоский елемент 2	a_2 = 1 м/м²	U_2=1,579 Вт/(м²·°С)	U_2a_2=1,579 Вт/(м²·°С)	92,28
Лінійний елемент 1	1_1 = 0,536 м/м²	$\Psi_{2,1}$=0,0712 Вт/(м·°С)	$\Psi_{2,1}l_1$=0,039 Вт/(м²·°С)	2,21

Лінійний елемент 2	l_2 = 0,876 м/м²	$\Psi_{2,2}$=0,0642 Вт/(м·°С)	$\Psi_{2,2}l_2$=0,054 Вт/(м²·°С)	3,18
Лінійний елемент 3	l_3 = 0,241 м/м²	$\Psi_{2,3}$=0,1758 Вт/(м·°С)	$\Psi_{2,3}l_3$=0,041 Вт/(м²·°С)	2,33
Разом			$1/R_{o2}^{\text{пр}}$=1,713 Вт/(м²·°С)	100%
			$R_{o2}^{\text{пр}}$=0,581 (м²·°С)/Вт	
Вітраж зі склопакетом 4М1-14Ar-4М1-14Ar-4ТОП				
Плоский елемент 3	a_3 = 1 м/м²	U_3=1,058 Вт/(м²·°С)	U_3a_3=1,058 Вт/(м²·°С)	84,82
Лінійний елемент 1	1_1 = 0,536 м/м²	$\Psi_{3,1}$=0,1071 Вт/(м·°С)	$\Psi_{3,1}l_1$=0,057 Вт/(м²·°С)	4,58
Лінійний елемент 2	l_2 = 0,876 м/м²	$\Psi_{3,2}$=0,0942 Вт/(м·°С)	$\Psi_{3,2}l_2$=0,083 Вт/(м²·°С)	6,58
Лінійний елемент 3	l_3 = 0,241 м/м²	$\Psi_{3,3}$=0,2074 Вт/(м·°С)	$\Psi_{3,3}l_3$=0,049 Вт/(м²·°С)	4,02
Разом			$1/R_{o3}^{\text{пр}}$=1,247 Вт/(м²·°С)	100%
			$R_{o3}^{\text{пр}}$=0,802 (м²·°С)/Вт	

Виконавши чисельні розрахунки за допомогою програми THERM, можна зробити висновок, що серед вітражних конструкцій з різним видом заповнення задовольняє нормативним значенням лише вітражна конструкція зі склопакетом 4М1-14Ar-4М1-14Ar-4ТОП.

Згідно з чинним нормативом [6] приведений опір теплопередачі світлопрозорих огороджувальних конструкцій дорівнює 0,73 м²·°С/Вт.

Таким чином, у нашої конструкції він склав 0,802 м²·°С/Вт, що в 1,1 раза більше за нормативне значення.

3.3 Економічна ефективність вітражної конструкції

3.3.1 Характеристика об'єкта дослідження

В якості об'єкта дослідження було обрано будівлю розташовану за адресою вул. Ярослава Мудрого, 15.

У цій будівлі розглянемо офісну частину другого поверху (рисунок 3.2).



Рисунок 3.2 - Досліджуване приміщення

До розрахунку прийнято приміщення, засклене вітражною конструкцією з глухих секцій. Площа даного офісу становить 27,84 м². Об'єм – 83,52 м³.

Для оцінки впливу склопакета у вітражній конструкції на витрату теплової енергії на опалення змінним фактором буде модифікація склопакета.

3.3.2 Витрата теплової енергії приміщення на опалення та вентиляцію за опалювальний період

Витрата теплової енергії на опалення та вентиляцію за опалювальний період $Q_{\text{оп}}^{\text{рік}}$, кВт·год/рік, визначається за формулою [6, ДБН В.2.6-31]:

$$Q_{\text{оп}}^{\text{рік}} = 0{,}024 \cdot \text{ГДОП} \cdot V_{\text{оп}} \cdot q_{\text{оп}}^{\text{р}}, \quad (3.7)$$

де ГДОП – градусо-доби опалювального періоду, див. формулу (1.3);

$V_{\text{оп}}$ – опалювальний об’єм будівлі/приміщення;

$q_{\text{оп}}^{\text{р}}$ – розрахункова питома характеристика витрати теплової енергії на опалення та вентиляцію будівлі.

Загальні тепловтрати за опалювальний період $Q_{\text{оп}}^{\text{рік}}$, кВт·год/рік, визначаються за формулою [6, ДБН В.2.6-31]:

$$Q_{\text{оп}}^{\text{рік}} = 0{,}024 \cdot \text{ГДОП} \cdot V_{\text{оп}} (k_{\text{заг}} + k_{\text{вент}}), \quad (3.8)$$

де ГДОП – градусо-доби опалювального періоду, див. формулу (1.3);

$V_{\text{оп}}$ – опалювальний об’єм будівлі/приміщення;

$k_{\text{заг}}$ – питома теплозахисна характеристика будівлі;

$k_{\text{вент}}$ – питома вентиляційна характеристика будівлі.

Питома теплозахисна характеристика розраховується за формулою:

$$k_{\text{заг}} = 1/ V_{\text{оп}} \sum(n_{t,i} \cdot A_{\text{ф,i}} / R_{o,i}^{\text{пр}}), \quad (3.9)$$

де $R_{o,i}^{\text{пр}}$ – приведений опір теплопередачі фрагмента теплозахисної оболонки будівлі;

$A_{\text{ф,i}}$ – площа відповідного фрагмента теплозахисної оболонки будівлі;

$V_{\text{оп}}$ – опалювальний об’єм будівлі/приміщення;

$n_{t,i}$ – коефіцієнт, що враховує відмінність внутрішньої або зовнішньої температури біля конструкції від прийнятих у розрахунку ГДОП.

