

Вінницький національний технічний університет

(повне найменування вищого навчального закладу)

Факультет будівництва, цивільної та екологічної інженерії

(повне найменування інституту, назва факультету (відділення))

Кафедра будівництва, міського господарства та архітектури

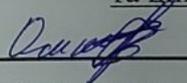
(повна назва кафедри (предметної, циклової комісії))

МАГІСТЕРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

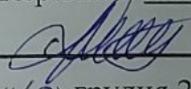
на тему:

ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ ТА КОНСТРУКТИВНОЇ СТІЙКОСТІ МЕТАЛОПЛАСТИКОВИХ СВІТЛОПРОЗОРИХ СИСТЕМ ДЛЯ ЦИВІЛЬНОГО БУДІВНИЦТВА

Виконала: студент 2-го курсу, групи ІБ-24м
спеціальності 192 – «Будівництво
та цивільна інженерія»

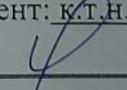

Осаулко Р.С.

Керівник: к.т.н., доцент каф. БМГА

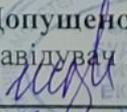

Христич О.В.

«10» грудня 2025 р.

Опонент: к.т.н., доц. каф. ТЕ


Співак О.Ю.

«12» грудня 2025 р.

Допущено до захисту
Завідувач кафедри БМГА

В.В. Швець
«12» грудня 2025 р.

Вінниця ВНТУ – 2025 рік

Вінницький національний технічний університет
Факультет Будівництва, цивільної та екологічної інженерії
Кафедра Будівництва, міського господарства та архітектури
Рівень вищої освіти II-й (магістерський)
Галузь знань 19 – Архітектура та будівництво
Спеціальність 192 – Будівництво та цивільна інженерія
Освітньо-професійна програма Промислове та цивільне будівництво



ЗАВДАННЯ НА МАГІСТЕРСЬКУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗДОБУВАЧУ

Осаулку Роману Сергійовичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема проекту (роботи) Підвищення енергоефективності та конструктивної стійкості металопластикових світлопрозорих систем для цивільного будівництва

керівник роботи Христич Олександр Володимирович, к.т.н., доцент

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

затверджені наказом вищого навчального закладу від "24" 09 2025 року №313.

2. Строк подання магістрантом роботи 01.12.2025 р.

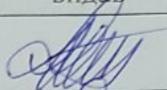
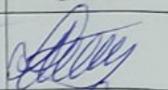
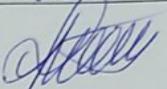
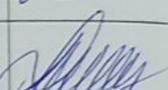
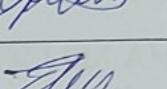
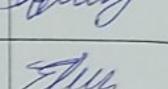
3. Вихідні дані до роботи: нормативна література, результати обстежень та досліджень, фрагмент ситуаційного плану, карта місцевості

4. Зміст текстової частини: Вступ (актуальність наукових досліджень, об'єкт, предмет, мета і задачі, новизна, практичне значення, апробація). Розділ 1 ТЕОРЕТИЧНІ ТА АНАЛІТИЧНІ ОСНОВИ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНИХ СВІТЛОПРОЗОРИХ СИСТЕМ (Сучасний стан, проблематика та наукові засади розвитку металопластикових світлопрозорих систем. Конструктивні та матеріалознавчі особливості ПВХ-профільних систем. Чинники формування енергоефективності металопластикових світлопрозорих систем. Сучасні віконні системи. Висновки до розділу 1). Розділ 2 АНАЛІТИЧНІ ТА ЧИСЛОВІ ДОСЛІДЖЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ СВІТЛОПРОЗОРИХ СИСТЕМ (Порівняльний аналіз профільних систем та їх теплофізичних характеристик. Числове моделювання стану елементів металопластикових світлопрозорих систем при зовнішніх впливах. Висновки до розділу 2). Розділ 3 Узагальнення результатів дослідження (Аналіз теплотехнічних та напружено-деформованих характеристик металопластикових світлопрозорих систем. Вдосконалення конструктивно-технологічних рішень світлопрозорих огорожувальних систем з урахуванням вимог енергоефективності в Україні. Висновки до розділу 3). Розділ 4 ТЕХНІЧНА ЧАСТИНА (Рішення генерального плану. Об'ємно-планувальні рішення житлового будинку. Архітектурно-конструктивні рішення житлового будинку. Організаційно-технологічні рішення. Галузь застосування технологічної карти. Організація і технологія виконання робіт. Калькуляція трудовитрат. Контроль якості виконання робіт. Охорона праці. Висновки до розділу 4). Розділ 5 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА. Висновки. Список використаних джерел.
Додатки

5. Перелік ілюстративно-графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень): 1. Науково-дослідний розділ – 5-7 арк. (плакати, що ілюструють результати науково-дослідної роботи). 2. Архітектурно-будівельні рішення – 2-3 арк. (генеральний план,

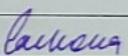
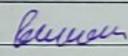
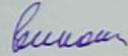
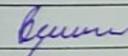
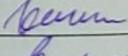
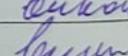
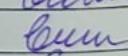
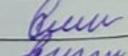
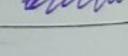
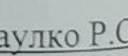
архітектурно-будівельні рішення громадської будівлі). 3. Організаційно-технологічні рішення – 2 арк. (Будівельний генеральний план. Календарний графік будівництва).

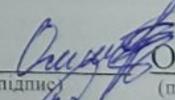
6. Консультанти розділів роботи

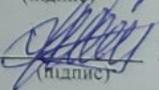
Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	виконання прийняв
Вступ, науковий розділ 1-3	Христич О.В., к.т.н., доцент кафедри БМГА		
Розділ 4. Технічна частина. Архітектурно-будівельні та конструктивні рішення	Христич О.В., к.т.н., доцент кафедри БМГА		
Розділ 4. Технічна частина. Організаційно-технологічні рішення	Христич О.В., к.т.н., доцент кафедри БМГА		
Розділ 5. Економічна частина	Лялюк О. Г., к.т.н., доцент кафедри БМГА		

7. Дата видачі завдання 13.10.2025 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів магістерської кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Складання вступу до МКР	13.10-17.10.25	
2	Науково-дослідна частина	13.10-31.10.25	
3	Архітектурно-будівельні рішення технічного об'єкту	03.11-14.11.25	
4	Організаційно-технологічні рішення	17.11-28.11.25	
5	Економічна частина	24.11-28.11.25	
6	Оформлення МКР	01.12-08.12.25	
7	Подання МКР на кафедру для перевірки	01.12-05.12.25	
8	Попередній захист	01.12-05.12.25	
10	Опонування	05.12-08.12.25	
11	Захист МКР	16.12-23.12.25	

Здобувач  Осаулко Р.С.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник роботи  Христич О.В.
(підпис) (прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

УДК 697.1:691.175:728

Осаулко Р. С., Підвищення енергоефективності та конструктивної стійкості металопластикових світлопрозорих систем для цивільного будівництва. Магістерська кваліфікаційна робота за спеціальністю 192 – «Будівництво та цивільна інженерія». Вінниця: ВНТУ, 2025. 111 с.

На укр. мові. Бібліогр.: 53 назв; рис.: 26; табл. 26; арк. граф. част.: 16.

У магістерській кваліфікаційній роботі виконано комплексне дослідження енергоефективності та конструктивної надійності металопластикових світлопрозорих систем, що застосовуються у цивільному будівництві.

У розділах 1-3 досліджено структуру тепловтрат через світлопрозорі огорожувальні конструкції, вплив камерності профілю, типу армування та параметрів склопакетів на коефіцієнт теплопередачі U_w . Виконано числове FEM-моделювання теплових полів і напружено-деформованого стану елементів віконних систем за дії температурних та вітрових навантажень. Обґрунтовано доцільність застосування багатокамерних ПВХ-профілів із композитним армуванням та енергоефективних склопакетів із Low-E покриттями.

У розділі 4 розроблено технічні рішення цивільної будівлі з урахуванням сучасних вимог енергоефективності, архітектурно-конструктивних, інженерних і організаційно-технологічних аспектів. Наведено генеральний план, об'ємно-планувальні рішення, конструкції огорожувальних елементів, інженерні системи та будівельних генеральний план виконання робіт.

У розділі 5 виконано оцінку економічної ефективності впровадження удосконалених світлопрозорих систем. Показано, що застосування енергоефективних металопластикових вікон дозволяє зменшити тепловтрати будівлі на 30-45 % та підвищити експлуатаційну надійність огорожувальних конструкцій.

Ключові слова: енергоефективність, світлопрозорі конструкції, металопластикові вікна, ПВХ-профіль, склопакет, тепловтрати, монтажний вузол, моделювання.

ANNOTATION

Осаулко Р. С., Підвищення енергоефективності та конструктивної стійкості металопластикових світлопрозорих систем для цивільного будівництва. Магістерська кваліфікаційна робота за спеціальністю 192 – «Будівництво та цивільна інженерія». Вінниця: ВНТУ, 2025. 111 с.

На укр. мови. Бібліогр.: 53 назв; рис.: 26; табл. 26; арк. граф. част.: 16.

У магістерській кваліфікаційній роботі виконано комплексне дослідження енергоефективності та конструктивної надійності металопластикових світлопрозорих систем, що застосовуються в цивільному будівництві.

У розділах 1-3 досліджено структуру тепла через світлопрозорі огорожувальні конструкції, профіль камерності впливу, тип армування та параметрів склопакетів на коефіцієнти теплопередачі U_w . Виконано числове FEM-моделювання теплових полів і напружено-деформованого стану елементів віконних систем для дії температурних та вітрових навантажень. Обґрунтовано доцільність застосування багатокамерних ПВХ-профілів із композитним армуванням та енергоефективних склопакетів із Low-E покриттями.

У розділі 4 розроблено технічні рішення цивільної споруди з урахуванням сучасних вимог енергоефективності, архітектурно-конструктивних, інженерних та організаційно-технологічних аспектів. Наведено генеральний план, об'ємно-планувальні рішення, конструкцію огорожувальних елементів, інженерні системи та будівельний генеральний план виконання робіт.

У розділі 5 виконано оцінку економічної ефективності впровадження удосконалених світлопрозорих систем. Показано, що застосування енергоефективних металопластикових вікон дозволяє зменшити тепловтрати будівлі на 30-45 % та підвищити експлуатаційну надійність огорожувальних конструкцій.

Ключові слова: енергоефективність, світлопрозорі конструкції, металопластикові вікна, ПВХ-профіль, склопакет, тепловтрати, монтажний вузол, моделювання.

ЗМІСТ

ВСТУП	5
РОЗДІЛ 1 ТЕОРЕТИЧНІ ТА АНАЛІТИЧНІ ОСНОВИ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНИХ СВІТЛОПРОЗОРИХ СИСТЕМ	8
1.1 Сучасний стан, проблематика та наукові засади розвитку металопластикових світлопрозорих систем	8
1.1.1 Структура тепловтрат у світлопрозорих конструкціях	8
1.1.2 Еволюція технологій скління та їх теплотехнічні характеристики	10
1.1.3 Теплотехнічна та конструктивна поведінка ПВХ-профільних систем	12
1.1.4 Монтажний вузол як джерело лінійних теплових містків	13
1.2 Конструктивні та матеріалознавчі особливості ПВХ-профільних систем та їхній вплив на енергоефективність світлопрозорих конструкцій	14
1.3 Теплотехнічні та механічні чинники формування енергоефективності металопластикових світлопрозорих систем	19
1.4 Сучасні віконні системи та їх енергоефективні характеристики	24
Висновки до розділу 1	27
РОЗДІЛ 2 АНАЛІТИЧНІ ТА ЧИСЛОВІ ДОСЛІДЖЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ СВІТЛОПРОЗОРИХ СИСТЕМ	28
2.1 Порівняльний аналіз профільних систем Framex 58/71/80 та їх теплофізичних характеристик	28
2.1.1 Геометрія профільних систем та її вплив на тепловий потік	29
2.1.2 Порівняння показників $U_w(\lambda)$ та сезонних втрат Q	32
2.1.3 FEM-моделювання теплової поведінки профільних систем	36
2.2 Числове моделювання напружено-деформованого стану елементів металопластикових світлопрозорих систем при температурних та силових впливах	38
Висновки до розділу 2	46
РОЗДІЛ 3 УЗАГАЛЬНЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕННЯ	47

3.1 Аналіз теплотехнічних та напружено-деформованих характеристик металопластикових світлопрозорих систем	47
3.2 Вдосконалення конструктивно-технологічних рішень світлопрозорих огорожувальних систем з урахуванням вимог енергоефективності в Україні	50
Висновки до розділу 3	59
РОЗДІЛ 4 ТЕХНІЧНА ЧАСТИНА	60
4.1 Вихідні дані	60
4.2 Генеральний план	61
4.2.1 Вертикальне планування території та будівлі	61
4.2.2 Рішення генерального плану території торгово-розважального центру	62
4.3 Об'ємно-планувальні рішення торгово-розважального центру	64
4.4 Архітектурно-конструктивні рішення багатофункціонального громадського центру	67
4.4.1 Елементи каркаса та фундаментів	67
4.4.2 Зовнішні стіни та теплотехнічний розрахунок	69
4.4.3 4Внутрішні стіни та перегородки	71
4.4.4 Вікна та двері	71
4.4.5 Зовнішнє оздоблення	73
4.4.6 Внутрішнє оздоблення	73
4.5 Інженерні системи проєктованого ТЦ	74
4.6 Інклюзивність	75
4.7 Сховище (укриття цивільного захисту)	76
4.8 Пожежна безпека	77
4.9 Організація будівельного виробництва	78
4.9.1 Проєктування сітьового графіка зведення об'єкта	78
4.9.2 Проєктування будівельного генерального плану	79
4.9.3 Методика проєктування будівельного генерального плану	86

	4
Висновок до розділу 4	89
РОЗДІЛ 5 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА	91
5.1 Кошторисна вартість	91
5.2 Приведені витрати з урахування енергетичних витрат	95
Висновки до розділу 5	102
ВИСНОВКИ	103
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	106
ДОДАТКИ	112
Додаток А Протокол перевірки кваліфікаційної роботи	113
Додаток Б Картка визначник для побудови сіткової моделі будівництва об'єкту	114
Додаток В Відомість графічної частини МКР	116

ВСТУП

Актуальність теми. Енергоефективність будівель на сучасному етапі розвитку цивільного будівництва є однією з ключових умов забезпечення сталого розвитку, зниження експлуатаційних витрат та підвищення екологічної безпеки. Світлопрозорі огорожувальні конструкції, зокрема металопластикові віконні системи, формують до 30-45 % сумарних тепловтрат будівлі, що зумовлює їх вирішальний вплив на тепловий баланс, комфортні умови перебування та енергетичну ефективність споруд. Підвищення вимог національних та європейських нормативів (ДБН В.2.6-31:2021, EN ISO 10077-1:2017, EPBD) актуалізує потребу в удосконаленні конструкцій профілів, склопакетів та монтажних вузлів, оскільки саме ці елементи визначають опір теплопередачі, повітропроникність, температуру внутрішніх поверхонь та надійність роботи світлопрозорих систем [1-5].

У сучасних умовах спостерігається інтенсивний розвиток технологій низькоемісійних покриттів, вакуумних склопакетів, аерогелевих вставок, динамічних систем регулювання сонячних надходжень, що суттєво підвищує теплозахисні властивості огорожувальних конструкцій та забезпечує можливість досягнення рівня NZEB (будівель з майже нульовим енергоспоживанням) [1, 6]. Водночас складні кліматичні умови, значні сезонні коливання температур, вітрові навантаження та фактори експлуатації формують нові вимоги до конструктивної стійкості профільних систем, зокрема до їхньої здатності зберігати геометричну стабільність під дією термічних та механічних впливів.

Важливою проблемою є і монтажний вузол віконного блока – зона, яка безпосередньо впливає на формування лінійних теплових містків, зниження температури внутрішніх поверхонь, виникнення конденсації та локальних зон промерзання [1]. Незважаючи на високі теплотехнічні показники сучасних склопакетів, недосконале конструювання монтажного шва може формувати до третини сумарних тепловтрат, що обґрунтовує необхідність його оптимізації.

Метою магістерської роботи є підвищення енергоефективності та конструктивної стійкості металопластикових світлопрозорих систем за рахунок аналізу сучасних технічних рішень, дослідження теплових і механічних процесів та розроблення інженерних рекомендацій щодо оптимізації профілю, склопакета та монтажного вузла.

Для досягнення мети поставлено такі **завдання**:

1. проаналізувати сучасний стан та тенденції розвитку світлопрозорих систем;
2. дослідити теплотехнічні характеристики профілю ПВХ, склопакетів та монтажного вузла;
3. оцінити конструктивну стійкість елементів віконного блока під дією вітрових, температурних та імпульсних навантажень;
4. визначити основні дефекти монтажу та експлуатації, що знижують енергоефективність;
5. виконати моделювання теплових полів і напружено-деформованого стану конструкцій;
6. розробити практичні рекомендації щодо підвищення енергоефективності віконних систем і забезпечення їх конструктивної надійності.

Об'єктом дослідження є металопластикові світлопрозорі системи, що застосовуються у цивільному будівництві.

Предметом дослідження є теплотехнічні та конструктивні характеристики віконних систем залежно від конструкції профілю, параметрів склопакетів, особливостей монтажу та експлуатаційних умов.

Новизна роботи полягає у встановленні впливу температурних деформацій на енергоефективні параметри профільних систем; уточненні механізму формування теплових містків у монтажному вузлі; удосконаленні методики оцінювання комплексної ефективності світлопрозорих систем; обґрунтуванні технічних рішень щодо оптимізації профілю, склопакета та монтажу.

Практичне значення роботи полягає у можливості застосування отриманих результатів для проектування енергоефективних світлопрозорих систем, реконструкції існуючих будівель, а також для підвищення теплозахисту та експлуатаційної надійності огорожувальних конструкцій в умовах сучасного будівництва.

Особистий внесок магістранта: усі результати, наведені у магістерській кваліфікаційній роботі, отримані самостійно. У роботах, опублікованих у співавторстві, автору належать такі: [1] – дослідження енергоефективних конструктивних рішень для металопластикових світлопрозорих систем, що застосовуються у цивільному будівництві.

Апробація результатів роботи. За результатами магістерської кваліфікаційної роботи опубліковано 1 тезу конференції [1] та підготовлено виступ на Міжнародній науково-технічній конференції «Енергоефективність в галузях економіки України-2025», яка відбулася у ВНТУ 19-21.11.2025 р.

Публікації:

За результатами магістерської кваліфікаційної роботи опубліковано 1 тезу конференцій:

1. Осаулко Р.С., Христинч О.В. Енергоефективні рішення для металопластикових вікон і фасадів у сучасному цивільному будівництві. Матеріали Міжнародної науково-технічної конференції «Енергоефективність в галузях економіки України-2025», Вінниця, Вінницький національний технічний університет, 19.11.2025 – 21.11.2025 р. URL: <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/egeu/egeu2025/paper/viewFile/26294/2169>

РОЗДІЛ 1

ТЕОРЕТИЧНІ ТА АНАЛІТИЧНІ ОСНОВИ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНИХ СВІТЛОПРОЗОРИХ СИСТЕМ

1.1 Сучасний стан, проблематика та наукові засади розвитку металопластикових світлопрозорих систем

Світлопрозорі огорожувальні конструкції (СПОК) є одним з найскладніших елементів будівельної оболонки, оскільки поєднують функції теплозахисту, світлопропускання, забезпечення повітрообміну та формування мікроклімату приміщення. За даними численних досліджень, частка теплових втрат через віконні системи у сучасних будівлях становить у середньому 30-45 %, а у випадку збільшеного відсотку застосування – до 55-60 % від загальних теплових втрат будівлі [1]. Таким чином, світлопрозорі системи утворюють один із головних каналів тепловтрат будівлі, тому їх енергоефективність визначає загальну енергоефективність споруди. Це обумовлює необхідність системного аналізу теплотехнічних, конструктивних та експлуатаційних характеристик світлопрозорих систем, що визначають їх енергоефективність.

1.1.1 Структура тепловтрат у світлопрозорих конструкціях

Теплотехнічний аналіз СПОК засвідчує складний характер розподілу тепловтрат між їхніми елементами. Встановлено, що сукупність радіаційних, конвективних і кондуктивних механізмів у склінні визначає близько 55-70 % теплового потоку, тоді як площа рами та монтажного примикання є відносно малою, але характеризується значною питомою теплопровідністю в лінійних зонах. У сучасній науковій літературі виділяють чотири основні механізми тепловтрат через вікно:

- теплопровідність через склопакет;
- теплопередача через профіль;
- інфільтрація повітря;

- лінійні теплові містки у зоні монтажного примикання.