Нормоване значення питомої теплозахисної характеристики будівлі визначається за формулою [6, ДБН В.2.6-31]:

$$K_{\text{заг}}^{\text{пот}} = \frac{0{,}16+\frac{10}{\sqrt{V_{\text{оп}}}}}{0{,}00013\cdot\text{ГДОП}+0{,}61}, \quad (3.10)$$

де $V_{\text{оп}}$ – опалювальний об'єм будівлі/приміщення;

ГДОП – градусо-доби опалювального періоду, див. формулу (1.3).

Розрахунок для м. Суми (Температурна зона II України): Внутрішня температура $t_{\text{в}}$=19 °С. Тривалість опалювального періоду $z_{\text{оп}}$=183 доби. Середня температура опалювального періоду $t_{\text{оп}}$ =−1,6 °С.

$$\text{ГДОП} = (19–(−1{,}6))\cdot 183=3769{,}8 \text{ °С діб/рік}.$$

Деталі розрахунку зведені до таблиці 3.4.

Таблиця 3.4 – Результати розрахунку

Найменування фрагме	$n_{t,i}$	$A_{\text{ф,i}}$, м^2	$R_{o,i}^{\text{пр}}$, (м^2·°С)/Вт	$n_{t,i}\cdot A_{\text{ф,i}} / R_{o,i}^{\text{пр}}$, Вт/°С
Стінове огородження	1	66,30	2,30	28,83
Вітраж зі СПД 4М1-14Ar-4М1-14Ar-4М1 з рамкою із полівінілхлориду	0,928	13,07	0,580	20,91
Вітраж зі СПД 4М1-14Ar-4М1-14Ar-4ТОП з рамкою із полівінілхлориду	0,928	13,07	0,802	15,12
Сума		92,44		64,86

Знайдемо значення для варіанта 1 – Вітраж зі СПД 4М1-14Ar-4М1-14Ar-4М1 з рамкою із полівінілхлориду (ПВХ).

$$k_{заг} = \frac{1}{83,52} \cdot (28,83+20,91) = 0,596 \text{ Вт/(м}^3 \cdot °C).$$

$$k_{заг}^{пот} = \frac{0,16+\frac{10}{\sqrt{83,52}}}{0,00013 \cdot 3769,8+0,61} = \frac{1,254}{1,100} = 1,140 \text{ Вт/(м}^3 \cdot °C).$$

Питома теплозахисна характеристика $k_{заг}$ = 0,596 менша за нормовану $K_{заг}^{пот}$ = 1,140, отже, конструкція задовольняє нормативним вимогам.

$Q_{оп}^{рік}$ = 0,024·3769,8·83,52·(0,596+0,1)=5259,04 (кВт·год)/рік.

Для варіанта 2 – Вітраж зі СПД 4М1-14Ar-4М1-14Ar-4ТОП з рамкою із полівінілхлориду.

$$k_{заг} = \frac{1}{83,52} \cdot (28,83+15,12)=0,526 \text{ Вт/(м}^3 \cdot °C).$$

$$k_{заг}^{пот} = \frac{0,16+\frac{10}{\sqrt{83,52}}}{0,00013 \cdot 3769,8+0,61} = \frac{1,254}{1,100} = 1,140 \text{ Вт/(м}^3 \cdot °C).$$

Питома теплозахисна характеристика $k_{заг}$ =0,526 менша за нормовану $K_{заг}^{пот}$ = 1,140, отже, конструкція задовольняє нормативним вимогам.

$Q_{оп}^{рік}$ =0,024·3769,8·83,52·(0,526+0,1)=4728,85 (кВт·год)/рік.

Далі розрахуємо витрати на опалення на рік, грн, які визначаються за формулою:

$$З=Q \cdot Тт.е., \quad (3.11)$$

де Q – витрата теплової енергії на опалення та вентиляцію за опалювальний період, визначається за формулою (3.8);

Тт.е. – тариф на теплову енергію.

Даний розрахунок ми розглядаємо для м. Суми. Тариф на теплову енергію для споживачів ТОВ «Сумитеплоенерго» (категорія «інші споживачі») на 2024-2025 рік = 3961,68 грн/Гкал (з ПДВ). [47, згідно з даними ТОВ "Сумитеплоенерго"]. Розрахункова температура повітря найбільш

холодної п'ятиденки із забезпеченістю 0,92 – (-29 °С), тривалість опалювального періоду – 183 доби [4, ДСТУ-Н Б В.1.1-27].

1 кВт·год = 0,000860 Гкал

Конвертуємо витрати енергії:

Q_1=5259,04 кВт·год·0,000860=4,52 Гкал;

Q_2=4728,85 кВт·год·0,000860=4,07 Гкал

Витрата коштів на опалення та вентиляцію приміщення за опалювальний період на рік становить:

$З_1$=4,52·3961,68=17 906,79 гривень.

$З_2$=4,07·3961,68=16 123,94 гривень.

Різниця за витратою коштів на опалення та вентиляцію нашого приміщення для двох варіантів склала 1 782,85 гривень. 1 варіант вітражної конструкції у 1,11 раза вимагає більше витрат на опалення на відміну від другого.

3.3.3 Порівняння застосовуваних конструкцій

Порівняння 2-х алюмінієвих конструкцій для кліматичних умов м. Суми представлено у наступних пунктах.

Варіант 1 – Алюмінієвий профіль FA50 із заповненням енергозберігаючим склопакетом шириною 40 мм з аргоном та з дистанційною рамкою з полівінілхлориду (СПД 4М1-14Ar-4М1-14Ar-4М1);

Варіант 2 – Алюмінієвий профіль FA50 із заповненням енергозберігаючим склопакетом шириною 40 мм з аргоном та ТОП-покриттям, і з дистанційною рамкою з полівінілхлориду (СПД 4М1-14Ar-4М1-14Ar-4ТОП).

Вартість вітражної конструкції.

У таблиці 3.5 представлена вартість готової вітражної конструкції залежно від модифікації склопакета. На рисунках 3.3-3.4 представлена гістограма вартості.

Таблиця 3.5 – Вартість вітражної конструкції

Профіль	Вартість, грн.	
	1 м²	всієї конструкції
Вітраж зі СПД 4М1-14Ar-4М1-14Ar-4М1 з дистанційною рамкою із полівінілхлориду	4 503,64	58 863,53
Вітраж зі СПД 4М1-14Ar-4М1-14Ar-4ТОП з дистанційною рамкою із полівінілхлориду	4 989,59	65 213,90

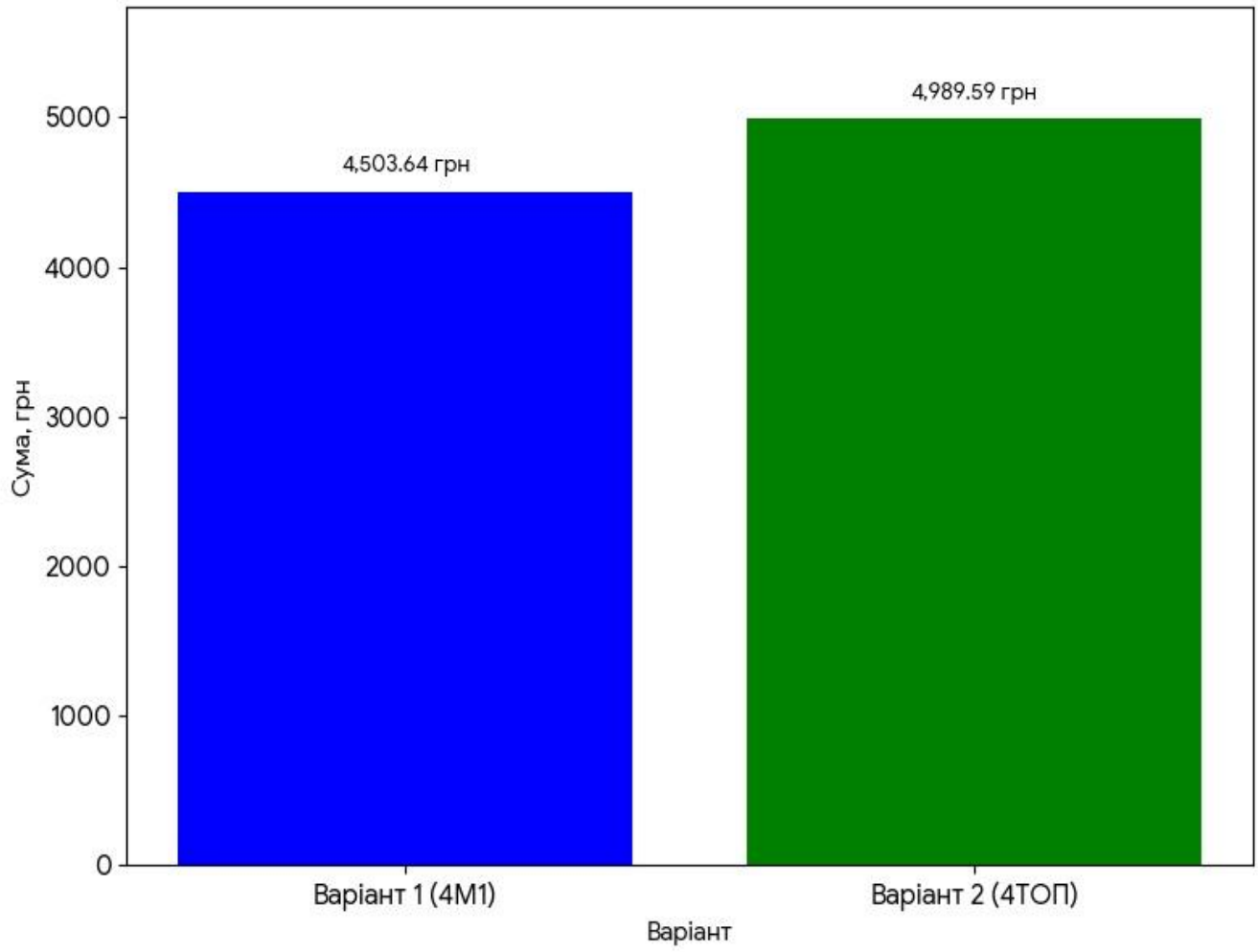


Рисунок 3.3 - Гістограма вартості 1 м^2 вітражної конструкції залежно від модифікації склопакета