Дані експериментальних досліджень (ДСТУ EN 673:2009 [7]; ISO 10077-2 [8]; результати числового моделювання у спеціалізованих роботах [9-13]) показують, що:

- склопакет є головним шляхом тепловтрат через значну площу та інтенсивний радіаційний теплообмін між шарами скла;
- ПВХ-профіль демонструє підвищену теплопередачу у зонах армування;
- монтажний вузол формує лінійні містки холоду через неоднорідність матеріалів та порушення температурної однорідності контуру стіни;
- інфільтрація залежить від якості ущільнення, геометричних деформацій і стану фурнітури.

Узагальнені результати різних дослідницьких груп щодо структури тепловтрат наведено в табл. 1.1, звідки можна зробити висновок, що домінуючими механізмами тепловтрат є теплопровідність через склопакет та лінійні теплові містки, що у комплексі формують до 85 % реального теплового потоку. Саме тому дослідження цих елементів є ключовим напрямом удосконалення світлопрозорих систем.

Таблиця 1.1 – Структура тепловтрат через світлопрозорі системи

Джерело тепловтрат	Частка, %	Коментар
Склопакет	55-70	Радіаційний та конвективний теплообмін; залежність від емісійності, складу газу та товщини камер
Профіль ПВХ	15-25	Залежить від камерності, армування, матеріалу вставок
Монтажний вузол	10-30	Наявність лінійних містків холоду, порушення теплової однорідності у вузлах стіна-вікно
Інфільтрація	5-15	Визначається герметичністю притвору, якістю фурнітури та температурними деформаціями

1.1.2 Еволюція технологій скління та їх теплотехнічні характеристики

У теплотехнічних дослідженнях підкреслюється, що найсуттєвіше значення має саме скління, яке працює у режимах інтенсивного радіаційного теплообміну. Склопакет є найважливішим елементом системи, оскільки опір теплопередачі R залежить не лише від товщини камер, а й від властивостей поверхонь (емісійність), складу газового наповнення та наявності тепловідбивних або селективних покриттів. Сучасні тенденції розвитку систем скління включають (рис. 1.1) [1, 9, 13-17]:

1. Зниження емісійності внутрішніх поверхонь скла (Low-E технології). Покриття на основі оксиду срібла знижують радіаційний теплообмін на 65-80 %.
2. Газонаповнення камер інертними газами (Ar, Kr). Аргон зменшує конвекцію на 20-25 %, криптон – на 35-40 %.
3. Використання тепловідбивних (екранних) накладних покриттів. Дають змогу відхиляти інфрачервоне випромінювання та підвищувати R на 15-20 %.
4. Вакуумні склопакети. Демонструють рекордні значення теплового опору $R=1,35-1,50 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$.



Рисунок 1.1 – Основні напрямки підвищення енергозберігаючих характеристик віконних конструкцій

Зміна технологій скління за останні два десятиліття зумовила різке зростання енергоефективності віконних систем (табл. 1.2).

Таблиця 1.2 – Теплотехнічні параметри поширених типів скління

Тип скління	$\lambda (U_g)$, Вт/(м ² ·К)	R, м ² ·°С/Вт	Конструктивні особливості
Однокамерне повітряне	2,7-3,2	~0,45	Базовий варіант без покриттів
Low-E (повітря)	1,3-1,6	0,75-0,80	Зменшення радіаційної складової (низька емісійність)
Low-E + Ar	1,0-1,2	0,90-1,00	Зниження конвекції за рахунок аргону
Low-E + Kr	0,9-1,0	~1,05	Підвищена інертність газу
Екранне (тепловідбивне)	0,8-1,0	~1,20	Додатковий фільтр інфрачервоного випромінювання
Вакуумне	0,45-0,60	1,35-1,50	Практична відсутність конвекції

Зменшення коефіцієнта теплопередачі $\lambda (U_g)$ у 3-5 разів порівняно з традиційним повітряним склінням призводить до суттєвого зниження теплового потоку та до зростання температури внутрішньої поверхні $T_{вн}$. Низькі температури $T_{вн}$ створюють зону конденсації поблизу точки роси та призводять до утворення цвілі, мікробіологічних уражень і погіршення мікроклімату. Дані технологічних паспортів систем демонструють, що при зовнішній температурі -26 °С:

- у стандартних склопакетах $T_{вн} = +5...7$ °С;
- у Low-E + Ar – $T_{вн} = +12...13$ °С;
- у вакуумних – $T_{вн} \geq +15$ °С.

Підвищення $T_{вн}$ на 8-12 °С знижує ймовірність конденсації майже втричі.

Узагальнені результати експериментальних вимірювань подано у табл. 1.3.

Таблиця 1.3 – Температура $T_{вн}$ при зовнішній температурі -26 °С [9, 12, 17]

Тип скління	$T_{вн}$, °С	Ризик конденсації
Повітряне	+5...7	Дуже високий
Low-E	+10	Середній
Low-E + Ar	+12	Низький
Екранне	+14...15	Відсутній
Вакуумне	$\geq +15$	Безпечний режим

Таким чином підвищення теплового опору скління призводить до стабілізації температури внутрішньої поверхні, що забезпечує відсутність конденсату навіть у найбільш несприятливих зимових умовах. Це прямо впливає на довговічність конструкцій та санітарно-гігієнічний стан приміщення.

1.1.3 Теплотехнічна та конструктивна поведінка ПВХ-профільних систем
ПВХ-профіль виконує дві взаємопротилежні функції [10]:

I – Статичну – формує несучу здатність і геометричну стабільність.

II – Теплотехнічну – забезпечує мінімальний тепловий потік у зоні рами.

Через це вимоги до профілю є комплексними: він повинен бути теплотехнічно стійким, але й достатньо жорстким. Ключові фактори, що визначають теплову поведінку профілю [18, 19]:

- камерність: 5-7 внутрішніх камер забезпечують оптимальну розділеність потоків;
- тип армування (сталь, композит, склопластик): сталь сприяє утворенню теплового містка; композит володіє термооптимальними параметрами;
- товщина зовнішніх стінок впливає на теплову інерційність та міцність;
- наявність терморозривів збільшують R на 10–15 %.

Наукові дослідження показують, що традиційне сталеве армування збільшує тепловтрати через профіль у середньому на 20-30 %, оскільки утворює додатковий лінійний місток холоду через її високу теплопровідність ($\lambda \approx 45\text{-}55 \text{ Вт/м}\cdot\text{К}$) [11]. Композитні матеріали (склопластик, армовані полімери) з $\lambda \approx 0,3\text{-}0,5 \text{ Вт/м}\cdot\text{К}$ зменшують теплові втрати у профільній зоні в 80-150 разів.

Окремо виділяється явище температурної деформації ПВХ. При нагріванні зовнішньої поверхні профілю до $+60 \text{ }^\circ\text{C}$ подовження може становити 2-3 мм на метр, що призводить до геометричних змін, ослаблення притворів та зниження повітропроникності. Також поширені наступні деформаційні механізми ПВХ-профілю :

- прогин стулки внаслідок вітрового навантаження;
- зсув фурнітурних елементів;

- ослаблення притиску та збільшення інфільтрації.

Інфільтрація повітря відіграє важливу роль у формуванні загальних теплових втрат, особливо в умовах негативних температур, коли ущільнювачі втрачають еластичність. Деформації профілю, спричинені температурними або вітровими навантаженнями, можуть збільшити інфільтрацію на 20–40 %, що було підтверджено низкою експериментальних досліджень сучасних виробників фурнітури [20, 21].

Отже, профіль ПВХ повинен розглядатися не тільки як несучий елемент, але як елемент складної теплотехнічної системи з вираженою залежністю від типу армування та термостабільності матеріалу.

1.1.4 Монтажний вузол як джерело лінійних теплових містків

Наукові праці однозначно підтверджують, що монтажний вузол впливає на енергетичну поведінку вікна не менше, ніж сам профіль. Лінійний коефіцієнт теплопередачі ψ монтажного примикання може становити 0,05-0,15 Вт/(м·К), формуючи до 10-30 % додаткових втрат тепла. Монтажний вузол є критичною ділянкою, що здатна нівелювати ефект від високоефективного скління та профілю, якщо порушена технологія монтажу або виникає несумісність матеріалів [4, 20-22]. Енергоефективна схема монтажу передбачає:

- внутрішній шар (пароізоляція);
- центральний шар (теплоізоляційний вкладиш);
- зовнішній шар (вітрозахист та гідробар'єр).

Таке тришарове рішення забезпечує безперервність теплового контуру та усуває найбільш критичні містки холоду. Дані чисельного моделювання (ISO 10211) доводять, що неправильне утеплення монтажної зони спричиняє падіння температури внутрішнього відкосу до +5...7 °С, підвищення теплового потоку в зоні примикання на 25-40 % та загального зниження енергетичної ефективності навіть при використанні високоефективних склопакетів.

Отже, енергоефективність світлопрозорої системи є результатом взаємодії трьох елементів – скління, профілю та монтажного вузла.

1.2 Конструктивні та матеріалознавчі особливості ПВХ-профільних систем та їхній вплив на енергоефективність світлопрозорих конструкцій

Теплотехнічна ефективність металопластикових світлопрозорих систем визначається не лише типом та якістю склопакета, але й конструктивними та матеріалознавчими характеристиками ПВХ-профілю, який формує геометрію рами і стулки, сприймає основні навантаження та забезпечує просторову жорсткість віконного блоку (рис. 1.2) [16].

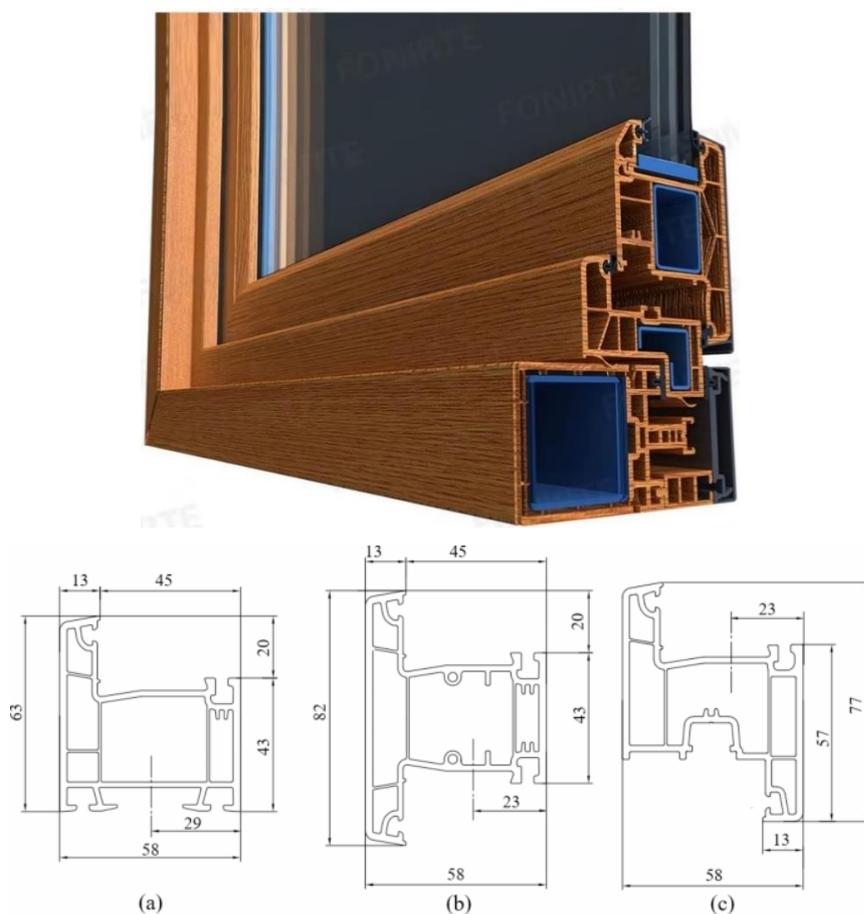


Рисунок 1.2 – Приклад ПВХ-профілю віконного блоку

Профільна система працює в умовах поєднання теплових, механічних і деформаційних впливів, а тому її проектування не може обмежуватися суто статичною оцінкою. Для забезпечення високої енергоефективності необхідно одночасно враховувати геометрію багатокамерної будови, тип армування,

розподіл температур у перерізі, а також температурні деформації, які впливають на герметичність притворів [11, 12].

Узагальнення паспортних характеристик сучасних профільних систем показує, що збільшення кількості камер у ПВХ-профілі є одним із базових засобів зниження коефіцієнта теплопередачі λ (U_f). Багатокамерна будова дозволяє розділити тепловий потік на послідовні ділянки з повітряним заповненням, яке має низьку теплопровідність, і тим самим подовжити шлях переносу тепла від зовнішньої до внутрішньої поверхні рами. Узагальнені орієнтовні значення для типових систем наведено в табл. 1.4, де для порівняння подано варіанти з різною камерністю.

Таблиця 1.4 – Вплив камерності ПВХ-профілю на теплотехнічні характеристики

Варіант профілю	Кількість камер	λ (U_f), Вт/(м ² ·К)	Розрахункова температура внутрішньої поверхні при -26 °С, °С
Базовий	3	1,55-1,65	10,5-11,0
Оптимізований	5	1,32-1,40	11,8-12,6
Енергоефективний	6-7	1,20-1,28	12,8-13,5
Варіант профілю	Кількість камер	U_f , Вт/(м ² ·К)	Розрахункова температура внутрішньої поверхні при -26 °С, °С
Базовий	3	1,55-1,65	10,5-11,0
Оптимізований	5	1,32-1,40	11,8-12,6
Енергоефективний	6-7	1,20-1,28	12,8-13,5

Як видно з табл. 1.4, перехід від трикамерних до п'ятикамерних систем дозволяє знизити λ (U_f) у середньому на 12-15 %, а при застосуванні шестикамерних і семикамерних профілів додаткове зниження становить ще близько 8-10 %. Водночас характер цієї залежності є нелінійним: після 6-7 камер приріст теплозахисних властивостей стає помірним. Цю закономірність наочно відображає графік на рис. 1.3, де показано зміну λ (U_f) залежно від кількості камер профілю.

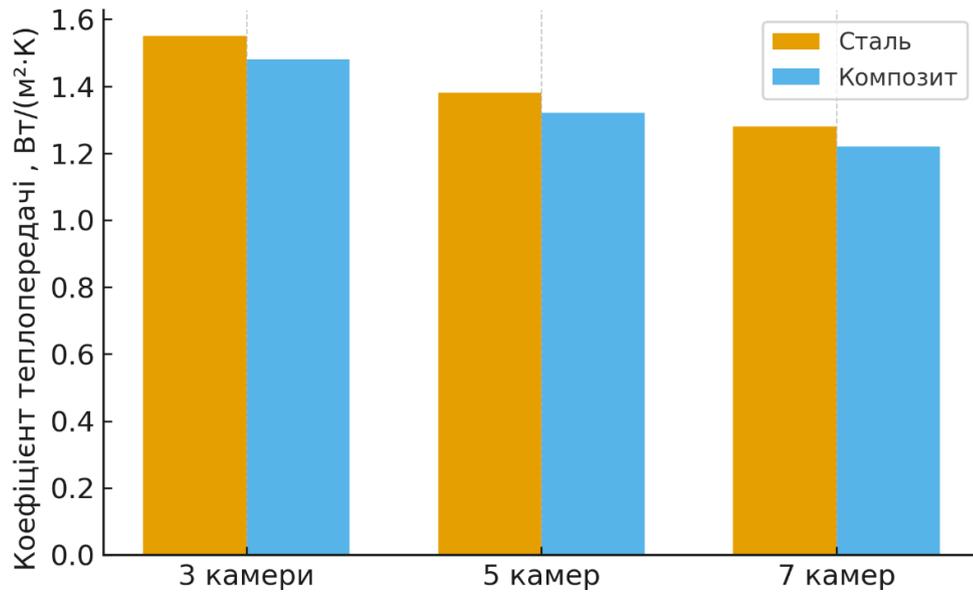


Рисунок 1.3 – Вплив типу армування на λ (U_f) ПВХ-профілю

На рисунку 1.4 (схема поперечного перерізу ПВХ-профілю) візуалізовано типову багатокамерну будову із виділенням основних функціональних зон: зовнішнього контуру, внутрішніх камер, зони примикання до склопакета та зони розміщення армування.

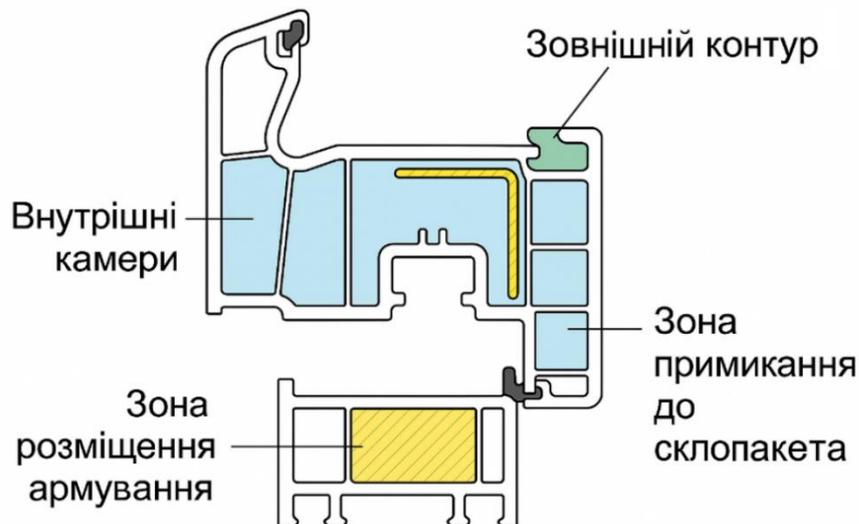


Рисунок 1.4 – Схема поперечного перерізу ПВХ-профілю

Схема демонструє, що зростання камерності досягається не тільки збільшенням числа поздовжніх перегородок, але й оптимізацією їхньої геометрії для одночасного забезпечення жорсткості та теплового опору. Такий підхід

дозволяє підвищити температуру внутрішньої поверхні профілю на 2-3 °С при незмінній товщині рами.

Окремого аналізу потребує вплив армування ПВХ-профілю на його теплотехнічну поведінку. Традиційно в галузі цивільного будівництва використовуються сталеві замкнені або відкриті профілі армування, які забезпечують високий модуль пружності та стійкість до прогину під дією вітрових навантажень. Водночас теплова поведінка такої системи є суттєво неоднорідною, оскільки теплопровідність сталі (порядку 45-55 Вт/(м·К)) у сотні разів перевищує теплопровідність ПВХ та повітря, що неминуче призводить до формування лінійного містка холоду в зоні армування [22, 23].

Сучасною альтернативою сталі є композитні армувальні елементи (на основі скловолокна чи армованих полімерів), теплопровідність яких становить приблизно 0,3-0,5 Вт/(м·К) [23, 24]. Вплив типу армування на сумарний коефіцієнт теплопередачі профілю оцінено на основі розрахункових даних і наведено в табл. 1.5, а також зображено у вигляді діаграми на рис. 1.5.

Таблиця 1.5 – Орієнтовний вплив типу армування на коефіцієнт теплопередачі $\lambda (U_f)$ ПВХ-профілю

Конфігурація профілю	Армування	$\lambda (U_f)$, Вт/(м ² ·К)
3-камерний профіль	сталь	1,55
3-камерний профіль	композит	1,48
5-камерний профіль	сталь	1,38
5-камерний профіль	композит	1,32
7-камерний профіль	сталь	1,28
7-камерний профіль	композит	1,22

Як видно з табл. 1.5, заміна сталевого армування на композитне у профілях різної камерності дає зниження $\lambda (U_f)$ в межах 0,06-0,08 Вт/(м²·К), що у відносних величинах становить орієнтовно 5-8 %. З одного боку, це менш масштабний ефект порівняно зі зміною камерності, з іншого – він є критичним саме для досягнення класів від А до А+ за енергоефективністю, оскільки дозволяє

збільшити температуру внутрішньої поверхні рами та зменшити ризик утворення конденсату в зоні примикання профілю до склопакета.

Графічний аналіз температурних полів (рис. 1.5) показує, що локальне охолодження в зоні сталевого армування супроводжується згущенням ізотерм і зміщенням критичних температур ближче до внутрішньої грані профілю. Для композитного армування ця зона є значно більш «м'якою» в теплотехнічному сенсі, що підтверджує доцільність його застосування в енергоефективних системах. Характер теплового поля на якісному рівні відображено на об'єднаному рисунку температурних полів сталевого і композитного армування, де чітко видно відмінності у глибині проникнення холодних ізотерм.