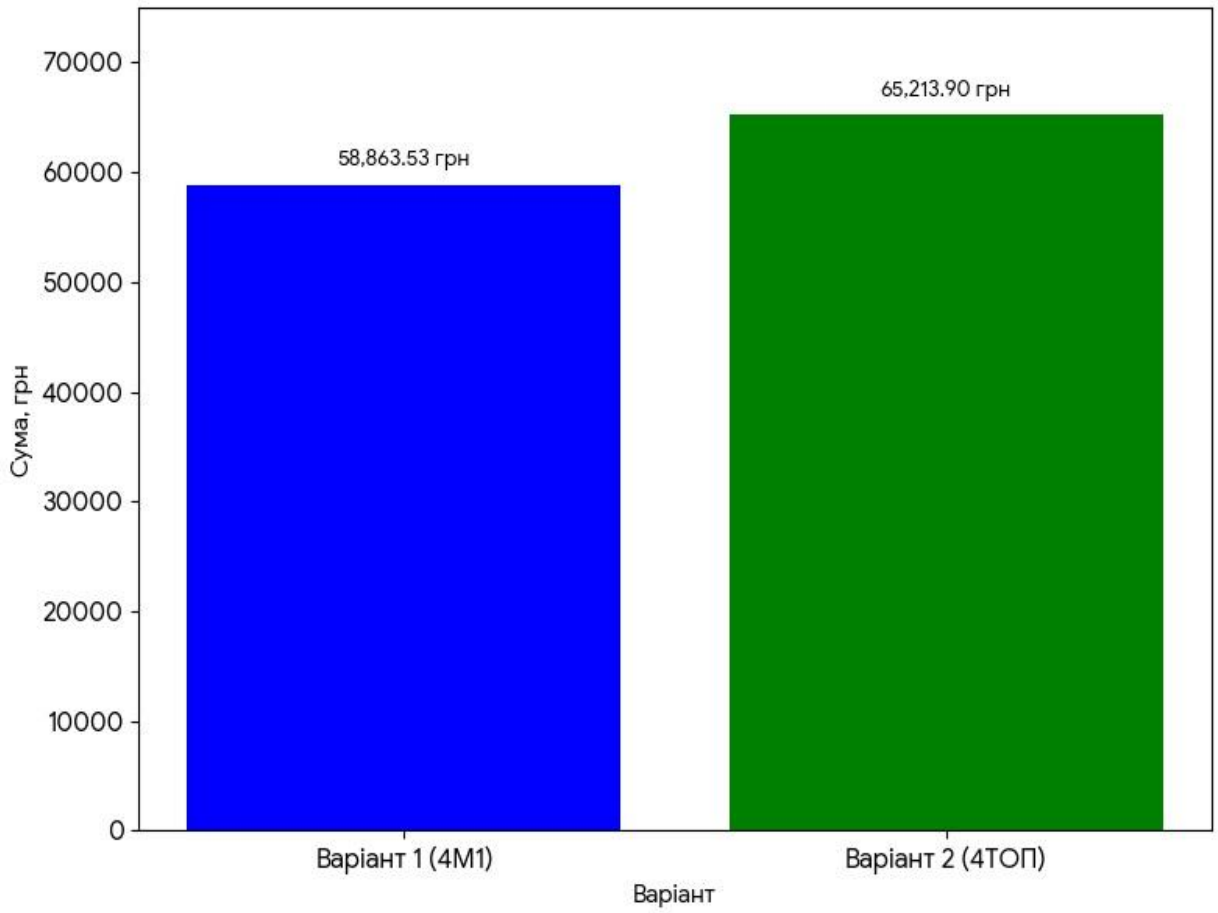


Рисунок 3.4 - Гістограма вартості всієї вітражної конструкції залежно від модифікації склопакета

За даними таблиці та гістограми видно, що вартість 1 м² вітражної конструкції з аргоном та ТОП-покриттям більша, ніж з аргоном на 485,95 гривень (10,8%). У свою чергу, вартість усієї конструкції, площею 13,07 м², у першого варіанта менша за вартість другого на 6 350,37 гривень (10,8%).

3.3.4 Витрата теплової енергії на опалення будівлі за рік експлуатації

У таблиці 3.6 представлено витрату теплової енергії на опалення та вентиляцію приміщення за рік експлуатації залежно від модифікації склопакета.

Таблиця 3.6 – Витрата теплової енергії на опалення та вентиляцію будівлі за рік експлуатації при застосуванні різних видів склопакета

Профіль	Витрата теплової енергії на опалення та вентиляцію приміщення за рік експлуатації при застосуванні склопакетів різної модифікації, $Q_{оп}$, кВт·год	Витрата теплової енергії на опалення та вентиляцію приміщення за рік експлуатації при застосуванні склопакетів різної модифікації, $Q_{оп}$, Гкал
Вітраж зі СПД 4М1-14Ar-4М1-14Ar-4М1 з рамкою із полівінілхлориду	5 259,04	4,52
Вітраж зі СПД 4М1-14Ar-4М1-14Ar-4ТОП з рамкою із полівінілхлориду	4 728,85	4,07

На рисунках 3.5-3.6 представлено гістограму витрати теплової енергії на опалення та вентиляцію приміщення за рік експлуатації при застосуванні різних видів склопакета.

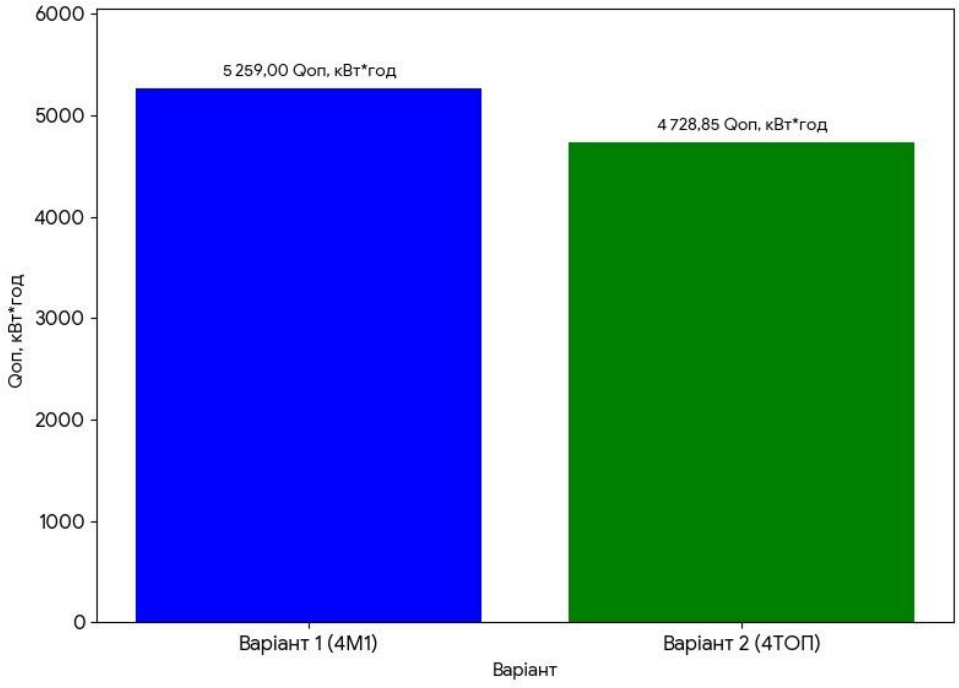


Рисунок 3.5 - Гістограма витрати теплової енергії $Q_{оп}$, кВт·год

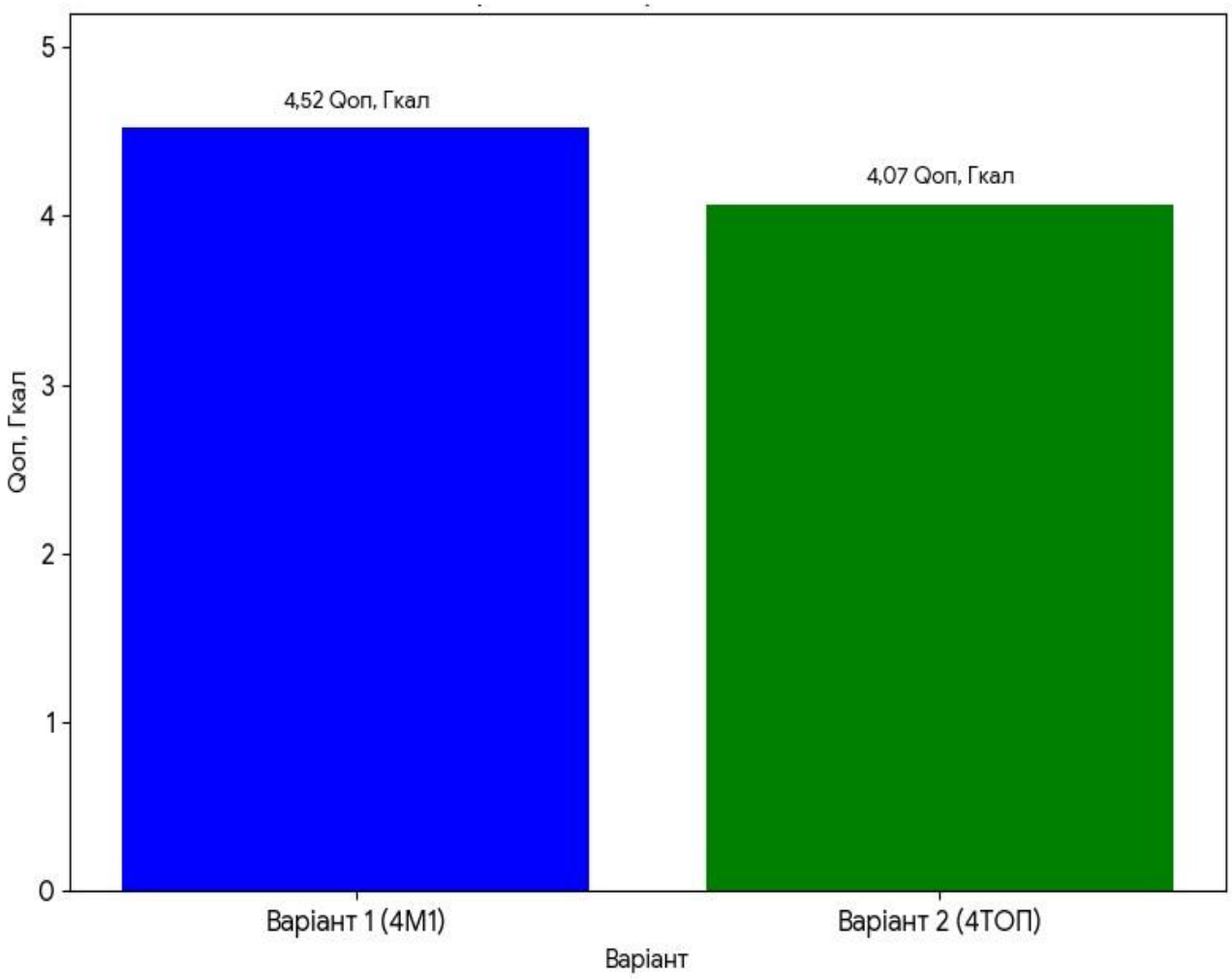


Рисунок 3.6 - Гістограма витрати теплової енергії $Q_{оп}$, Гкал

Витрата теплової енергії на опалення та вентиляцію будівлі за рік експлуатації у вітража зі СПД 4М1-14Ar-4М1-14Ar-4М1 з дистанційною рамкою з ПВХ більша, ніж у вітража зі СПД 4М1-14Ar-4М1-14Ar-4ТОП на 530,19 кВт·год (11,2%) або на 0,45 Гкал (11,1%).

3.3.5 Грошові витрати на теплову енергію за рік експлуатації

У таблиці 3.7 наведено грошові витрати на теплову енергію за рік експлуатації при застосуванні склопакетів різної модифікації. На рисунку 3.7 представлено гістограму витрат на теплову енергію за рік експлуатації при застосуванні склопакетів різної модифікації.[47].