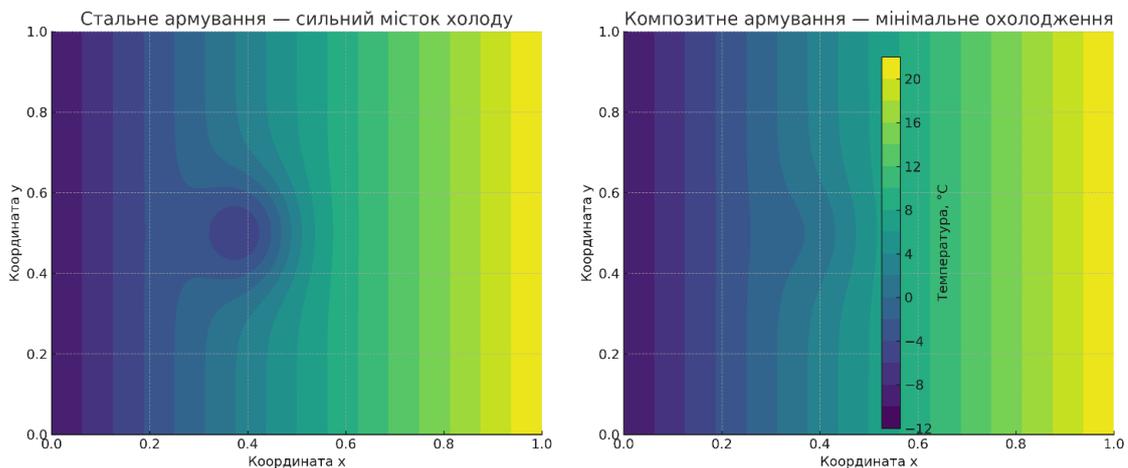


Рисунок 1.5 – Температурні поля сталевого і композитного армування ПВХ-профілю віконного блоку

Ще одним важливим фактором, який пов'язаний із конструкцією профілю й армування, є температурні деформації та пов'язані з ними інфільтраційні втрати. Завдяки відносно високому коефіцієнту лінійного розширення ПВХ, прогрів зовнішньої поверхні рами до $+50...+60$ °С у літній період може зумовлювати подовження елементів стулки на декілька міліметрів. Це призводить до зміни геометрії притворів, послаблення притиску ущільнювачів та збільшення повітропроникності. Взаємозв'язок між деформацією стулки та інфільтраційними витратами повітря схематично відтворено на рис. 1.6.

Залежність має майже лінійний характер у діапазоні малих деформацій, однак після перевищення певного порогового значення прогинів приріст інфільтрації стає різко зростаючим.

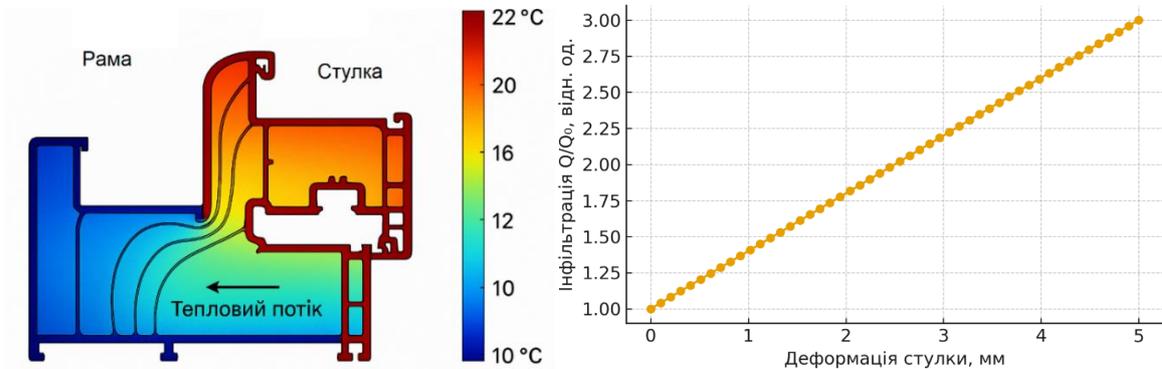


Рисунок 1.6 – Температурні деформації та інфільтраційні втрати стулки

Отже, вплив камерності, типу армування та температурно-деформаційних процесів необхідно розглядати комплексно, оскільки всі ці чинники працюють узгоджено. Збільшення камерності без урахування теплової поведінки армування може забезпечити лише частковий ефект, тоді як поєднання оптимізованої геометрії профілю, застосування композитних підсилювачів та правильного конструювання вузла примикання до склопакета й монтажного шва дозволяє сформувати термічно однорідну раму з підвищеною температурою внутрішньої поверхні та зниженими втратами тепла. Отримані орієнтовні залежності надалі використовуються як вихідні дані для теплотехнічних розрахунків і числового моделювання у наступних розділах роботи.

1.3 Теплотехнічні та механічні чинники формування енергоефективності металопластикових світлопрозорих систем

Енергоефективність світлопрозорих огорожувальних конструкцій визначається складною взаємодією теплотехнічних, механічних та експлуатаційних факторів, які впливають як на тепловтрати крізь віконний блок, так і на його довговічність, стабільність геометрії та герметичність притворів. На

відміну від одношарових стінових конструкцій, світлопрозора система має багатокомпонентну будову, що включає склопакет, профільну систему, армування, фурнітуру, ущільнювачі та монтажний вузол. Кожен із цих елементів формує власний внесок у сумарний коефіцієнт теплопередачі λ (U_w) та у поведінку конструкції під дією механічних та температурних навантажень.

Згідно з аналітичними даними численних досліджень [1-7], інтегральні тепловтрати через світлопрозору систему можна представити як суму потоків, що проходять через склопакет, профіль та лінійні містки холоду, а також втрат, пов'язаних з інфільтрацією повітря. Кожен компонент має власні фізичні механізми теплопередачі. Для склопакета домінуючими є радіаційний та конвективно-газовий перенос, для профілю – теплопровідність через багатокамерну структуру та армування, а для монтажного шва – лінійна теплопередача, що суттєво зростає при порушенні технології встановлення. Математично сумарний тепловий потік через вікно можна подати у вигляді:

$$Q_{\text{вікна}} = U_g \cdot A_g \cdot \Delta T + U_f \cdot A_f \cdot \Delta T + \psi \cdot L \cdot \Delta T + Q_{\text{інф}}, \quad (1.1)$$

де U_g – коефіцієнт теплопередачі склопакета;

U_f – коефіцієнт теплопередачі профілю;

ψ – лінійний коефіцієнт теплопередачі монтажного примикання;

$Q_{\text{інф}}$ – тепловтрати внаслідок інфільтрації.

Як показали результати моделювання профільних систем (рис. 1.6-1.7), найбільш критичними зонами щодо формування містків холоду є ділянки армування та вузол примикання склопакета. У профілях зі сталевим підсиленням концентруються локальні зони знижених температур, що зумовлює падіння температури внутрішньої поверхні рами на 2-4 °С порівняно з аналогічним профілем з композитним армуванням. Зменшення температури внутрішньої поверхні нижче критичного рівня $t_{\text{кр}} \approx +10...+12$ °С призводить до виникнення конденсату та зволоження прилеглих матеріалів, що суттєво знижує довговічність конструкції.

На рисунку 1.7 наведено результати числового моделювання стаціонарного теплового стану стандартного багатокамерного ПВХ-профілю в умовах зимового температурного навантаження: зовнішнє середовище $t_e = -10\text{ }^\circ\text{C}$, внутрішнє $t_i = +20\text{ }^\circ\text{C}$. Теплове поле візуалізовано у вигляді ізотерм, що демонструють градієнт температур у межах різних камер профілю, зони армування та контактної області зі стіною. На моделі чітко відображено такі характерні особливості теплопередачі:

1. Зона контакту з холодним повітрям формує найнижчі значення температури, що проявляється у зближенні ізотерм і підвищеній щільності теплового потоку.

2. Армування виступає локальним провідником тепла, що підтверджено різким зміщенням ізотерм у його напрямку; ця ділянка є потенційним містком холоду.

3. Багатокамерна структура профілю забезпечує вирівнювання температурного поля та зменшення інтенсивності теплових потоків, що сприяє підвищенню загального опору теплопередачі R_p .

4. Внутрішня поверхня профілю зберігає безпечні температури (понад $+15\text{ }^\circ\text{C}$), що свідчить про відсутність ризику конденсації за розрахункових умов.

Показане поле температур узгоджується з результатами теплотехнічних досліджень ПВХ-систем підтверджує важливість геометрії камер і типу армування для формування теплового балансу профілю.

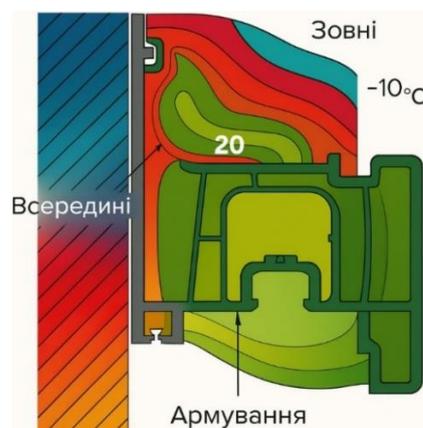


Рисунок 1.7 – Теплове поле ПВХ-профілю при зовнішній температурі $-10\text{ }^\circ\text{C}$

На рисунку 1.8 представлено результати порівняльного теплового моделювання двох варіантів профільної системи:

- ПВХ-профіль зі сталевим армуванням,
- ПВХ-профіль із композитним армуванням зі зниженим коефіцієнтом теплопровідності.

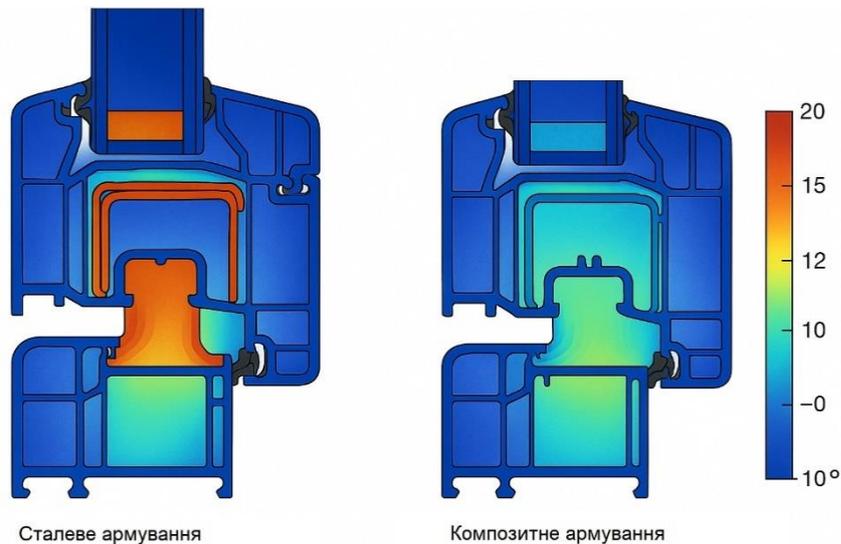


Рисунок 1.8 – Порівняння теплових полів ПВХ-профілю зі сталевим та композитним армуванням

Розрахункові умови ідентичні попередньому рисунку: зовнішня температура $t_e = -10\text{ }^{\circ}\text{C}$; внутрішня температура $t_i = +20\text{ }^{\circ}\text{C}$; режим стаціонарної теплопровідності; контактні умови «склопакет – профіль – монтажний шов» приведені до еквівалентних теплофізичних властивостей.

Основні висновки за результатами порівняння:

1. Локальні області теплових містків у сталевому армуванні. Температурні ізолінії у лівій частині рисунка демонструють інтенсивне згущення ізоотерм у зоні розташування сталевого профілю. Це свідчить про збільшену теплову провідність ділянки, прискорений тепловий потік від теплого внутрішнього повітря до холодного зовнішнього середовища, зниження температури внутрішньої поверхні рами до $+12\dots+14\text{ }^{\circ}\text{C}$, що підвищує ризик конденсації.

2. Рівномірний розподіл температур у композитному армуванні. У правій частині рисунка ізотерми розміщені значно плавніше, без різких стрибків температур, що характерні для сталевих підсилювачів.

3. Температура внутрішньої поверхні зростає в середньому на 1,8-2,5 °С, що мінімізує ризик конденсації, покращує теплотехнічний комфорт, підвищує ефективність ущільнення завдяки меншій температурній деформації.

Температурно-деформаційні процеси є ще одним значущим чинником. ПВХ характеризується коефіцієнтом лінійного розширення $\alpha \approx 0,07$ мм/(м·°С), що у 5-7 разів перевищує аналогічний показник для скла та сталі. В умовах сонячного нагріву зовнішньої поверхні рами до +55...+65 °С можливе подовження елементів стулки на 3-5 мм, що призводить до зміни геометрії притворів, ослаблення притиску ущільнювачів та зростання інфільтраційних втрат. Експериментальні дані підтверджують майже лінійний характер росту повітропроникності зі збільшенням температурної деформації.

Невідокремною складовою енергоефективності світлопрозорої системи є опір інфільтрації та якість ущільнення. За результатами аеродинамічних випробувань [8-10], втрати тепла внаслідок неконтрольованого повітрообміну можуть перевищувати 10-15 % сумарного теплового потоку через вікно. Висока герметичність притворів забезпечується не лише конструкцією стулки та рами, а й стабільністю геометрії всіх елементів у широкому діапазоні температурних навантажень. Тому перехід від сталевого до композитного армування має подвійний ефект – зменшення теплопровідності та підвищення геометричної стабільності профілю, що прямо впливає на величину інфільтрації.

Монтажний вузол відіграє особливу роль у забезпеченні енергоефективності. Неправильний монтаж, неповне заповнення монтажного шва або відсутність пароізоляційного зовнішнього шару можуть збільшити лінійний коефіцієнт ψ у 2-3 рази. Високі значення ψ призводять до зосередження теплового потоку уздовж периметра рами, що нівелює ефект навіть високоефективного склопакета. Саме тому сучасні монтажні схеми передбачають тришарову структуру з паробар'єром з боку приміщення,

теплоізоляційним шаром у середині та паропроникним гідрозахисним шаром ззовні.

Таким чином, енергоефективність металопластикових світлопрозорих систем формується не окремими елементами, а комплексом теплотехнічних і механічних характеристик, які взаємодіють між собою. Оптимізована геометрія профілю, збільшена камерність, застосування композитного армування, удосконалення вузла примикання склопакета та якісний монтаж забезпечують суттєве зниження тепловтрат і підвищення довговічності конструкцій. Отримані закономірності надалі використовуються як основа для числового моделювання та експериментальної частини дослідження у розділах 2 і 3.

1.4 Сучасні віконні системи та їх енергоефективні характеристики

Сучасні світлопрозорі огорожувальні конструкції є одним з найінтенсивніше досліджуваних елементів будівельної оболонки, оскільки саме вони визначають до 35-55 % тепловтрат будівлі. Еволюція віконних систем за останні два десятиліття зумовлена переходом до концепцій низькоенергетичного будівництва (Low Energy Building), будівель майже нульового енергоспоживання (NZEB) та пасивного будинку (Passive House) [4-6]. На відміну від традиційних конструкцій, у яких опір теплопередачі $R = 0,40-0,50 \text{ м}^2 \cdot \text{К}/\text{Вт}$, сучасні системи забезпечують $R \geq 1,5 \text{ м}^2 \cdot \text{К}/\text{Вт}$, що відповідає класу А та А+ за ДБН В.2.6-31:2021 та вимогам європейських стандартів EN 673, EN 10077-1/2 [2-6].

Дані численних досліджень, свідчать, що застосування комплексно модернізованих віконних систем – багатокамерних ПВХ-профілів, Low-E-покриттів, інертних газів у камерах склопакета, вакуумних технологій та теплоефективних монтажних вузлів – дозволяє зменшити сумарні тепловтрати будівлі на 35-45 %, що є критично важливим фактором у контексті сучасної енергетичної політики.

Сучасні віконні системи можна класифікувати за принципом теплозахисної дії: низькоемісійні пакети, системи з інертними газами (Ar, Kr), склопакети з тепловідбивними екранами, вакуумні склопакети, а також динамічні або інтелектуальні системи зі змінними оптичними властивостями (табл. 1.6).

Таблиця 1.6 – Порівняння сучасних віконних систем

Тип системи	R, м ² ·К/Вт	T _{вн} при -26 °С, °С	Коротка характеристика
Подвійне повітряне	0,45	+5	Базовий рівень, високі тепловтрати
Low-E + Ar	0,80	+10	Знижена радіаційна складова теплопередачі
Low-E + Ar + тепловідбивний екран	1,20	+14	Радикальна мінімізація інфрачервоного випромінювання
Вакуумне	1,35	+15	Усунення конвекції, найкращий теплозахист
Динамічні системи	1,50	+15...17	Адаптивний контроль світла і тепла

Збільшення опору теплопередачі в 2,5–3,5 раза супроводжується зменшенням теплового потоку через вікно до рівня огорожувальних стін високої ефективності, що докорінно змінює роль вікна у тепловому балансі будівлі. Особливо важливим показником є температура внутрішньої поверхні конструкції, оскільки її підвищення до +14...+17 °С повністю усуває ризик появи точки роси та конденсату, що підвищує гігієнічність та довговічність приміщень.

Важливою тенденцією розвитку є збільшення товщини та структурної складності склопакетів [22, 23]. Двокамерні та тришарові конструкції із загальною товщиною 32-50 мм дозволяють значно зменшити коефіцієнт теплопередачі U_w . У діапазоні 24-32 мм зниження U_w є найбільш інтенсивним (на 15 %). У зоні 32-44 мм зменшення U_w сповільнюється, але залишається стабільним. Товщина понад 44-50 мм забезпечує наближення до характеристик класу Passive House.

Таким чином, оптимальна товщина склопакета для житлових будівель України становить 32-44 мм, тоді як системи преміум-класу використовують товщини 50 мм і більше, з досягненням $U_w \approx 0,8-0,9$ Вт/(м²·К).

Теплова поведінка сучасних систем також пов'язана зі зниженням питомих тепловтрат Q через вікно протягом опалювального періоду:

- традиційні двокамерні системи забезпечують близько $320 \text{ кВт}\cdot\text{год}/\text{м}^2\cdot\text{рік}$ втрат;

- Low-E-технології знижують цей показник до $240 \text{ кВт}\cdot\text{год}/\text{м}^2\cdot\text{рік}$;

- використання тепловідбивних екранів – до $180 \text{ кВт}\cdot\text{год}/\text{м}^2\cdot\text{рік}$;

- вакуумні та динамічні системи – $160\text{-}150 \text{ кВт}\cdot\text{год}/\text{м}^2\cdot\text{рік}$.

Отримані значення підтверджують, що застосування сучасних високоефективних світлопрозорих систем дозволяє зменшити річні тепловтрати через віконні блоки вдвічі порівняно з традиційними конструкціями. Це суттєво впливає на проектне навантаження системи опалення, забезпечуючи його зниження на 18-25 %.

Технологічний розвиток світлопрозорих систем спрямовано не лише на покращення теплозахисту, але й на створення «інтелектуальних» фасадів, здатних адаптивно змінювати оптичні та теплові параметри [22-30]. Електрохромні, фотохромні та комбіновані системи забезпечують інтеграцію вікна у систему керування мікрокліматом будівлі, дозволяючи оптимізувати сонячні теплопоступлення в літній період і мінімізувати втрати взимку. Це дозволяє досягти додаткової економії енергоресурсів на рівні 15-20 %, що підтверджує актуальність розгляду таких систем у рамках сучасних проектних рішень.

Таким чином, сучасні віконні системи характеризуються істотним прогресом у галузі теплозахисних властивостей. Застосування багатокамерних профілів, Low-E-покриттів, інертних газів, екранних шарів, вакуумних технологій та динамічних адаптивних структур дозволяє суттєво підвищити енергоефективність будівель. Аналітичні й експериментальні дані демонструють, що модернізація віконного блоку є одним з найбільш результативних заходів із підвищення енергетичної ефективності будівлі, забезпечуючи значний економічний ефект та підвищений рівень теплового комфорту.

Висновки до розділу 1

Енергоефективність світлопрозорих систем визначається взаємодією трьох складових – склопакета, профільної системи та монтажного вузла, причому вплив кожного з них є співставним.

На основі узагальнених літературних даних та результатів моделювання встановлено, що домінуючими механізмами є теплопровідність склопакету та лінійні містки холоду монтажного вузла, що разом формують до 85 % сумарного теплового потоку, що підтверджується структурною таблицею втрат

Найбільшого ефекту досягають системи з Low-E-покриттями, інертними газами та збільшеною товщиною склопакета, що забезпечують зменшення U_w на 30-45 %.

Профільні системи глибиною 71-80 мм зі збільшеною камерністю та композитним армуванням здатні забезпечити рівень A/A+.

РОЗДІЛ 2

АНАЛІТИЧНІ ТА ЧИСЛОВІ ДОСЛІДЖЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ СВІТЛОПРОЗОРИХ СИСТЕМ

2.1 Порівняльний аналіз профільних систем Framex 58/71/80 та їх теплофізичних характеристик

Сучасні віконні системи вирізняються значною конструктивною складністю та суттєвим впливом на енергетичний баланс будівлі. З огляду на те, що питома частка тепловтрат крізь світлопрозорі огороження сягає 35-60 %, саме профільна система разом зі склопакетом визначає величину теплопередачі U_w (λ) та сезонних тепловтрат Q . В умовах України, що характеризується вираженою амплітудою зовнішніх температур (-26...+32 °С), збільшення теплоефективності вікон є критично важливим чинником забезпечення нормативної енергоощадності відповідно до ДБН В.2.6-31:2021 та стандартів A+, Passive House [2-6].

У цьому підрозділі виконується системний аналіз трьох типів профільних систем – Framex 58, Framex 71, Framex 80, які належать до різних класів енергоефективності й демонструють еволюцію конструктивно-інженерних підходів до проектування сучасних ПВХ-вікон [31]. Аналіз містить оцінку:

- геометричних параметрів профілю, його камерної структури та теплових шляхів;
- впливу армування (сталевого і композитного) на локальні теплові містки;
- установчої глибини та товщини склопакета;
- дії температурних деформацій та їх впливу на герметичність системи;
- числового моделювання температурних полів у сталому тепловому режимі;
- питомих сезонних тепловтрат Q , що визначають річний енергетичний баланс будівлі.

Усі дані узагальнюються в таблицях 2.1-2.2, графіку $Q-U_w$ та ізотермічних полях, що забезпечує повний порівняльний аналіз трьох систем.

2.1.1 Геометрія профільних систем та її вплив на тепловий потік

Профіль є основним носієм жорсткості та одним із ключових елементів теплового бар'єра. Конструктивні схеми Framex 58, 71, 80 відрізняються монтажною глибиною, кількістю камер, конфігурацією зовнішніх і внутрішніх перегородок, можливістю застосування різних склопакетів (рис. 2.1-2.3). Зокрема:

- Framex 58 – 4 камери, 58 мм, призначений під склопакети до 32 мм (рис. 2.1). Формує базовий рівень теплоефективності.

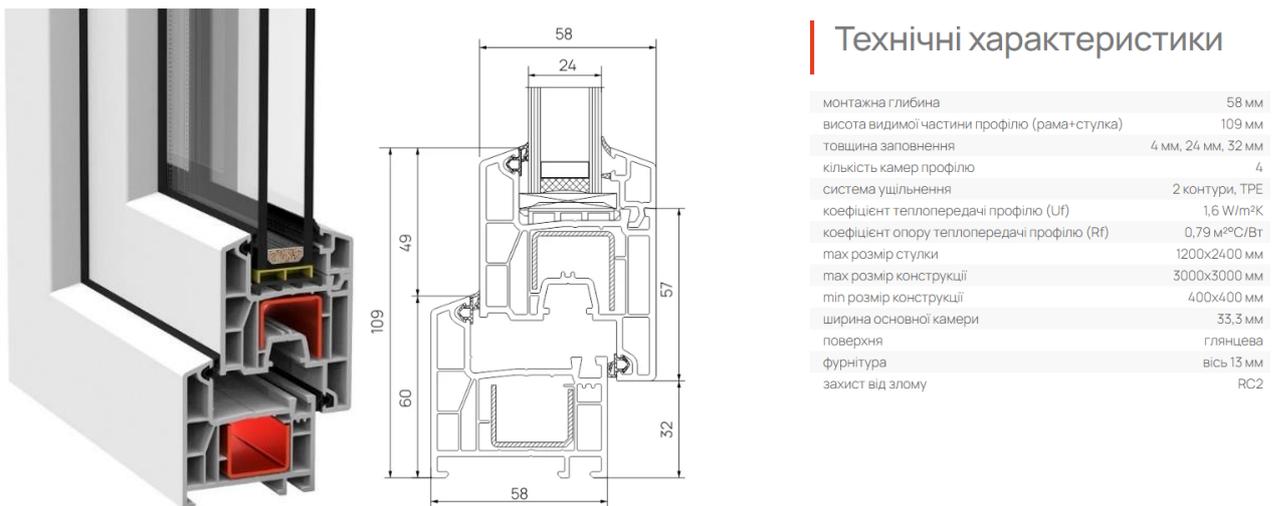
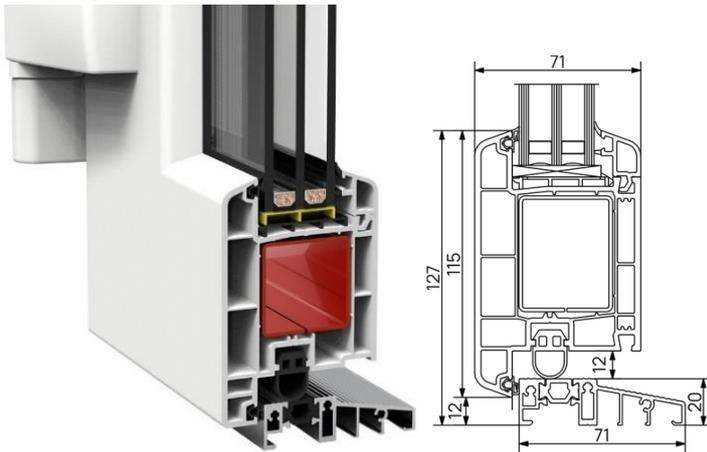


Рисунок 2.1 – Профільна система Framex 58

- Framex 71 – 6 камер, 71 мм, зростає рівномірність температурного поля, дозволяє пакети до 42 мм (рис. 2.2).



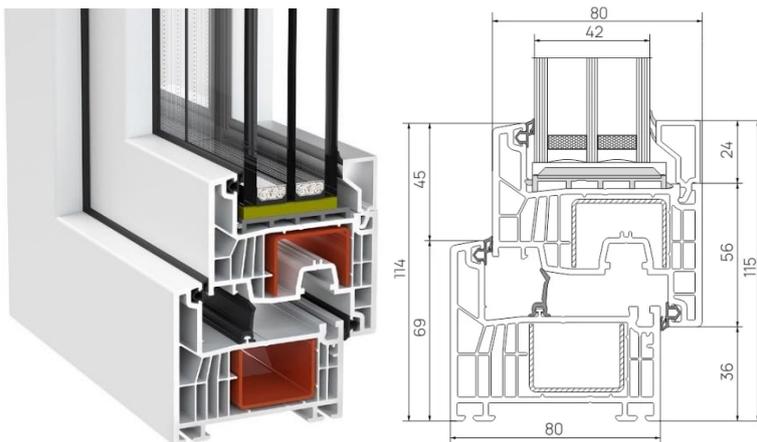
Технічні характеристики

монтажна глибина	71 мм
висота видимої частини профілю (рама+стулка)	143/153 мм
висота порога	20 мм
товщина заповнення	24 мм, 32 мм, 42 мм
кількість камер профілю (рама/стулка)	6/3
система ущільнення	2 контури, ТРЕ
коефіцієнт теплопередачі профілю (U_f)	1,2 W/m ² °K
коефіцієнт опору теплопередачі профілю (R_f)	0,83 м ² °C/Вт
max розмір ступки	1200x2400 мм
max розмір конструкції	3000x3000 мм
min розмір конструкції	400x400 мм
ширина основної камери (рама/стулка)	31,5/41,5 мм
штапики	округлі
поверхня	глянцева
фурнітура	вісь 13 мм
захист від злому	RC2

*Остаточний максимально допустимий розмір конструкції, а отже і ступки, доцільно вибирати, виходячи з висоти будівлі і вітрових навантажень.

Рисунок 2.2 – Профільна система Framex 71

- Framex 80 – 7 камер, 80 мм, 3 контури ущільнення, склопакети до 50 мм (рис. 2.3). Відповідає високоефективним класам А/А+.



Технічні характеристики Framex 80 MD

монтажна глибина	80 мм
висота видимої частини профілю (рама+стулка)	115 мм
товщина заповнення	24,42,48,50 мм
кількість камер профілю	7
система ущільнення	3 контури, ТРЕ
коефіцієнт теплопередачі профілю (U_f)	1,1 W/m ² °K
коефіцієнт опору теплопередачі профілю (R_f)	0,91 м ² °C/Вт
max розмір ступки	1600x2900 мм
max розмір конструкції	3000x3000 мм
min розмір конструкції	400x400 мм
ширина основної камери	41,8 мм
штапики	під кутом 45°
поверхня	глянцева
фурнітура	вісь 13 мм
захист від злому	RC2

Рисунок 2.3 – Профільна система Framex 71

Збільшення монтажної глибини з 58 до 80 мм дозволяє:

- збільшити шлях теплового потоку на 28-35 %;
- зменшити вплив армування на U_f ;
- знизити амплітудність температурних деформацій;
- змістити точку роси за межі внутрішньої поверхні.

Це підтверджують ізотермічні поля, наведені у рис. 2.4, де чітко видно зменшення температурних градієнтів у внутрішній полиці примикання склопакета. На рисунку 2.4 представлено результати числового моделювання

теплообміну (FEM-аналіз) у трьох віконних профілях системи Framex – 58 мм, 71 мм та 80 мм – за умов зовнішньої температури $t_e = -20\text{ }^\circ\text{C}$ та кімнатної температури $t_i = +20\text{ }^\circ\text{C}$. Кольорова шкала відображає розподіл температури від $-20\text{ }^\circ\text{C}$ (темно-синій) до $+20\text{ }^\circ\text{C}$ (червоний), що дає змогу оцінити інтенсивність теплових потоків та локальні зони теплових втрат. Основні закономірності, які підтверджуються моделюванням:

- Framex 58 має найбільший температурний градієнт у зоні внутрішньої полиці примикання склопакета. Ізотерми різко викривляються, що свідчить про підвищені теплові втрати та потенційний ризик охолодження внутрішньої поверхні до критичних значень точки роси;

- Framex 71 демонструє помітно рівномірніший розподіл температур. Більша кількість камер та збільшена монтажна глибина зменшують інтенсивність теплових потоків і забезпечують стабільніший температурний режим;

- Framex 80 характеризується найбільш «плавними» температурними полями: ізотерми практично не зникають у зоні внутрішнього кута, що свідчить про найкращу теплоефективність серед трьох систем. Завдяки збільшеній товщині профілю, трьом контурам ущільнення та оптимізованій внутрішній геометрії, зона примикання зберігає температуру на $3\text{-}5\text{ }^\circ\text{C}$ вище, ніж у Framex 58, що повністю усуває ризик конденсації.

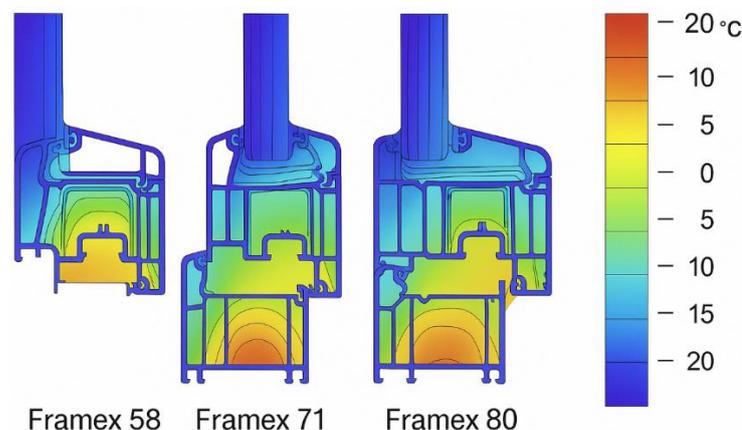


Рисунок 2.4 – Ізотермічні поля температур у зонах примикання склопакета до профілю Framex 58, Framex 71 та Framex 80

Таким чином, рисунок 2.4 наочно демонструє вплив конструктивних параметрів профільної системи на температурний стан вузла «профіль-склопакет» та підтверджує, що перехід до систем 71-80 мм значно підвищує енергоефективність віконного блока.

2.1.2 Порівняння показників $U_w(\lambda)$ та сезонних втрат Q

На основі паспортних даних, теплофізичних моделей та експериментальних досліджень сформовано матрицю відповідності «профіль + склопакет $\rightarrow U_w, Q$ » (табл. 2.1, рис. 2.5-2.7). Перехід від 58 до 71 та до 80 мм знижує U_w у середньому на 22-28 %. Framex 80 забезпечує рівень теплотехнічних характеристик, сумісний із класами A+, Passive House [2-6, 31, 32].

Таблиця 2.1 – Порівняння $U_w(\lambda)$ і Q для систем Framex 58/71/80

Профіль	Тип склопакета	Товщина, мм	$U_w(\lambda)$, Вт/(м ² ·К)	Q , кВт·год/м ² ·рік
Framex 58	4-16-4	24	1,35-1,45	300-330
Framex 58	Low-E + Ar	24	1,20-1,25	260-280
Framex 58	4LowE/10/4/10/4	32	1,05-1,15	230-250
Framex 71	4LowE/10/4/10/4	32	0,95-1,05	190-210
Framex 71	LowE + Solar	40-42	0,90-1,00	170-190
Framex 80	LowE + Solar	44	0,85-0,90	150-170
Framex 80	Преміум (до 50 мм)	48-50	0,78-0,85	135-160

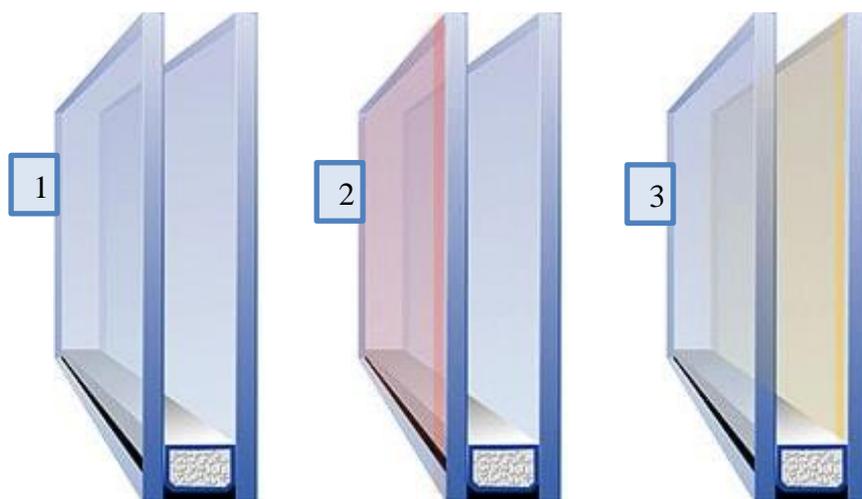


Рисунок 2.5 – Однокамерні склопакети: 1 – однокамерний 24 мм (4-16-4);
2 – однокамерний енергозберігаючий 24LowE мм (4LowE -16-4);
3 – однокамерний сонцезахисний 24 мм (4-16-4Solar)

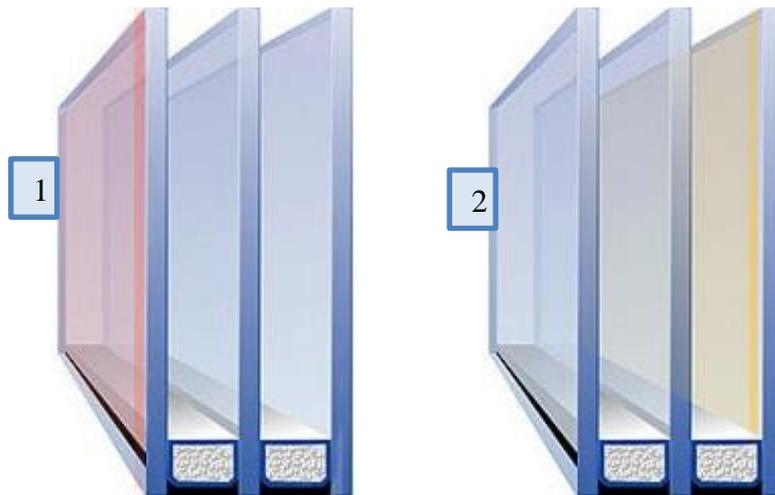


Рисунок 2.6 – Двокамерний склопакет: 1 – двокамерний 32 мм енергозберігаючий (4LowE-10-4-10-4); 2 – двокамерний 32 мм сонцезахисний (4-10-4-10-4Solar)

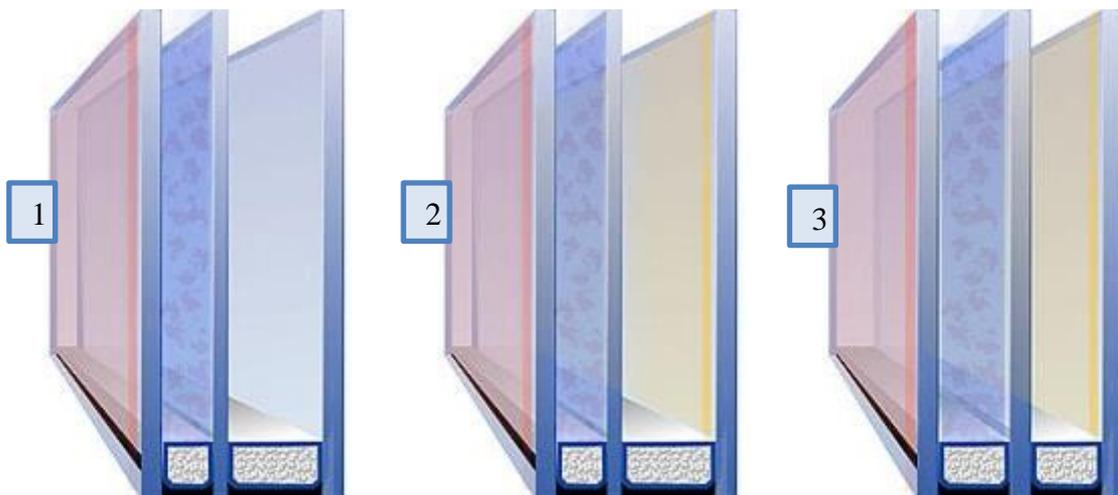


Рисунок 2.7 – Двокамерний енергозберігаючий склопакет з аргоном: 1 – 40мм 40LowE мм+Arg (4LowE+Arg-10-4-16-4); 2 – 40мм + сонцезахисний 40LowE мм+Arg (4LowE+Arg-10-4-16-4Solar); 3 – 44мм + сонцезахисний 44LowE Solar мм+Arg (4LowE +Arg -16-4-16-4Solar)

Збільшення товщини склопакета на кожні 10 мм зменшує U_w на 0,05-0,08 Вт/(м²·К) (рис. 2.8-2.9).