Таблиця 3.7 – Грошові витрати на опалення за рік експлуатації

Показник	м. Суми	
	Варіант 1	Варіант 2
Витрати на теплову енергію за рік експлуатації при застосуванні склопакетів різної модифікації, грн.	17 906,79	16 123,94

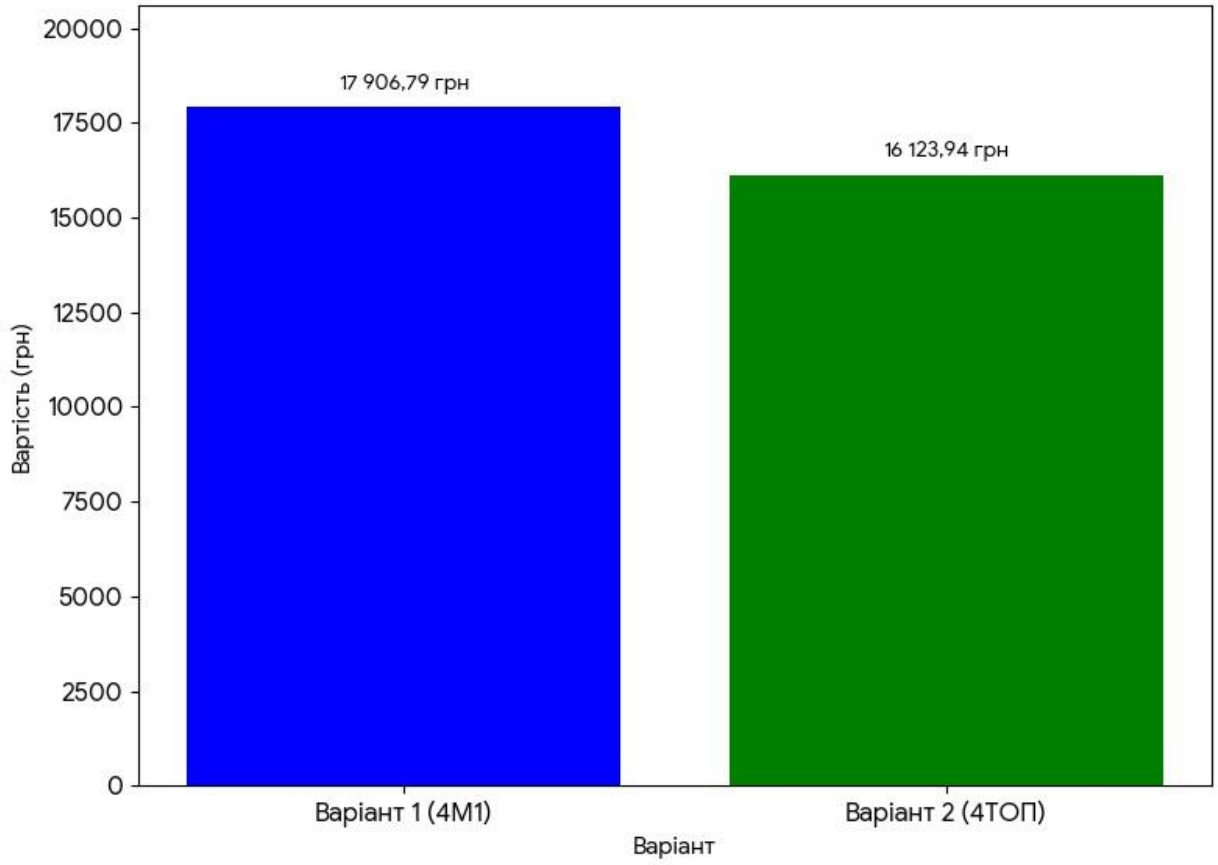


Рисунок 3.7 - Грошові витрати на теплову енергію за рік експлуатації

Грошові витрати на теплову енергію за рік експлуатації при застосуванні СПД 4М1-14Ar-4М1-14Ar-4М1 з рамкою з ПВХ більші, ніж при СПД 4М1-14Ar-4М1-14Ar-4ТОП на 1 782,85 гривень (11,1%).

3.4 Висновок до розділу 3

Проведені вище чисельні розрахунки показали різницю результатів між підсумковими значеннями приведеного опору теплопередачі. Згідно з каталогом алюмінієвих конструкцій Forte, нормативним вимогам відповідали два види конструкції: алюмінієвий профіль FA50 зі склопакетом шириною 40 мм (СПД 4М1-14Ar-4М1-14Ar-4ТОП) з дистанційною рамкою з полівінілхлориду, а також з рамкою з алюмінію. Розрахунок спільно з програмою THERM показав, що та ж конструкція проходить лише з дистанційною рамкою з полівінілхлориду.

Значення цих досліджень відрізняються одне від одного. Якщо за розрахунком з каталогу у нашої конструкції з рамкою ПВХ приведений опір теплопередачі становить 0,865(м^2·℃)/Вт, то за розрахунком у THERM воно склало 0,802(м^2·℃)/Вт. А це в 1,08 рази (7,28%) менше значення згідно з розрахунком за каталогом.

Таким чином, для економічної оцінки вітражної конструкції буде розглянуто 2 види світлопрозорого заповнення: це склопакет з аргоном (СПД 4М1-14Ar-4М1-14Ar-М1) з дистанційною рамкою з полівінілхлориду та склопакет з аргоном і ТОП-покриттям (СПД 4М1-14Ar-4М1-14Ar-4ТОП) з дистанційною рамкою з полівінілхлориду. Незважаючи на те, що конструкція №1 не відповідає нормативу, але при цьому поширена в масовому будівництві при влаштуванні алюмінієвих СПК у м. Суми, для доцільності дослідження необхідно переконатися, наскільки малою або великою є переплата за вартістю конструкції та витрат на опалення порівняно з варіантом №2, який після численних розрахунків пройшов перевірку за чинним нормативом.

ОСНОВНІ ВИСНОВКИ

1. Згідно зі статистичними даними, найбільші тепловтрати в будівлях відбуваються через огороджувальні конструкції, такі як вікна, вітражні конструкції та стіни. Зменшення втрат тепла через світлопрозорі огороджувальні конструкції є важливим завданням у підвищенні енергоефективності будівель.

2. Вивчивши вітчизняний та зарубіжний досвід застосування алюмінієвих світлопрозорих конструкцій, можна стверджувати, що наявність термовставки в профільній системі захищає від появи містків холоду. Тому правильно підібрана термовставка та відповідне їй скляне заповнення дозволяють знизити тепловтрати.

3. Правильне (грамотне) кріплення вітражної конструкції також значно підвищить опір теплопередачі та покращить теплотехнічні характеристики.

4. Наукові розробки та дослідження в галузі підвищення енергоефективності світлопрозорих алюмінієвих огороджувальних конструкцій спрямовані на покращення показників опору теплопередачі в основному за рахунок заповнення: збільшення товщини склопакета, застосування енергозберігаючого скла та різні його варіації.

5. За результатами дослідження встановлено, що серед представлених трьох видів вітражної конструкції санітарно-гігієнічні вимоги до теплового захисту будівлі згідно з ДБН В.2.6-31:2021 виконуються у вітражів з алюмінієвим профілем FA50 та із заповненням енергозберігаючим склопакетом шириною 40 мм з аргоном і ТОП-покриттям з дистанційною рамкою з полівінілхлориду.

6. За результатами розрахунків вимоги виконуються у вітражів з алюмінієвим профілем FA50 із заповненням енергозберігаючим склопакетом шириною 40 мм з аргоном і ТОП-покриттям з дистанційною рамкою з полівінілхлориду. Значення приведеного опору теплопередачі склали

R_o=0,802(м^2·°С)/Вт для конструкції з рамкою із ПВХ. Конструкція з енергозберігаючим склопакетом шириною 40 мм з аргоном не пройшла норматив, незважаючи на те, що є «ходовою» (поширеною) в масовому будівництві при влаштуванні алюмінієвих світлопрозорих конструкцій (СПК).

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1 ДСТУ-Н Б В.1.2-18:2016. Настанова щодо обстеження будівель і споруд для визначення та оцінки їх технічного стану. [Чинний від 2017-04-01]. Київ : Мінрегіонбуд України, 2016. 71 с.

2 ДСТУ Б В.2.6-40:2008. Конструкції будинків і споруд. Профілі пресовані з алюмінієвих сплавів для огороджувальних конструкцій. Технічні умови. [Чинний від 2009-01-01]. Київ : Мінрегіонбуд України, 2008. 23 с.

3 ДСТУ Б В.2.6-142:2010. Конструкції фасадні світлопрозорі. Правила проектування. [Чинний від 2011-09-01]. Київ : Мінрегіонбуд України, 2011. 41 с.

4 ДСТУ-Н Б В.1.1-27:2010. Будівельна кліматологія. [Чинний від 2011-09-01]. Київ : Мінрегіонбуд України, 2011. 123 с.

5 ДБН В.2.5-67:2013. Опалення, вентиляція і кондиціонування. [Чинний від 2014-01-01]. Київ : Мінрегіонбуд України, 2013. 149 с.

6 ДБН В.2.6-31:2021. Теплова ізоляція та енергоефективність будівель. [Чинний від 2021-08-01]. Київ : Мінрегіон України, 2021. 46 с.

7 Про енергетичну ефективність будівель : Закон України від 22.06.2017 № 2118-VIII. *Відомості Верховної Ради України*. 2017. № 33. Ст. 359.

8 ДСТУ Б В.2.7-122:2009. Скло листове. Технічні умови. [Чинний від 2010-01-01]. Київ : Мінрегіонбуд України, 2009. 12 с.

9 ДСТУ Б В.2.7-107:2008. Склопакети клеєні будівельного призначення. [Чинний від 2009-01-01]. Київ : Мінрегіонбуд України, 2008. 21 с.

10 ДСТУ Б EN 1364-3:2011. Конструкції навісних фасадів. Вогнева стійкість. Частина 3. Випробувальний стенд... [Чинний від 2013-07-01]. Київ : Мінрегіон України, 2012. 18 с.

11 Крамаренко С. Енергоефективність віконних конструкцій [Електронний ресурс]. URL: https://events.pstu.edu/konkurs-energy/wp-content/uploads/sites/2/2021/03/kramarenko-s.-kpi-im.-igorya-sikorskogo.pdf (дата звернення: 29.10.2025).

12 Пришенко О. А. *Методика визначення приведеного опору теплопередачі огороджувальних конструкцій з урахуванням вузлових з'єднань* : дис. ... канд. техн. наук : 05.23.01. Макіївка, 2017. 209 с. [Електронний ресурс]. URL: http://www.niisk.com/spezrada/Prishenko_dis.pdf (дата звернення: 29.10.2025).

13 Кравчук В. В., Геращенко О. М., Рябчук О. В. Дослідження теплотехнічних характеристик вузлових з'єднань при реконструкції панельних будівель. *Вентиляція, освітлення та теплогазопостачання*. 2018. Вип. 26. С. 36–45. [Електронний ресурс]. URL: https://library.knuba.edu.ua/books/zbirniki/03/201826.pdf (дата звернення: 29.10.2025).

14 Framex : [веб-сайт]. URL: https://framex.ua (дата звернення: 09.11.2025).

15 KMD : [веб-сайт]. URL: https://kmd.ua (дата звернення: 09.11.2025).

16 Броварський алюмінієвий завод (BRAZ) : [веб-сайт]. URL: https://braz.ua (дата звернення: 09.11.2025).