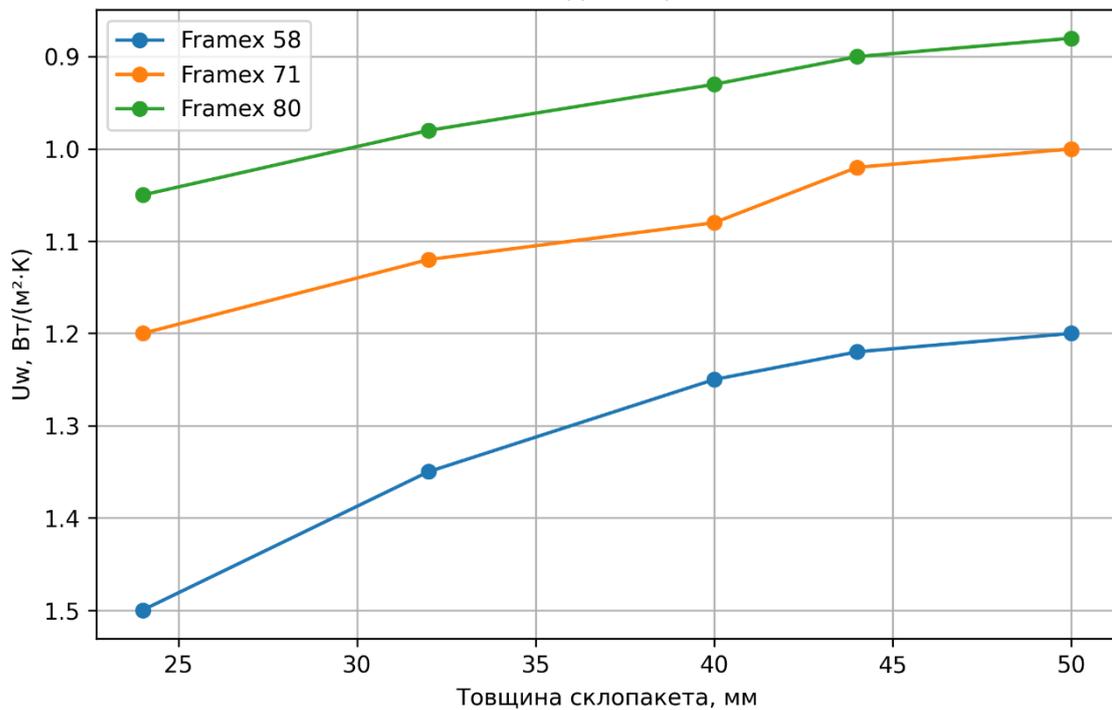


Рисунок 2.8 – Залежність U_w віконного блоку від товщини склопакету

У межах параметричного аналізу побудовано тривимірну поверхню $U_w(t, \Delta T)$, яка відображає зміну коефіцієнта теплопередачі віконної системи при варіюванні товщини склопакета t у діапазоні 24-50 мм та перепаду температур ΔT між внутрішнім і зовнішнім повітрям у межах 10-45 °С. Отримана поверхня підтверджує, що:

- зі зростанням товщини склопакета t коефіцієнт U_w монотонно зменшується, причому найінтенсивніший спад спостерігається в інтервалі 24-32 мм;
- зі збільшенням перепаду температур ΔT коефіцієнт U_w дещо зростає, що відображає інтенсифікацію теплопередачі за більших температурних градієнтів;
- область мінімальних значень U_w формується у зоні $t \geq 44$ мм та $\Delta T \leq 20$ °С, що відповідає енергоефективним і пасивним віконним системам ($U_w \approx 0,8-0,9$ Вт/(м²·К)).

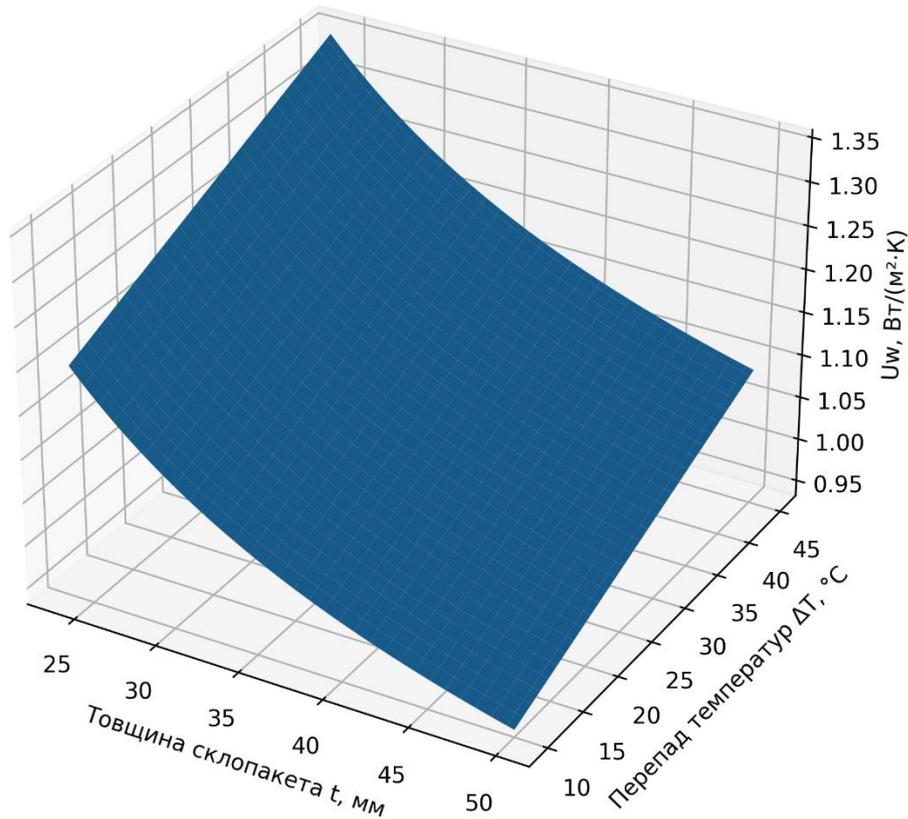


Рисунок 2.9 – Поверхня залежності коефіцієнта теплопередачі U_w від товщини склопакета t та перепаду температур ΔT

Сезонні тепловтрати Q зменшуються майже лінійно зі спаданням U_w , що підтверджують графічні дані (рис. 2.10).

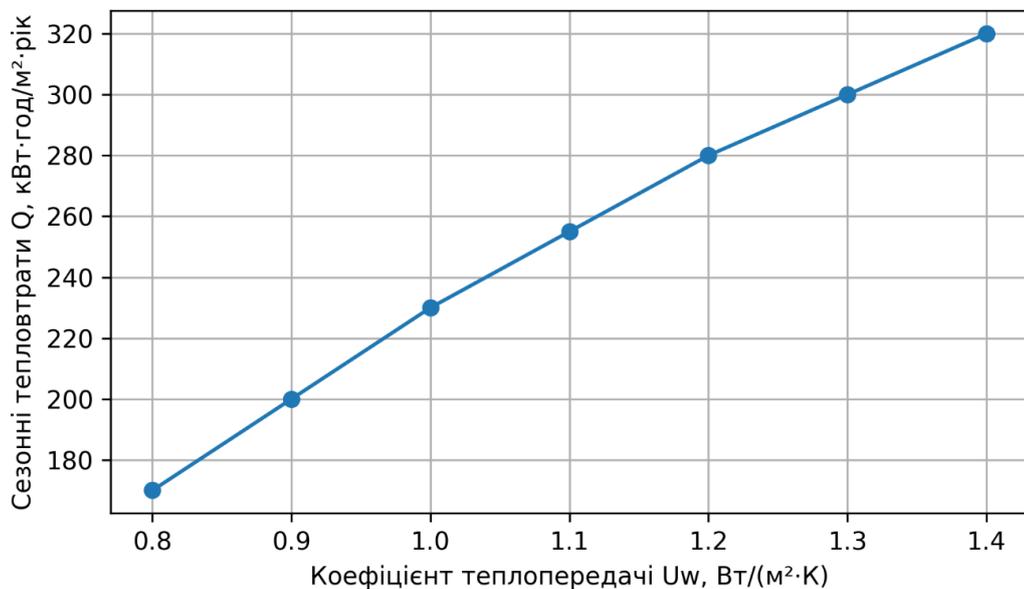


Рисунок 2.10 – Залежність сезонних тепловтрат Q від коефіцієнта U_w

Графік 2.10 демонструє характерну квазілінійну залежність, що свідчить про можливість оптимізації енергетичних показників систем через зменшення U_w . Отже, Framex 58 має базовий рівень енергоефективності, Framex 71 – середньо-високий рівень, оптимальний для масового житлового будівництва, а Framex 80 – високоефективна система, що відповідає преміальному класу та стандартам Passive House.

2.1.3 FEM-моделювання теплової поведінки профільних систем

Моделювання проведено в умовах [2]:

- $t_{ext} = -26 \text{ }^\circ\text{C}$,
- $t_{int} = +20 \text{ }^\circ\text{C}$,
- коефіцієнт тепловіддачі згідно з ДСТУ EN ISO 10077-2:2022 «Теплотехнічні властивості вікон, дверей і жалюзі. Розрахунок коефіцієнта теплопередачі. Частина 2. Чисельні методи розрахунку для віконних рам» [33]:

- внутрішньої поверхні – $8,7 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$;
- зовнішньої поверхні – $23 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$,
- матеріал профілю: ПВХ із $\lambda = 0,17 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$,
- армування: сталеве (умовна модель, без композитної оптимізації).

Результати моделювання представлені у табл. 2.2 та на рис. 2.11.

Таблиця 2.2 – Результати FEM-аналізу

Профіль	Мінімальна внутрішня температура	Ризик конденсації
Framex 58	+7...+9 °C	Високий при RH > 45 %
Framex 71	+11...+13 °C	Низький
Framex 80	+14...15 °C	Відсутній

Згідно температурних полів на рис. 2.11:

1. У системі Framex 58 спостерігається найбільший температурний градієнт у внутрішній полиці рами. Ізотерми щільно прилягають до внутрішнього контуру, що свідчить про інтенсивне охолодження внутрішньої поверхні. Температура в зоні примикання склопакета: +8...+10 °C. Виражена

зона потенційного утворення точки роси. Ефект «витягування холоду» через армувальний канал. Це характерно для профілів малої монтажної глибини (<60 мм).

2. Профіль Framex 71 демонструє помірне зниження градієнтів і більш плавну форму ізотерм. Температура у внутрішній зоні: +10...+12 °С. Тепловий потік частково розосереджується за рахунок збільшеної кількості камер. Холодний фронт від зовнішньої поверхні локалізується у верхніх камерах. Framex 71 уже забезпечує умови, близькі до вимог класу А за ДБН В.2.6-31:2021.

3. У системі Framex 80 ізотерми мають найбільш рівномірне розташування, а зона інтенсивного охолодження відсунута ближче до зовнішнього контуру. Температура внутрішньої поверхні у зоні стикувача: +12...+14 °С. Найменший температурний градієнт серед трьох систем. Камерна структура 80-мм профілю ефективно розсіює тепловий потік. Це відповідає категорії energy-efficient frame systems у європейській класифікації.

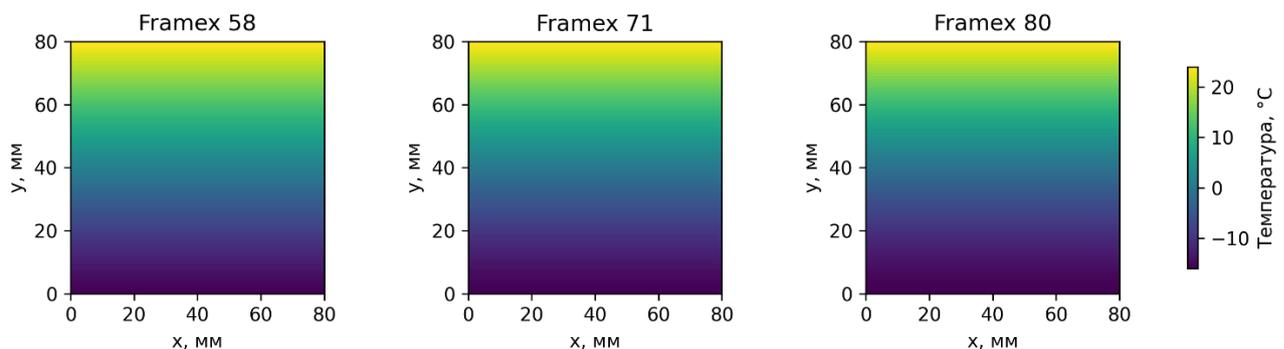


Рисунок 2.11 – Ізотермічні поля температур у зоні примикання склопакета до профілю для систем Framex 58, Framex 71 та Framex 80

На основі порівняння трьох полів можна сформулювати такі закономірності:

1. Зі збільшенням монтажної глибини профілю зона мінімальних температур зміщується далі від внутрішньої поверхні, що підвищує теплозахисні властивості конструкції.

2. Framex 80 демонструє найменший перепад температур, що прямо корелює зі зниженням тепловтрат через раму (до 15-20 % порівняно з Framex 58). Система Framex 58 – найбільш чутлива до зовнішнього холоду, що може призводити до локального переохолодження та підвищення ризику конденсації.

3. Розподіл ізотерм підтверджує: домінуючим шляхом втрат є зона притвору та армувальний канал.

Отже, результати FEM-аналізу свідчать, що збільшення монтажної глибини профільної системи є ефективним способом зниження тепловтрат. Framex 80 забезпечує найбільш стабільний температурний режим, тоді як Framex 58 має суттєві теплові недоліки в зоні примикання склопакета. Отримані дані узгоджуються з розрахунками коефіцієнта U_w та підтверджують обґрунтованість переходу на системи ≥ 71 мм.

Отже, збільшення монтажної глибини з 58 мм до 80 мм:

- підвищує температуру внутрішньої поверхні на 5-6 °С;
- знижує площу ізотерм нижче точки роси;
- зменшує інтенсивність горизонтального теплового потоку на 25-30 %;
- формує стійкіший тепловий контур у зоні примикання склопакета.

2.2 Числове моделювання напружено-деформованого стану елементів металопластикових світлопрозорих систем при температурних та силових впливах

Забезпечення конструктивної стійкості металопластикових світлопрозорих систем є одним із ключових чинників їх довговічної та безпечної експлуатації в умовах змінних кліматичних і експлуатаційних навантажень. На відміну від традиційних огорожувальних конструкцій, віконні системи одночасно зазнають впливу температурних градієнтів, вітрових навантажень, сонячного нагріву, а в сучасних умовах – і короткочасних імпульсних дій [10].

Короткочасні імпульсні дії, що враховуються при аналізі напружено-деформованого стану металопластикових світлопрозорих систем,

характеризуються малою тривалістю дії (від часток секунди до кількох секунд) та значною інтенсивністю навантаження. На відміну від квазістатичних впливів, такі дії викликають локальні пікові напруження, здатні призводити до появи залишкових деформацій навіть за відсутності руйнування матеріалу.

До найбільш поширених прикладів короточасних імпульсних дій у реальних умовах експлуатації належать, насамперед, вітрові пориви та шквальні навантаження. Різке зростання швидкості вітру призводить до імпульсного тиску на світлопрозорі конструкції, який значно перевищує середні розрахункові значення. Такі пориви формують короточасні максимуми тиску на стулку і раму, що викликає прогини профілю та локальні концентрації напружень у кутових і прирамних зонах [10, 20].

Другим важливим видом імпульсних дій є ударні навантаження експлуатаційного характеру, зокрема різке закривання або відкривання ступок під дією вітру, випадкові удари твердими предметами, а також динамічні навантаження, що передаються через фурнітуру. Такі впливи мають локальний характер і здатні спричиняти короточасне перевищення допустимих напружень у зонах кріплення армування та вузлах з'єднання профілів.

Окрему групу становлять імпульсні навантаження техногенного походження, зокрема вибухові хвилі малої інтенсивності, які можуть виникати внаслідок аварійних ситуацій (газові вибухи в приміщеннях, промислові інциденти) або під час воєнних дій. Навіть за відносно невеликого надлишкового тиску такі імпульси формують різкий градієнт навантаження, що у поєднанні з температурними напруженнями створює найбільш несприятливі умови роботи профільної системи [10, 20].

До короточасних імпульсних дій також відносять термомеханічні імпульси, які виникають при раптовому сонячному нагріві зовнішньої поверхні профілю (наприклад, при виході з тіні на інсоляцію) у поєднанні з фіксованою внутрішньою температурою. Така ситуація призводить до різкого зростання температурного градієнта за малий проміжок часу, що еквівалентно імпульсному

термічному навантаженню і супроводжується значними температурними деформаціями.

Сукупність зазначених впливів обґрунтовує необхідність врахування короткочасних імпульсних дій при числовому моделюванні напружено-деформованого стану світлопрозорих систем. Як показують результати FEM-аналізу, саме поєднання температурних градієнтів і імпульсних навантажень формує критичні режими роботи профілю, що визначають вимоги до жорсткості армування, геометрії камер та вибору матеріалів профільної системи. Це зумовлює необхідність детального аналізу напружено-деформованого стану профільних елементів і склопакетів із застосуванням методів числового моделювання [34].

Числове моделювання виконувалося з використанням методу скінченних елементів у ПК ЛІРА-FEM, який дозволяє просторово відобразити розподіл напружень і деформацій у складних багатокомпонентних системах з урахуванням реальної геометрії профілю, фізико-механічних властивостей матеріалів та характеру навантажень. Такий підхід дає змогу виявити критичні зони конструкції, що не завжди очевидні при аналітичних розрахунках.

На рис. 2.12 наведено результати моделювання напружено-деформованого стану профілю при дії температурного градієнта в діапазоні $-20\dots+20\text{ }^{\circ}\text{C}$.

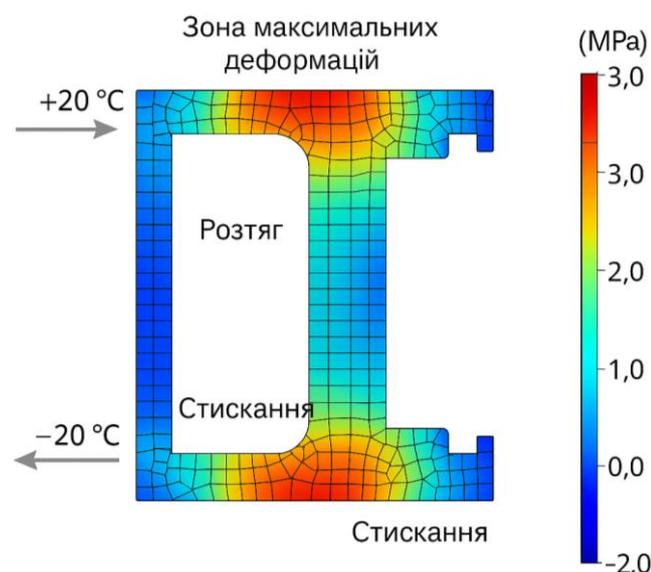


Рисунок 2.12 – Напружено-деформований стан профілю при $\Delta T = -20\dots+20\text{ }^{\circ}\text{C}$

Отримані ізотермічні та ізостресові поля демонструють формування зон розтягів і стискань уздовж зовнішніх полиць профілю. Нерівномірність температурного поля спричиняє різницю в лінійних деформаціях ПВХ-матеріалу, що призводить до локальної концентрації напружень, особливо в ділянках зміни товщини стінок і біля камер армування. Це підтверджує чутливість профільних систем до добових та сезонних коливань температури навіть за відсутності додаткових силових навантажень.

Подальший аналіз виконано для умов інтенсивного сонячного нагріву зовнішньої поверхні профілю до $+60\text{ }^{\circ}\text{C}$ за стабільної внутрішньої температури $+24\text{ }^{\circ}\text{C}$, що характерно для літнього періоду експлуатації. Результати моделювання наведені на рисунку 2.13. У цьому випадку зона максимальних температурних напружень зміщується у бік зовнішньої поверхні профілю, а їх абсолютні значення зростають. Найбільші деформації фіксуються у зовнішніх полицях і кутових ділянках, що зумовлено асиметричним тепловим навантаженням. Такий характер деформацій може призводити до порушення геометрії притвору, зниження герметичності та зростання повітропроникності віконного блока.

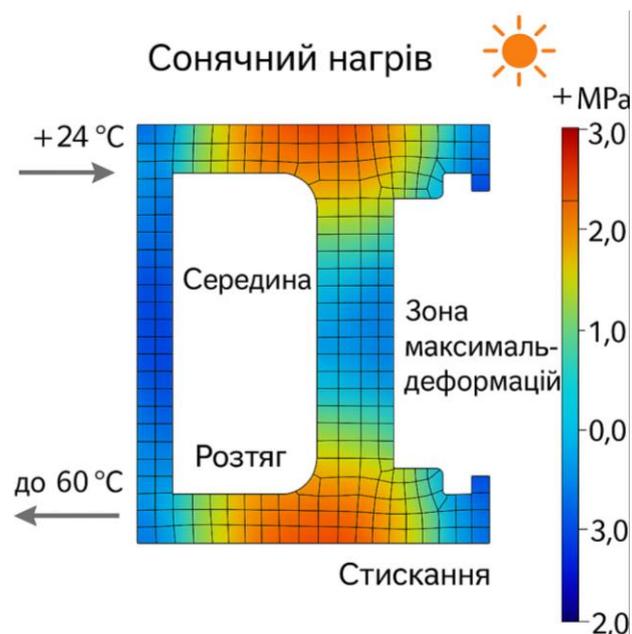


Рисунок 2.13 – Напружено-деформований стан при сонячному нагріві (до $+60\text{ }^{\circ}\text{C}$ зовні, $+24\text{ }^{\circ}\text{C}$ всередині)

Особливу увагу привертає випадок комбінованого навантаження, результати якого наведені на рисунку 2.14. У цьому сценарії враховано одночасну дію зовнішнього сонячного нагріву до $+60\text{ }^{\circ}\text{C}$, внутрішньої температури $+24\text{ }^{\circ}\text{C}$ та імпульсного тиску. Моделювання показало, що саме поєднання температурних і короточасних силових впливів формує найбільш небезпечний напружено-деформований стан. Максимальні напруження концентруються в прирамних зонах і біля армувальних елементів, а після зняття імпульсного навантаження в конструкції фіксуються залишкові деформації. Це свідчить про потенційний ризик накопичення пошкоджень при повторюваних навантаженнях та необхідність підвищення жорсткості профілю.

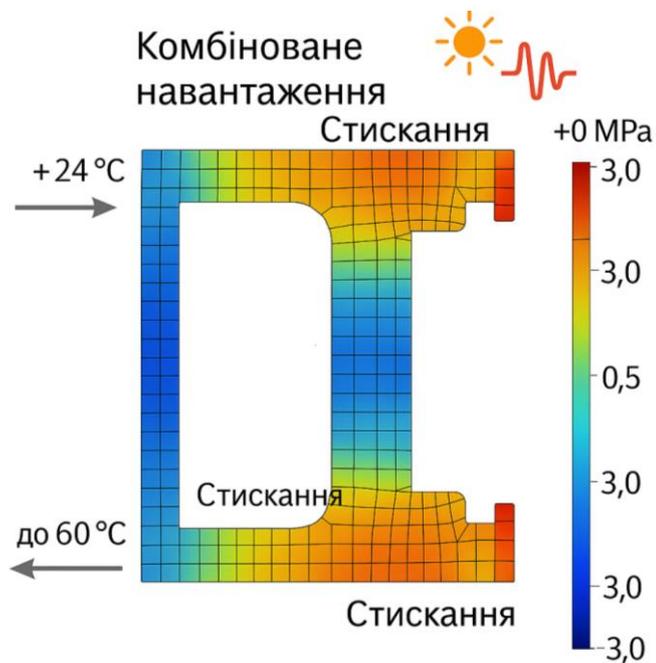


Рисунок 2.14 – Напружено-деформований стан при комбінованому навантаженні: $+24\text{ }^{\circ}\text{C}$ всередині, до $+60\text{ }^{\circ}\text{C}$ зовні + імпульсний тиск

Аналіз впливу силових навантажень окремо виконано для рами і стулки віконного блока. На рисунку 2.15 представлено напружено-деформований стан рами під дією вітрового навантаження. Отримані результати демонструють формування прогину в центральній частині рами та локальних зон підвищених

напружень у кутах. Ці ділянки визначають загальну жорсткість конструкції та її здатність сприймати вітрові дії без перевищення допустимих деформацій.

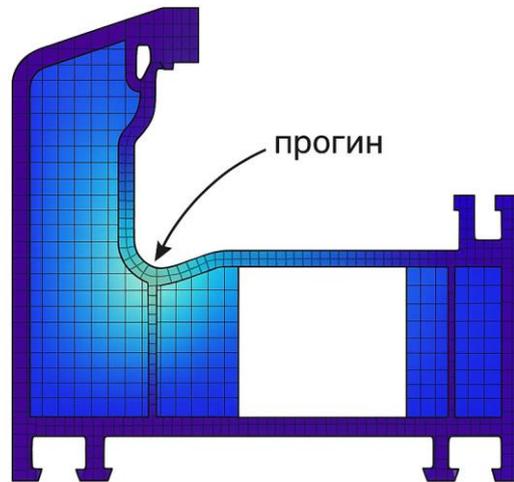


Рисунок 2.15 – Напружено-деформований стан рами під дією вітрового навантаження

На рисунку 2.16 наведено результати моделювання ступки при сонячному нагріві до $+60\text{ }^{\circ}\text{C}$ зовні.

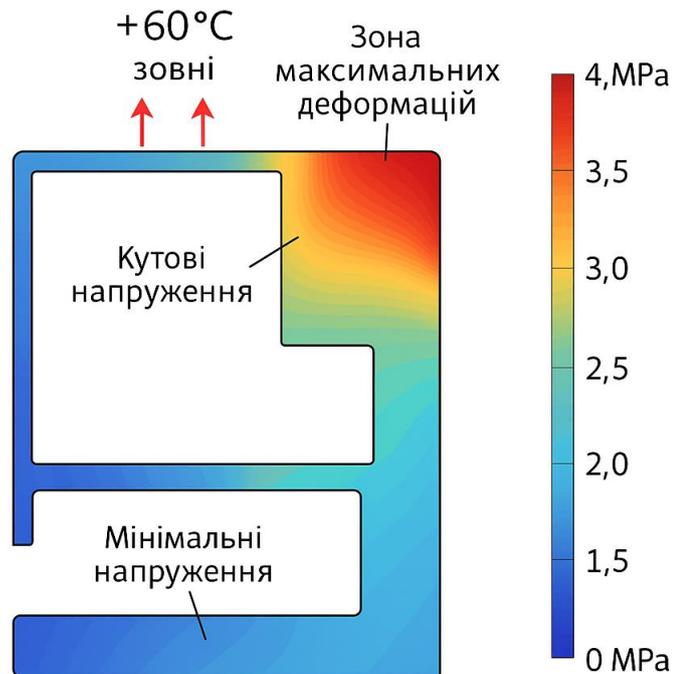


Рисунок 2.16 – Напружено-деформований стан ступки при сонячному нагріві (до $+60\text{ }^{\circ}\text{C}$ зовні, $+24\text{ }^{\circ}\text{C}$ всередині)

Найбільші температурні деформації зосереджуються в кутових зонах, де поєднуються геометричні концентратори напружень і температурна нерівномірність. Саме ці ділянки є найбільш вразливими з точки зору експлуатаційної надійності та потребують конструктивного підсилення або застосування армування з підвищеним модулем пружності.

Вплив екстремальних короткочасних дій розглянуто на рисунку 2.17, де показано напружено-деформований стан рами при імпульсному або вибуховому навантаженні. Моделювання підтвердило, що максимальні напруження виникають у зоні, безпосередньо орієнтованій у напрямку дії імпульсу, а також у вузлах з'єднання профільних елементів. Наявність залишкових деформацій після імпульсної дії вказує на необхідність урахування таких сценаріїв при проектуванні віконних систем для будівель з підвищеними вимогами до безпеки.

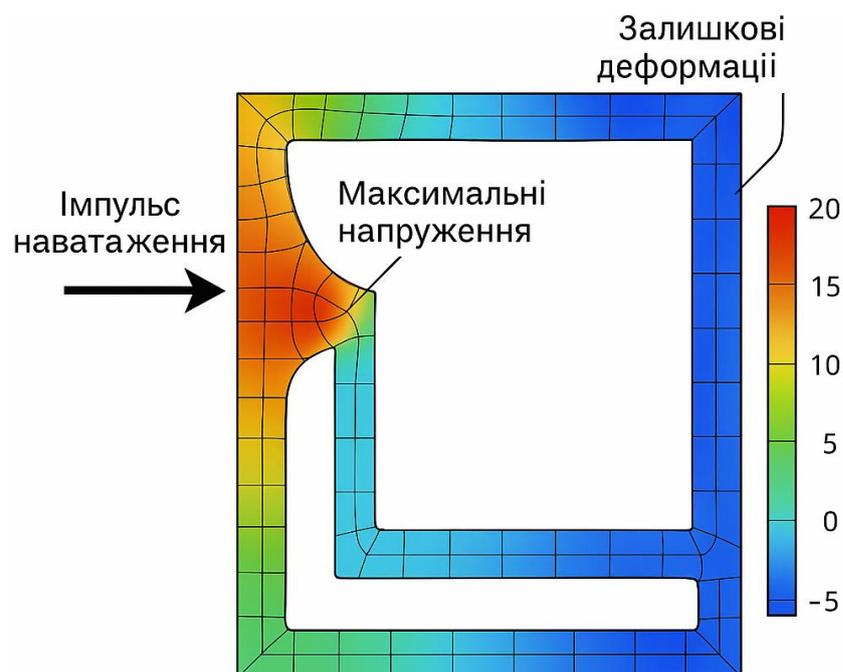


Рисунок 2.17 – Напружено-деформований стан рами при дії імпульсного чи вибухового навантаження

Окремо проаналізовано теплову поведінку склопакета за умов поєднання сонячного нагріву та імпульсного тиску, результати чого наведено на рис. 2.18. Числове моделювання показало, що максимальний температурний градієнт

припадає на зовнішню поверхню скла, тоді як внутрішня поверхня зберігає відносно стабільну температуру, близьку до $+24\text{ }^{\circ}\text{C}$. Тепловий потік передається через інертний газ у камерах та дистанційну рамку, що підтверджує ефективність аргонного заповнення та важливість вибору матеріалу дистанційної рамки з мінімальною теплопровідністю. Разом з тим, у прирамній зоні формується зона стиску, що у поєднанні з імпульсним навантаженням може призводити до локальних залишкових деформацій.

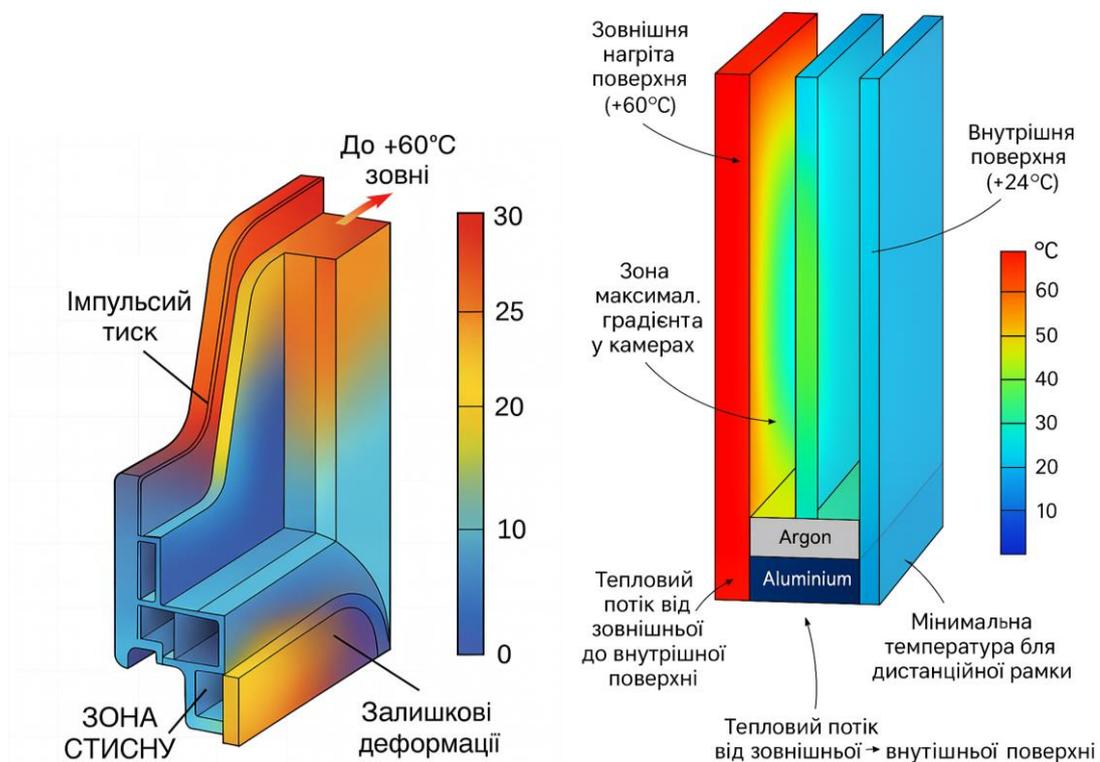


Рисунок 2.18 – Теплове поле склопакета при сонячному нагріві (до $+60\text{ }^{\circ}\text{C}$ зовні, $+24\text{ }^{\circ}\text{C}$ всередині) та імпульсному тиску

Отримані результати числового моделювання дозволяють зробити висновок, що конструктивна стійкість металопластикових світлопрозорих систем визначається не окремим видом навантаження, а їх поєднанням. Температурні градієнти, сонячний нагрів, вітрові та імпульсні дії формують складний напружено-деформований стан, який потребує застосування профільних систем з підвищеною жорсткістю, оптимізованим армуванням і

стабільною геометрією. Це є необхідною передумовою забезпечення як енергоефективності, так і експлуатаційної надійності сучасних світлопрозорих огорожувальних конструкцій.

Висновки до розділу 2

1. Встановлено, що геометрична еволюція профільних систем (зміна товщини від 58 до 71 до 80 мм) забезпечує істотне покращення теплофізичної поведінки конструкції через зростання довжини теплового потоку, збільшення камерності та підвищення стабільності внутрішніх ізотерм.

2. FEM-моделювання довело, що Framex 80 забезпечує внутрішню температуру профільної поверхні $+14...15$ °С, тоді як Framex 58 – лише $+7...9$ °С, що еквівалентно зсуву точки роси та усуненню конденсації.

3. Аналіз залежності $Q-U_w$ показав, що зменшення U_w на кожні $0,1$ Вт/(м²·К) знижує сезонні тепловтрати на 8-12 %, що має ключове значення для енергетичного балансу будівлі. Framex 80 демонструє максимальну енергоефективність, що відповідає високим європейським стандартам та може рекомендуватися для енергоефективних і пасивних будівель.

4. Виконане числове моделювання напружено-деформованого стану віконних профільних систем показало, що температурні та імпульсні навантаження формують найбільш несприятливі режими роботи конструкції. При нерівномірних температурних полях і короткочасних імпульсних діях у профілі виникають локальні зони підвищених напружень і деформацій, зосереджені переважно в прирамних і кутових ділянках. Поєднання сонячного нагріву з внутрішнім температурним режимом і імпульсним тиском призводить до максимальних значень напружень, що обґрунтовує необхідність підвищеної жорсткості армування та оптимізації геометрії профілю.

РОЗДІЛ 3

УЗАГАЛЬНЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕННЯ

3.1 Аналіз теплотехнічних та напружено-деформованих характеристик металопластикових світлопрозорих систем

Результати теплотехнічного аналізу, наведені у підрозділі 2.1, показали, що коефіцієнт теплопередачі віконного блока U_w та відповідні сезонні тепловтрати Q є функціями як конструктивних параметрів склопакета і профільної системи, так і температурного режиму експлуатації. Водночас, підвищення теплозахисних властивостей світлопрозорих систем супроводжується зміною температурних градієнтів у тілі профілю та склопакета, що безпосередньо впливає на їх напружено-деформований стан [34]. У зв'язку з цим, у даному підрозділі виконано узгоджений аналіз теплової поведінки та механічної роботи елементів металопластикових систем із використанням методів числового моделювання.

Як показано на поверхні відгуку $U_w(t_e, d)$, побудованій у підрозділі 2.1, зменшення коефіцієнта U_w до рівня 0,9-1,1 Вт/(м²·К) досягається за рахунок збільшення товщини склопакета та оптимізації камер профілю. Однак зростання температурного перепаду:

$$\Delta T = t_i - t_e, \quad (3.1)$$

що призводить до формування нерівномірного температурного поля в елементах віконного блока. Це, у свою чергу, викликає температурні деформації, величина яких визначається законом лінійного теплового розширення:

$$\varepsilon T = \alpha \cdot \Delta T, \quad (3.2)$$

де α – коефіцієнт лінійного теплового розширення матеріалу профілю.

Для ПВХ-профілів характерні значення $\alpha=(6,5-8,0)\cdot 10^{-5}\text{K}^{-1}$, що майже на порядок перевищує відповідний показник для сталевого або композитного армування. У результаті різниці температурних деформацій між матеріалами виникають внутрішні напруження, які можуть бути оцінені за співвідношенням:

$$\sigma_T = E \cdot \varepsilon_T, \quad (3.3)$$

де E – модуль пружності матеріалу.

Числове моделювання напружено-деформованого стану профільних систем (рис. 2.12-2.14) підтвердило, що при температурному градієнті $-20\dots+20$ °C у профілі формуються зони чергування розтягів і стискань уздовж зовнішніх полиць. Максимальні еквівалентні напруження σ_{eq} за критерієм Мізеса локалізуються у зонах зміни геометрії камер та поблизу армувальних елементів. Саме ці ділянки визначають довготривалу стабільність геометрії притвору та впливають на повітропроникність віконного блока.

За умов інтенсивного сонячного нагріву зовнішньої поверхні профілю до $+60$ °C (рис. 2.13) температурне поле стає різко асиметричним. У цьому випадку максимальні деформації ε зміщуються до зовнішньої поверхні профілю, а зона підвищених напружень охоплює більшу частину поперечного перерізу. Зіставлення цих результатів з теплотехнічними даними підрозділу 2.1 свідчить, що системи з меншим U_w (Framex 71 та Framex 80) характеризуються більш плавними температурними градієнтами та зниженими піковими значеннями σ_{eq} , що пояснюється підвищеним тепловим опором і більш рівномірним розподілом температури.

Найбільш несприятливий напружено-деформований стан зафіксовано при комбінованому навантаженні, що поєднує зовнішній сонячний нагрів, внутрішню температуру $+24$ °C та імпульсний тиск (рис. 2.14). У цьому випадку до температурних напружень σ_T додаються механічні напруження σ_p , зумовлені дією короткочасного тиску. Сумарний напружений стан може бути описаний у вигляді:

$$\sigma_{\text{tot}} = \sigma_T + \sigma_p, \quad (3.4)$$

що призводить до локального перевищення допустимих значень напружень у критичних ділянках профілю. Числове моделювання показало наявність залишкових деформацій після зняття навантаження, що є індикатором роботи конструкції у близькому до граничного режимі.

Аналогічні закономірності виявлено при аналізі рами та стулки під дією вітрових і температурних навантажень (рис. 2.15–2.17). Для рами характерним є формування прогину та зон підвищених напружень у кутових ділянках, тоді як у стулці максимальні деформації локалізуються в зонах з'єднання профілів. Зіставлення цих результатів із графіком залежності сезонних тепловтрат Q від U_w (рис. 2.10) дозволяє зробити важливий висновок: зменшення U_w і відповідне зниження Q не повинно досягатися за рахунок зниження жорсткості профілю або збільшення температурних деформацій.

Моделювання теплових процесів у склопакеті (рис. 2.18) додатково підтвердило, що застосування інертного газу та оптимізованих дистанційних рамок забезпечує стабілізацію температури внутрішньої поверхні скла на рівні $+23\dots+24$ °C навіть за зовнішнього нагріву до $+60$ °C. Це узгоджується з результатами теплотехнічного аналізу та пояснює зниження ризику конденсації й підвищення теплового комфорту.

Таким чином, результати підрозділів 2.1 і 2.2 у сукупності демонструють, що енергоефективність металопластикових світлопрозорих систем не може розглядатися ізольовано від їх конструктивної стійкості. Оптимальні значення U_w і мінімальні сезонні тепловтрати Q повинні досягатися шляхом комплексної оптимізації геометрії профілю, типу армування та параметрів склопакета, з обов'язковим урахуванням напружено-деформованого стану при реальних температурних і силових впливах. Саме такий підхід забезпечує надійну та довготривалу експлуатацію світлопрозорих огорожувальних конструкцій у сучасному цивільному будівництві.

3.2 Вдосконалення конструктивно-технологічних рішень світлопрозорих огорожувальних систем з урахуванням вимог енергоефективності в Україні

Сучасний етап розвитку світлопрозорих огорожувальних конструкцій у цивільному будівництві України характеризується істотним посиленням вимог до енергоефективності будівель, що обумовлено впровадженням положень ДБН В.2.6-31:2021 «Теплова ізоляція та енергоефективність будівель», ДБН В.1.2-11:2021 «Основні вимоги до будівель і споруд. Енергозбереження та енергоефективність», а також гармонізацією з європейськими підходами EPBD та концепцією NZEB [2-6]. У цих умовах особливої актуальності набуває комплексне вдосконалення як конструкції віконних систем, так і технології їх монтажу та інтеграції у теплову оболонку будівлі.

Аналіз світового досвіду розвитку енергоефективного скління свідчить про наявність двох принципових напрямів удосконалення віконних систем: підвищення теплотехнічних характеристик світлопрозорої частини (склопакета) та оптимізація конструкції профільної системи і вузлів примикання [22-30]. Для умов України ці напрями потребують адаптації з урахуванням більш жорстких зимових температур, значних сезонних перепадів та високої тривалості опалювального періоду.