17 Forte Aluminium : [веб-сайт]. URL: https://alumforte.com.ua (дата звернення: 09.11.2025).

18 ALUPRO : [веб-сайт]. URL: https://alupro.ua (дата звернення: 09.11.2025).

19 KTB Group : [веб-сайт]. URL: https://ktb-group.ua (дата звернення: 09.11.2025).

20 SvitAl : [веб-сайт]. URL: https://www.svital.com.ua (дата звернення: 09.11.2025).

21 ДСТУ EN 14351-1:2020. Вікна та двері. Стандарт на виріб,

експлуатаційні характеристики. Частина 1. Вікна та зовнішні двері (EN 14351-1:2016+A2:2016, IDT). [Чинний від 2021-01-01]. Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2020. 121 с.

22 ДСТУ EN 1090-3:2019. Виготовлення сталевих та алюмінієвих конструкцій. Частина 3. Технічні вимоги до алюмінієвих конструкцій (EN 1090-3:2019, IDT). [Чинний від 2020-01-01]. Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2019. 135 с.

23 Програма WINDOW. *Lawrence Berkeley National Laboratory* : [веб-сайт]. URL: https://windows.lbl.gov/software/window (дата звернення: 15.08.2025).

24 Програма THERM. Опис та посібник користувача : [веб-сайт]. URL: https://windows.lbl.gov/software/therm (дата звернення: 15.08.2025).

25 ДСТУ ISO 10077-2:2017. Теплові характеристики вікон, дверей та жалюзі. Розрахунок коефіцієнта теплопередачі. Частина 2. Числісний метод для рам (ISO 10077-2:2017, IDT). Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2017.

26 Ковальський В. Л. *Формування теплотехнічних властивостей світлопрозорих фасадних систем будівель* : дис. ... канд. техн. наук : 05.23.01. Київ : КНУБА, 2019. 196 с.

27 Фаренюк Г. Г. Нормування теплового захисту будівель та його гармонізація з європейськими підходами. *Будівельні конструкції*. 2017. Вип. 84. С. 493–499.

28 Захарченко П. В., Куліков П. М. Алюмінієві світлопрозорі конструкції фасадів сучасних будівель. *Шляхи підвищення ефективності будівництва в умовах формування ринкових відносин*. 2016. Вип. 33. С. 131–138.

29 Шолох Н. С., Новожилов Ю. М. Вплив теплопровідних включень на енергоефективність світлопрозорих огороджувальних конструкцій. *Енергоефективність в будівництві та архітектурі*. 2015. Вип. 7. С. 98–101.

30 Сушко О. В. Оцінка теплотехнічних неоднорідностей вузлів кріплення навісних фасадних систем. *Вісник ОДІБА*. 2018. № 71. С. 122–129.

31 *Методичні вказівки до виконання розрахунково-графічної роботи «Розрахунок температурних полів та опору теплопередачі огороджувальних конструкцій...»*. Київ : КНУБА, 2016. 32 с.

32 Guardian Glass. Технічна інформація : [веб-сайт]. URL: https://www.guardianglass.com/ua/uk (дата звернення: 09.11.2025).

33 Довгяло І. В. *Енергоефективність та енергозбереження в будівництві : навчальний посібник*. Київ : КНУБА, 2015. 164 с.

34 Клименко Ф. Є. *Металеві конструкції : підручник*. Київ : Видавництво НАУ, 2010. 412 с.

35 *Металеві конструкції : підручник* / за ред. В. М. Шимановського, О. В. Перельмутера. 2-ге вид. Київ : Сталь, 2008. 880 с.

36 Савченко О. В. *Будівельна фізика. Огороджувальні конструкції будівель і споруд : підручник*. Київ : КНУБА, 2016. 248 с.

37 ДСТУ 3008:2015. Інформація та документація. Звіти у сфері науки і техніки. Структура та правила оформлення. [Чинний від 2017-01-01]. Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2016. 29 с.

38 Ковальов Ю. Л., Ковальчук О. М., Черненко О. В. *Архітектурні конструкції : підручник*. Київ : КНУБА, 2021. 360 с.

39 Фаренюк Г. Г. *Теплова ізоляція будівель : навчальний посібник*. Київ : УАЕБ, 2017. 256 с.

40 Поколенко В. О., Кутра О. В. *Енергоаудит та енергетична сертифікація будівель : навчальний посібник*. Львів : Видавництво Львівської політехніки, 2019. 216 с.

41 Бабич М. І., Бабич М. М. *Будівельна теплотехніка : навчальний посібник*. Рівне : НУВГП, 2014. 236 с.

42 Кривенко П. В. та ін. *Будівельне матеріалознавство : підручник* / за ред. П. В. Кривенка. Київ : Ліра-К, 2012. 624 с.

43 Лівінський О. М., Собуцький В. А. *Скло у будівництві та архітектурі : навчальний посібник*. Київ : КНУБА, 2011. 248 с.

44 Плоский В. О., Авдєєва Г. В. *Архітектурні конструкції цивільних будівель : навчальний посібник*. Київ : КНУБА, 2017. 320 с.

45 Очеретний В. П. *Сучасні фасадні системи : навчальний посібник*. Вінниця : ВНТУ, 2015. 164 с.

46 Штойко І. П. *Архітектурні конструкції. Огороджувальні конструкції : навчальний посібник*. Львів : Видавництво Львівської політехніки, 2013. 192 с.

47 Тарифи для компаній. *ТОВ «Сумитеплоенерго»* : [веб-сайт]. URL: https://teplo.sumy.ua/company/rates/ (дата звернення: 10.10.2025).

48 Гребенюк І.В., Іщенко В.О. Конструктивні елементи алюмінієвих світлопрозорих конструкцій – тези доповіді на XVIII університетської науково-практичної конференції студентів, аспірантів, докторантів і молодих вчених «МОЛОДА НАУКА-2025». Запорізький національний університет. Запоріжжя: ЗНУ, 2025. Т.5. С. 22–23.