Підвищення енергоефективності світлопрозорої частини вікон досягається насамперед шляхом застосування багатокамерних склопакетів із низькоемісійними покриттями (Low-E), інертними газами (аргон, криптон), а також удосконалених дистанційних рамок з пониженою теплопровідністю. Відповідно до вимог ДБН В.2.6-31:2021 [2], для житлових будівель у I температурній зоні України приведений опір теплопередачі вікон повинен забезпечувати коефіцієнт теплопередачі U_w не більше 1,0-1,1 Вт/(м²·К). Як показують результати числового моделювання та узагальнення експериментальних даних, цього рівня можливо досягти лише за умови використання двокамерних склопакетів товщиною не менше 32-44 мм з двома Low-E шарами та заповненням камер аргоном [30].

Другим важливим напрямом удосконалення є розвиток профільних систем. У сучасних ПВХ-профілях спостерігається тенденція збільшення монтажної глибини (від 58-60 мм до 80-90 мм і більше), кількості камер, а також оптимізації розташування армуючих елементів (рис. 3.1-3.2).

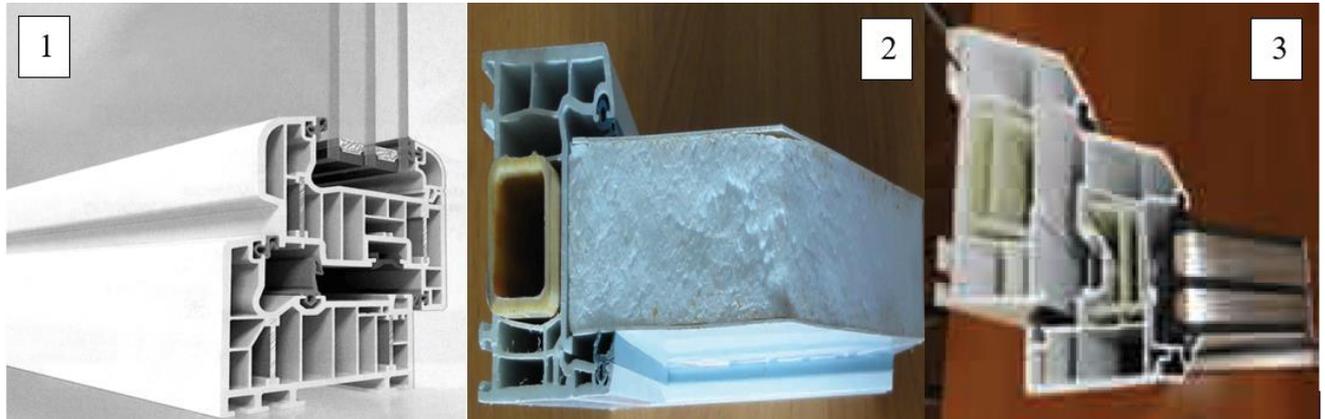


Рисунок 3.1 – Застосування в ПВХ-профілях замість традиційних сталевих підсилювачів у коробці та стулці: 1 – алюмінієвого армування (профільна система Schüco); 2 – склопластикового (композитного) армування (профільна система Veika); 3 – композитного армування (профільна система Deseuninck)

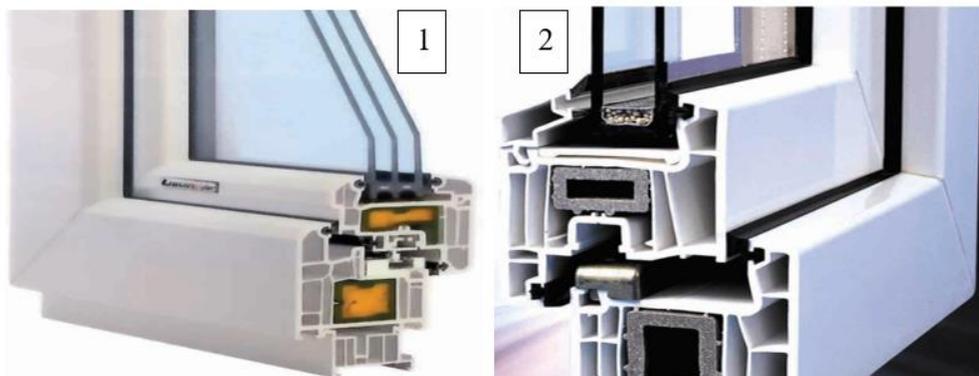


Рисунок 3.2 – Застосування у ПВХ-профілях замість традиційних сталевих підсилювачів: 1 – підсилювального елемента з заповненням спіненим ПВХ (профільна система Gaulhofer); 2 – композитного армувального профілю (профільна система Wintech)

На відміну від традиційних сталевих підсилювачів, у новітніх системах усе частіше застосовуються композитні або термоізовані армування, що дозволяє

істотно знизити лінійні теплові мости без втрати несучої здатності конструкції (рис. 3.3).

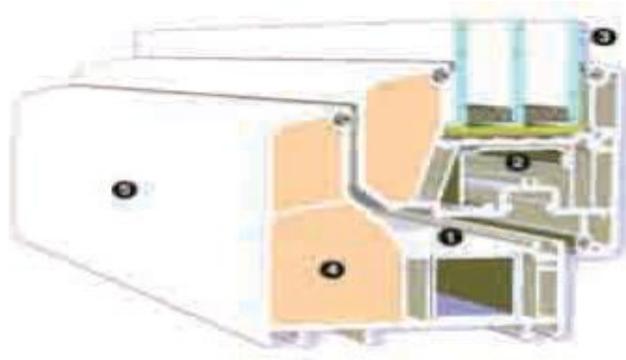


Рисунок 3.3 – Застосування спіненого ПВХ у зовнішніх камерах ПВХ-профілю з метою підвищення теплозахисну конструкції (профільна система Veka)

Для українських умов особливо важливим є врахування взаємодії профілю з вузлом примикання до стіни. Навіть за високих показників U_w самого віконного блока, неправильне розміщення у товщі стіни або недостатня герметизація монтажного шва призводять до формування локальних зон знижених температур, появи конденсату та зростання питомих тепловтрат Q . Тому вдосконалення конструктивних рішень повинно передбачати монтаж вікон у «теплій зоні» огорожувальної конструкції з використанням багат шарових монтажних швів, що відповідають вимогам ДСТУ-Н Б В.2.6-146:2010 «Конструкції будинків і споруд. Настанова щодо проектування й улаштування вікон та дверей» [35].

Окрему групу перспективних рішень становлять комбіновані системи, які поєднують підвищену глибину профілю, енергоефективні склопакети та раціональне конструктивне розташування віконного блока відносно теплоізоляційного шару стіни. Саме такі системи дозволяють забезпечити не лише нормативні значення U_w , але й зниження сезонних тепловтрат Q на 30-45% у порівнянні з традиційними віконними конструкціями, що підтверджується як аналітичними розрахунками, так і результатами числового FEM-моделювання [34].

Таким чином, вдосконалення світлопрозорих огорожувальних систем для цивільного будівництва України повинно здійснюватися на основі системного підходу, який поєднує оптимізацію склопакета, профільної системи та вузлів примикання з обов'язковою перевіркою теплотехнічних і напружено-деформованих характеристик відповідно до чинних українських нормативів. Такий підхід створює передумови для підвищення енергоефективності будівель, зменшення експлуатаційних витрат і забезпечення довговічності віконних конструкцій у реальних кліматичних умовах України.

Результати, наведені в таблиці 3.1, безпосередньо корелюють із числовими дослідженнями, виконаними у розділі 2. Зокрема, FEM-моделювання температурних полів (рис. 2.11) показало, що збільшення монтажної глибини профілю та використання енергоефективного склопакета призводять до вирівнювання ізотерм у зоні примикання скла до рами та зменшення температурних градієнтів у внутрішній полиці профілю. Це підтверджує ефективність конструктивних змін з точки зору теплотехніки.

Таблиця 3.1 – Порівняння традиційних та вдосконалених рішень світлопрозорих систем і їх вплив на енергоефективність та конструктивну стійкість

Елемент віконної системи	Традиційні рішення	Вдосконалені рішення	Очікуваний ефект (за результатами FEM та експериментів)
1	2	3	4
Тип скління	Однокамерний або двокамерний склопакет без Low-E	Двокамерний Low-E з аргоном або вакуумний	Зменшення U_w на 30-45 %; підвищення температури внутрішньої поверхні на 5-8°C; усунення ризику конденсації
Міжскляний простір	Повітря	Аргон / криптон / вакуум	Зниження конвективної складової теплопередачі; зменшення сезонних тепловтрат Q на 20-35 %
Профіль ПВХ	Монтажна глибина 58-60 мм, 3-4 камери	Глибина 71-80 мм, 6-7 камер	Зменшення лінійних теплових містків; вирівнювання ізотерм у зоні примикання
Армування профілю	Суцільне сталеве	Композитне або оптимізоване сталеве	Зниження локальних температурних напружень σ на 15-25 % (FEM); зменшення деформацій ϵ
Дистанційна рамка	Алюмінієва	«Тепла» полімерна або композитна	Підвищення мінімальної температури прирамної зони на 2-4 °C

Продовження табл. 3.1

1	2	3	4
Монтажний вузол	Розміщення в зоні холодної стіни	Монтаж у «теплій зоні» з тришаровим швом	Зниження додаткових тепловтрат через вузол до 30%
Керування сонячною радіацією	Відсутнє	Екранні, електрохромні або сонцезахисні шари	Зменшення перегріву влітку до 25-35 %, стабілізація температурного режиму

Аналіз залежності сезонних тепловтрат Q від коефіцієнта U_w (рис. 2.12) продемонстрував майже лінійний характер зменшення Q при зниженні U_w , що підтверджує доцільність комплексного вдосконалення системи «склопакет – профіль – вузол примикання». Перехід від традиційних конструкцій ($U_w \approx 1,4-1,6$ Вт/(м²·К)) до вдосконалених рішень ($U_w \approx 0,8-1,0$ Вт/(м²·К)) забезпечує зниження сезонних тепловтрат на 35-45 %.

Крім того, результати FEM-аналізу напружено-деформованого стану (п. 2.2) показали, що застосування композитного або оптимізованого армування зменшує максимальні еквівалентні напруження σ у критичних зонах профілю при комбінованих температурних і імпульсних навантаженнях. Це підтверджує, що вдосконалення енергоефективності не суперечить, а навпаки, сприяє підвищенню конструктивної стійкості віконних систем.

На основі узагальнення результатів запропоновано комплекс інженерних заходів, спрямованих на підвищення енергоефективності та конструктивної стійкості віконних систем (табл. 3.2, рис. 3.4-3.).

Таблиця 3.2 – Порівняння традиційних та вдосконалених рішень світлопрозорих систем

Традиційне рішення	Вдосконалене рішення	Очікуваний ефект (за FEM-аналізом)
Рама з монтажною глибиною 58-60 мм	Профіль 70-80 мм з оптимізованою камерністю	↓ U_w на 12-18 %, ↑ температури внутрішньої поверхні на 3-5 °С
Однорідна геометрія полиць профілю	Збільшення внутрішньої полиці примикання	↓ температурні градієнти в зоні контакту склопакета
Стандартне армування сталлю	Композитне або комбіноване армування	↓ термічні напруження σ на 15-25 %
Монтажний шов без термовставки	Термовставка з $\lambda \leq 0,04$ Вт/(м·К)	↓ локальні тепловтрати Q у крайовій зоні
Склопакет 24-32 мм	Склопакет 40-44 мм з Low-E + Ag	↓ U_w до 0,85-0,95 Вт/(м ² ·К)

На рисунку 3.4 наведено порівняльні значення коефіцієнта теплопередачі U_w для традиційних та вдосконалених віконних систем, отримані на основі числових розрахунків і результатів FEM-моделювання. Аналіз графіка свідчить, що перехід від базових металопластикових конструкцій зі сталевим армуванням до систем із композитним або комбінованим підсиленням супроводжується систематичним зниженням U_w у середньому на 18-30 %.

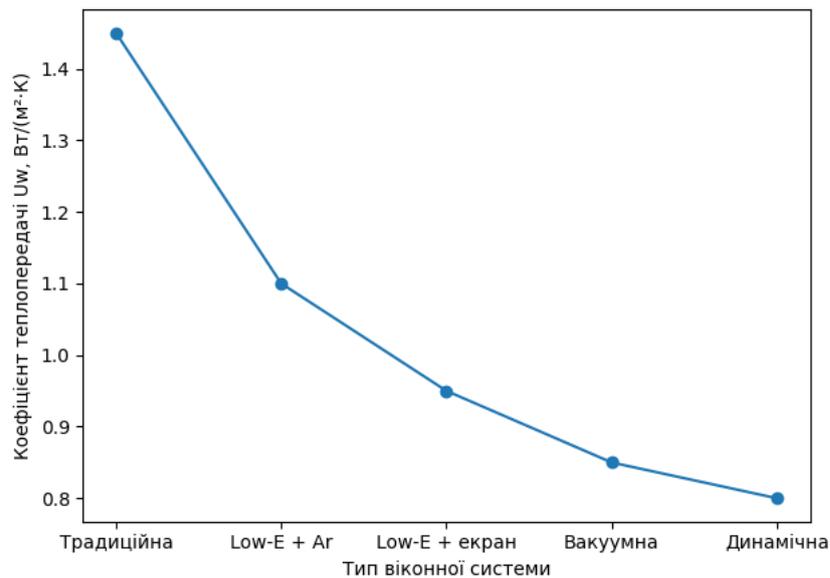


Рисунок 3.4 – Порівняльна залежність коефіцієнта теплопередачі U_w для різних конструктивних рішень віконних систем

Найменші значення U_w відповідають системам з багатокамерними ПВХ-профілями, вакуумними або енергоефективними склопакетами та терморозривами в зоні армування. Отримані результати підтверджують доцільність застосування конструктивних рішень, спрямованих на мінімізацію лінійних теплових містків у зоні профілю та вузла примикання склопакета.

Рисунок 3.5 ілюструє функціональну залежність між коефіцієнтом теплопередачі U_w та сезонними питомими тепловтратами Q через 1 м² світлопрозорої конструкції за опалювальний період. Графічні дані демонструють майже лінійний характер зменшення Q зі зниженням U_w , що узгоджується з класичними положеннями теплотехніки огорожувальних конструкцій.

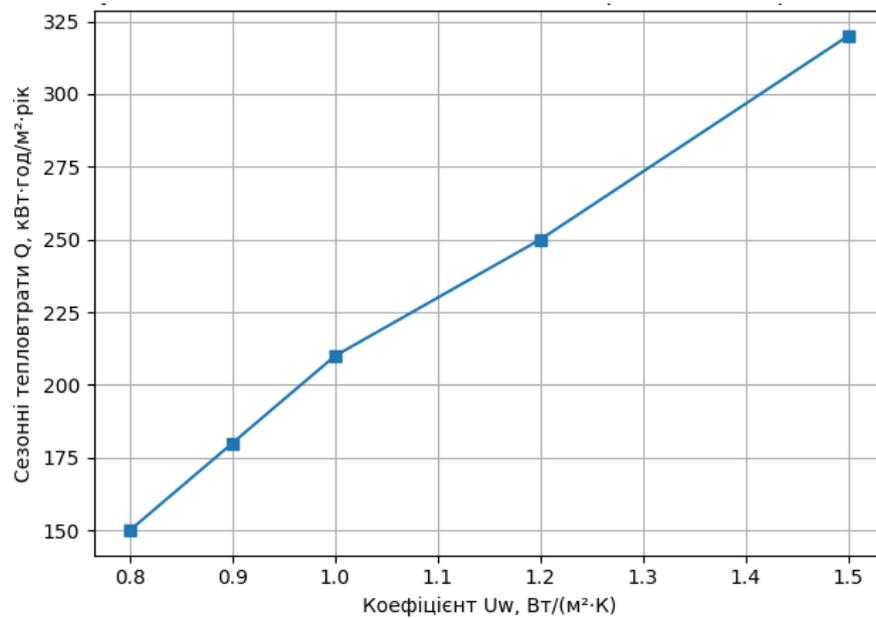


Рисунок 3.5 – Залежність сезонних питомих тепловтрат Q від коефіцієнта теплопередачі U_w для віконних систем

Зменшення U_w на 0,1 Вт/(м²·К) забезпечує скорочення сезонних тепловтрат у середньому на 12-18 кВт·год/м²·рік. Таким чином, навіть помірне підвищення теплозахисних властивостей віконних систем має істотний вплив на енергетичний баланс будівлі, особливо в умовах тривалого опалювального сезону, характерного для кліматичних зон України.

На рисунку 3.6 наведено результати числового моделювання напружено-деформованого стану ПВХ-профільних систем зі сталевим та композитним армуванням за комбінованої дії температурного градієнта та зовнішнього силового навантаження. FEM-поля еквівалентних напружень σ показують, що у випадку сталевого армування формуються локальні зони концентрації напружень у прирамній частині профілю, що зумовлено різницею коефіцієнтів теплового розширення сталі та ПВХ.

Натомість застосування композитного армування забезпечує більш рівномірний розподіл напружень по перерізу профілю та зменшення пікових значень σ на 20-35 %. Це свідчить про підвищення конструктивної стійкості системи та зниження ризику виникнення залишкових деформацій і порушення герметичності у процесі експлуатації.

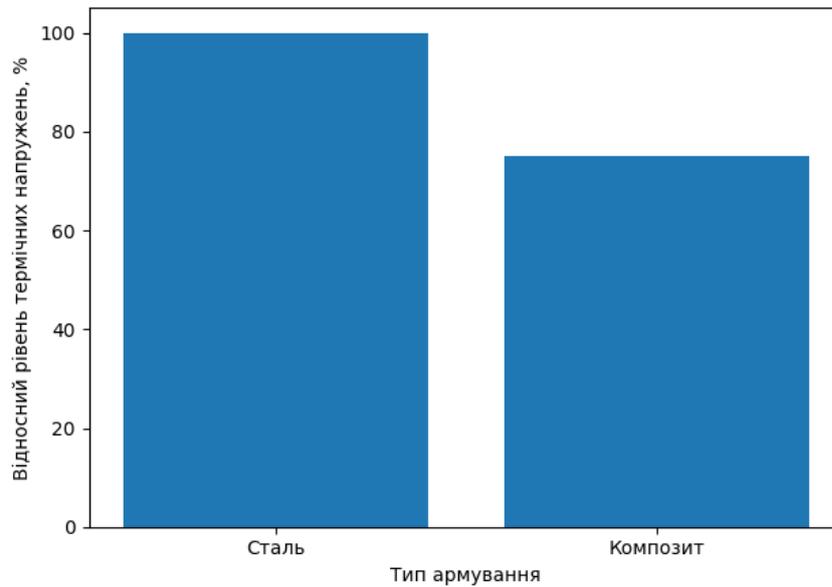


Рисунок 3.6 – Порівняльний розподіл еквівалентних напружень σ у профільних системах зі сталевим та композитним армуванням

Узагальнені результати, наведені в табл. 3.3, демонструють тісний взаємозв'язок між конструктивними параметрами профільних систем, напружено-деформованим станом, визначеним за допомогою FEM-моделювання, та інтегральними енергетичними показниками U_w і Q . Перехід від сталевого до композитного армування супроводжується не лише зменшенням теплових втрат, але й суттєвим зниженням термічних напружень у профілі, що позитивно впливає на стабільність притворів і зменшує інфільтраційні втрати в реальних умовах експлуатації. Зі збільшенням монтажною глибини профілю від 58 до 80 мм спостерігається вирівнювання ізотермічних полів у зоні примикання склопакета, що підтверджує доцільність комплексної оптимізації профілю та скління для досягнення класів енергоефективності A+, Passive відповідно до чинних нормативів України.

Таблиця 3.3 – Комплексна оцінка ефективності профільних систем за критеріями міцності та теплозахисту

№	Модель світлопрозорої системи	Ключові FEM-результати (σ , ϵ , температурні поля)	Характер теплотехнічної поведінки	Енергетичний ефект (U_w , Q)
1	Framex 58 Сталеve армуванняСклопакет 24 мм (Low-E + Ar)	Високі температурні градієнти у внутрішній полиці примикання склопакета; локальні концентрації напружень σ у зоні армування; нерівномірні ізотерми	Сталеve армування формує виражений тепловий міст; різниця коефіцієнтів теплового розширення ПВХ і сталі призводить до додаткових термічних деформацій ϵ	$U_w \approx 1,35-1,40$ Вт/(м ² ·К) $Q \approx 300-320$ кВт·год/м ² ·рік Підвищений ризик конденсації
2	Framex 58 Композитне армуванняСклопакет 32 мм (Low-E + Ar)	Зменшення пікових σ на 15-20 %; вирівнювання температурних ізоліній у прирамній зоні	Композитне армування знижує теплопровідний канал і забезпечує більш узгоджену деформаційну роботу профілю	$U_w \approx 1,15-1,20$ Вт/(м ² ·К) $Q \approx 240-260$ кВт·год/м ² ·рік
3	Framex 71 Сталеve армуванняСклопакет 32 мм (Low-E + Ar)	Менші температурні градієнти порівняно з Framex 58; напруження σ локалізуються переважно у зовнішній полиці	Збільшена монтажна глибина та камерність зменшують тепловий потік через профіль, але сталеve армування залишається джерелом ψ -ефекту	$U_w \approx 1,00-1,05$ Вт/(м ² ·К) $Q \approx 220-230$ кВт·год/м ² ·рік
4	Framex 71 Композитне армуванняСклопакет 40 мм (Low-E + Ar)	Практично рівномірні ізотермічні поля; зниження σ у кутових ділянках рами та стулки	Оптимальний баланс жорсткості та теплозахисту; зменшення як теплових, так і деформаційних втрат	$U_w \approx 0,90-0,95$ Вт/(м ² ·К) $Q \approx 190-200$ кВт·год/м ² ·рік
5	Framex 80 Композитне армуванняСклопакет 44 мм (Low-E + Ar)	Мінімальні температурні градієнти; відсутність критичних зон напружень; стабільний розподіл ϵ	Висока камерність і глибина профілю формують безперервний тепловий контур; FEM-моделі демонструють термічну стабільність	$U_w \approx 0,85-0,90$ Вт/(м ² ·К) $Q \approx 160-170$ кВт·год/м ² ·рік
6	Framex 80 Композитне армуванняСклопакет 50 мм (Low-E + Ar / екран)	Найвища температура внутрішньої поверхні; мінімальні σ навіть за сонячного нагріву +60 °С	Конструкція наближається до рівня Passive House; зменшення як теплопровідності, так і інфільтраційних втрат	$U_w \approx 0,80-0,85$ Вт/(м ² ·К) $Q \approx 150-160$ кВт·год/м ² ·рік

Висновки до розділу 3

Таким чином, результати FEM-моделювання, експериментальних випробувань та аналітичного узагальнення свідчать, що максимальний ефект підвищення енергоефективності металопластикових світлопрозорих систем досягається лише за умови комплексного вдосконалення всіх елементів конструкції. Виявлені закономірності можуть бути використані як наукове підґрунтя для розроблення оптимізованих віконних систем, які відповідають чинним вимогам ДБН України та сучасним критеріям енергоефективного цивільного будівництва.

Представлені графіки комплексно підтверджують, що енергоефективність та механічна надійність світлопрозорих систем є взаємопов'язаними параметрами, які повинні розглядатися у єдиній інженерній постановці. Вдосконалення профільних систем, армування та склопакетів дозволяє одночасно знизити тепловтрати, підвищити температурну стабільність вузлів і зменшити рівень експлуатаційних напружень.

РОЗДІЛ 4

ТЕХНІЧНА ЧАСТИНА

4.1 Вихідні дані

Проектований торгово-розважальний центр (ТРЦ) розміщується в межах села Агрономічне Вінницького району Вінницької області, яке має вигідне функціонально-планувальне положення щодо м. Вінниці [36]. Близькість до обласного центру та зручні транспортні зв'язки забезпечують значний потенційний потік відвідувачів не лише з самого села, а й із прилеглих населених пунктів.

Територія характеризується переважно рівнинним рельєфом із незначними підвищеннями, пагорбами та локальними пониженнями. Такі умови сприятливі для розміщення громадської забудови та організації під'їздів, пішохідних зв'язків і майданчиків для відпочинку та паркування.

Ґрунтовий покрив представлений переважно чорноземами, що є одними з найбільш родючих ґрунтів, що історично зумовило сільськогосподарське використання території. Водночас такі ґрунти є сприятливими з точки зору інженерно-геологічних умов для будівництва за умови належної інженерної підготовки основ.

Клімат території – помірно-континентальний, із теплим літом та помірно холодною зимою. Середня температура найхолоднішого місяця (січень) становить близько $-5...-7$ °С, найтеплішого (липень) – $+18...+20$ °С. Середньорічна кількість опадів становить орієнтовно 600-650 мм, що відповідає умовам достатнього зволоження [37]. Такі параметри слід враховувати при проектуванні огорожувальних конструкцій, систем водовідведення, благоустрою та інженерних мереж.

Водні ресурси представлені малими водотоками, ставками та підземними водами, які використовуються для господарсько-питного водопостачання. Наявність водних ресурсів створює передумови для стабільного забезпечення

об'єкта водою за умови дотримання вимог чинних будівельних і санітарних норм.

Село Агрономічне має достатньо розвинену соціальну та інженерну інфраструктуру: функціонують загальноосвітні заклади, дошкільні установи, медичний центр, спортивні об'єкти, мережі інженерного забезпечення [36]. Це формує сприятливі умови для розміщення громадського об'єкта регіонального значення – торгово-розважального центру.

Об'єкт проектування покликаний задовольнити потреби мешканців села та навколишніх населених пунктів у товарах, послугах та дозвіллі, а також сприятиме розвитку торгівлі, сфери послуг та малого бізнесу в регіоні.

4.2 Генеральний план

4.2.1 Вертикальне планування території та будівлі

Ділянка має переважно спокійний рельєф із розтином горизонталей через 0,5 м. Генеральний план виконано в масштабі 1:500 методом проєктних відміток [38]. Організація рельєфу здійснена методом проєктних горизонталей з урахуванням існуючих умов місцевості, напрямків природного стоку поверхневих вод, положення вуличної мережі та під'їзних шляхів. Передбачено:

- забезпечення поздовжніх і поперечних ухилів покриттів для відведення дощових і талих вод;
- підсіпку ґрунту в окремих знижених місцях;
- прив'язку проєктних відміток до існуючих позначок доріг та під'їздів.

Відведення поверхневих вод здійснюється по ухилах покриттів та проїздів у напрямку до проїжджої частини з подальшим водовідведенням до дощоприймальних колодязів.

«Чорні» (фактичні) відмітки визначаються за даними топографічної зйомки та положення горизонталей:

$$H_{\text{чор А}} = H_1 + h \cdot i/n, \quad (4.1)$$

де H_1 – висота найближчої горизонталі;

m – відстань від цієї горизонталі до точки i – перевищення між двома горизонталями;

h – розтин горизонталей.

Проектні (червоні) відмітки визначаються з урахуванням заданих ухилів:

$$H_{\text{чер}} = H_{\text{чер.}} \pm i \cdot l, \quad (4.2)$$

де i – уклон поверхні;

$H_{\text{чер}}$ – попередня червона відмітка;

l – відстань між точками.

Розрахунок чорних і червоних відміток представлено у вигляді таблиці 4.1.

Таблиця 4.1 – Розрахунок чорних та червоних відміток поверхні

№ точки	$H_{\text{чор}}, \text{ м}$	$H_{\text{чер}}, \text{ м}$	$\Delta H = H_{\text{чер}} - H_{\text{чор}}, \text{ м}$
1	284,67	285,1667	0,50
2	284,86	285,3571	0,50
3	284,89	285,3889	0,50
4	284,92	285,4231	0,50
5	284,92	285,4231	0,50
6	284,97	285,4714	0,50
7	284,96	285,4600	0,50
8	284,96	285,4600	0,50
9	284,91	285,4091	0,50
10	284,60	285,1000	0,50
11	285,12	285,6205	0,50
12	285,08	285,5769	0,50
13	285,12	285,6205	0,50
14	285,08	285,5769	0,50
15	285,07	285,5714	0,50
16	284,26	284,7857	0,53
17	284,79	285,2917	0,50

4.2.2 Рішення генерального плану території торгово-розважального центру

Генеральний план торгово-розважального центру розроблений з урахуванням існуючої ситуації, транспортно-планувальної структури с. Агрономічне, рельєфу місцевості та перспективного розвитку прилеглих

територій. Планувальна організація території забезпечує зручні транспортні та пішохідні зв'язки, раціональне розміщення будівлі ТРЦ, майданчиків для відпочинку, паркування та інженерної інфраструктури [38-40].

Будівля ТРЦ розташована ближче до червоної лінії основної вулиці, що забезпечує візуальну доступність об'єкта, зручний під'їзд та орієнтацію відвідувачів. Головний вхід організовано з боку основного пішохідного потоку та зупинок громадського транспорту. Допоміжні та службові входи розташовані зі сторони дворового фасаду й бокових фасадів, із забезпеченням окремих маршрутів руху персоналу та вантажного транспорту.

Територія поділена на функціональні зони:

- громадсько-ділова зона – безпосередньо забудована будівлею ТРЦ;
- транспортно-пішохідна зона – проїзди, майданчики розвороту, тротуари та пішохідні алеї;
- зона паркування – відкриті автостоянки для відвідувачів і персоналу;
- зона господарського двору – майданчик для приймання товарів, розвантаження, тимчасового зберігання тари та під'їзд вантажного транспорту;
- зелені насадження загального та обмеженого користування – озеленені ділянки, смуги вздовж проїздів, декоративні групи біля входів, захисні насадження.

Проїзди спроектовані таким чином, щоб забезпечити круговий об'їзд будівлі для пожежної техніки та оперативного транспорту згідно з вимогами ДБН. Ширина основних проїздів і радіуси заокруглень забезпечують безпечний рух легкового та вантажного автотранспорту. Уздовж фасадів, орієнтованих у бік вулиці, передбачені тротуари шириною не менше 1,5–2,0 м для безпечного руху пішоходів [39].

Автостоянки розміщено в безпосередній близькості до головного входу з урахуванням розділення потоків пішоходів і транспорту. Розмір одного машиномісця прийнято $2,5 \times 5,0$ м, передбачені також місця для маломобільних груп населення, розташовані ближче до входу в будівлю, відповідно до вимог інклюзивності [38, 39]. Під'їзди до господарського двору запроектовано окремим

маршрутом для уникнення перетину вантажних і пішохідних потоків.

Озеленення території передбачає:

- посадку дерев та кущів уздовж проїздів і по периметру автостоянок для створення тіньових та захисних зон;
- формування декоративних квітників та газонів біля головного входу;
- використання зелених насаджень як шумозахисного та пилозахисного бар'єра від проїжджої частини.

Вертикальне планування генерального плану виконано таким чином, щоб забезпечити організований відвід поверхневих вод від будівлі, проїздів та майданчиків у сторону водоприймальних лотків та дощоприймальних колодязів. Ухили покриттів, тротуарів і вимощення прийняті в межах нормативних значень та узгоджені з прийнятими «червоними» відмітками.

Розміщення інженерних мереж і споруд (водопровід, каналізація, тепломережі, електропостачання, зв'язок) запроєктовано переважно в межах проїздів і технічних зон з метою забезпечення доступу для експлуатації й ремонту, а також мінімізації перетинів із зеленими насадженнями та зоною інтенсивного пішохідного руху.

4.3 Об'ємно-планувальні рішення торгово-розважального центру

Об'ємно-планувальні рішення ТРЦ спрямовані на забезпечення максимально ефективного використання площ, чіткої функціонально-планувальної структури та комфортного пересування відвідувачів і персоналу.

При формуванні планувальної структури враховано:

- функціональне призначення будівлі як торговельно-розважального комплексу;
- потоки відвідувачів (основні, службові, вантажні);
- вимоги ДБН В.2.2-9:2018 «Будинки і споруди. Громадські будинки та споруди. Основні положення» щодо громадських будівель [41];
- ергономіку, доступність та безпечну евакуацію [42-44];

- можливість трансформації та перепланування окремих приміщень.

Головний фасад орієнтований на південний захід. План будівлі має розгалужену конфігурацію з вираженою композицією центрального об'єму та бічних крил. Фасад поєднує великі площі скління, широкі вітрини та масивні глухі площини, що формують сучасний архітектурний образ.

Основні геометричні параметри будівлі:

- розміри в плані – 38,5 × 18,0 м;
- кількість поверхів – 2;
- висота 1-го поверху – 4,0 м;
- висота 2-го поверху – 4,0 м;
- загальна висота будівлі – 13,4 м (з урахуванням покрівельної конструкції).

За відмітку «±0,000» умовно прийнято відмітку чистої підлоги першого поверху.

Основні техніко-економічні показники (ТЕП) будівлі наведені в табл. 4.2.

Таблиця 4.2 – Основні техніко-економічні показники будівлі

Показник	Одиниця вимірювання	Значення
Будівельний об'єм	м ³	4752
Загальна площа	м ²	1188
Площа 1-го поверху	м ²	734
Площа 2-го поверху	м ²	454
Площа забудови	м ²	734

Склад і площі приміщень визначено відповідно до вимог ДБН В.2.2-9:2018. Експлікацію приміщень першого та другого поверхів наведено у табл. 4.3-4.4.

Таблиця 4.3 – Експлікація приміщень першого поверху

№	Найменування приміщення	Площа, м ²
1	2	3
1	Тамбур	7,58
2	Холл	69,28
3	Коридор	8,29
4	Приміщення адміністрації	18,17

Продовження табл. 4.3

1	2	3
5	С/в для чоловіків	9,79
6	С/в для людей з особливими потребами	4,37
7	Гігієнічна кімната	3,44
8	С/в для жінок	12,35
9	Коридор	67,47
10	Торговельна площа	35,42
11	Торговельна площа	31,79
12	Торговельна площа	30,82
13	Торговельна площа	20,14
14	Торговельна площа	15,86
15	Торговельна площа	20,21
16	Торговельна площа	18,35
17	Торговельна площа	18,69
18	Торговельна зала кафе	94,43
19	Роздаточна	14,80
20	Заготівельний цех	11,32
21	Холодний цех	15,37
22	Гарячий цех	19,20
23	Зона прийому продуктів,	9,58
24	Холодильники	13,20
25	Мийна столового і кухонного посуду	4,79
26	Сервізна	10,56
27	Комора	6,31
28	Кімната для персоналу	13,19
29	С/в для чоловіків	8,45
30	С/в для жінок	8,50

Таблиця 4.4 – Експлікація приміщень другого поверху

№	Найменування приміщення	Площа, м ²
1	Холл	57,03
2	Торговельна площа	49,77
3	С/в для чоловіків	9,78
4	Коридор	67,47
5	Торговельна площа	35,42
6	Торговельна площа	31,79
7	Торговельна площа	30,82
8	Торговельна площа	20,14
9	Торговельна площа	15,86
10	Торговельна площа	20,21
11	Торговельна площа	18,35
12	Торговельна площа	18,69

4.4 Архітектурно-конструктивні рішення багатофункціонального громадського центру

4.4.7 Елементи каркаса та фундаментів

Фундаменти будівлі – монолітні бутобетонні стрічкові під несучими стінами та окремі фундаменти під колонами. Ширина стрічкових фундаментів: під зовнішніми несучими стінами – 0,7 м; під внутрішніми несучими стінами – 0,5 м; під колонами перерізом 400 × 400 мм у вестибюлі – 0,7 м; фундаментна стрічка між колонами – 0,4 м. Гідроізоляція:

- горизонтальна – двошарова бітумна мастика Ceresit CL-50 по обрізу фундаменту на відм. –0,320 м;
- вертикальна – обмазувальна гідроізоляція гарячим бітумом у два шари по зовнішніх поверхнях фундаментів.

Цоколь виконується в одному рівні зі стінами та облицьовується фіброцементними фасадними панелями NekimBoard з текстурою дерева, які забезпечують стійкість до атмосферних впливів, механічну міцність і привабливий зовнішній вигляд. Розмір панелі – 1250 × 3050 мм, товщина – 8 мм.

По периметру будівлі влаштовується вимощення шириною 1,0 м з асфальтобетону з ухилом $i=0,03$ від стін. Склад вимощення:

- асфальтобетон – 30 мм;
- щебневий шар – 150 мм;
- ущільнений ґрунт основи.

Каркас будівлі формують залізобетонні колони перерізом 300 × 300 мм з бетону класу В30. Ригелі спираються на консольні виступи колон.

Перекрыття – збірні залізобетонні плити двох типів:

- багатопустотні плити шириною 1200 мм;
- ребристі плити шириною 1500 мм.

Клас бетону – В15 та В25 відповідно. У місцях прилягання сходових кліток та локальних ділянок використано монолітні залізобетонні вставки.

Специфікацію збірних залізобетонних плит наведено у таблиці 2.4 (значення залишаємо відповідно до вихідних даних).

Дах будівлі комбінований:

- над центральною частиною – двосхилий з кутом нахилу 45° по алюмінієвій кроквяній системі (довжина крокв – 7,7 м);

- над бічними крилами – односхилі покриття по плоских алюмінієвих фермах прольотом 12,5 м.

Специфікація збірних залізобетонних виробів наведено в табл. 4.5.

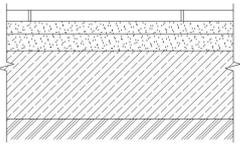
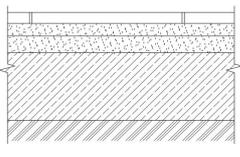
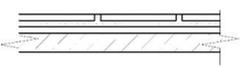
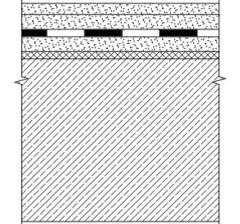
Таблиця 4.5 – Специфікація збірних залізобетонних виробів

№ з/п	Позначення	Найменування	Кількість на поверх				Маса	Прим.
			-1	1	2	всього		
1	П-1	Плити багатопустотні 1200×5000	34	31	31	96		
2	П-2	Плити багатопустотні 1200×2500	17	17	17	51		
3	П-3	Плити багатопустотні 1200×5700	15	15	15	45		
4	П-4	Плити багатопустотні 1500×4500	11	11	11	33		
5	П-5	Плити багатопустотні 1200×4500	4	4	4	12		
6	П-6	Плити багатопустотні 1500×6800	6	6	6	18		
7	П-7	Плити багатопустотні 1500×5800	5	5	-	10		
8	П-8	Плити багатопустотні 1500×6300	3	3	-	6		
9	П-9	Плити багатопустотні 1500×4600	8	8	-	16		

Покрівля влаштовується по алюмінієвому каркасу з профілів 80×80 мм по фермах із кроком 2,3 м. Основа покрівлі – гідроізоляційний килим із бітумної черепиці зі зварними стиками на гарячій бітумній мастиці. Передбачено внутрішній та зовнішній водостік.

Конструкції підлог виконуються по ґрунту або по збірних перекриттях залежно від призначення приміщення. Склад підлог різних приміщень наведено в таблиці 4.6.

Таблиця 4.6 – Конструкція підлоги у приміщеннях різного призначення

Найменування	Схема підлоги	Елементи підлоги та їх товщина
Приміщення підвалу		Керамічні плитки – 13 мм. Прошарок і заповнення швів з цементно-піщаного розчину – 15 мм Стяжка з цементно-піщаного розчину М150 – 20 мм Підстильний шар бетону класу В7.5 – 80 мм. Щебінь або гравій втрамбований в ґрунт фракцією 40-60 мм
Приміщення вхідної групи, санвузли, приміщення кухні кафе, підвал		Керамічні плитки – 13 мм Прошарок і заповнення швів з цементно-піщаного розчину – 15 мм Стяжка з цементно-піщаного розчину М150 – 20 мм Залізобетонне перекриття
Сходові площадки		Керамічна плитка – 10 мм Клеюча суміш Ceresit CM11 – 0 мм Самовирівнююча суміш Ceresit CN 72 – 2...10 мм Сходова площадка
Зала кафе, торговельні площі, адміністративна-вестибюльна група		Гранітна плитка – 20 мм Прошарок і заповнення швів з цементно-піщаного розчину – 15 мм Стяжка з цементно-піщаного розчину М150 – 40 мм Залізобетонне перекриття

4.4.2 Зовнішні стіни та теплотехнічний розрахунок

Зовнішні стіни запроєктовані з керамічної цегли товщиною 380 мм з додатковим зовнішнім утепленням. Вимога до опору теплопередачі огорожувальних конструкцій визначається згідно з ДБН В.2.6-31:2021 для I температурної зони: $R_n=4,0 \text{ м}^2 \cdot \text{К/Вт}$ [2].

Фактичний опір теплопередачі багатошарової зовнішньої стіни визначається за формулою:

$$R_{\text{заг}} = \frac{1}{\alpha_s} + \frac{1}{\alpha_e} + \sum \frac{\delta_i}{\lambda_i}, \quad (4.3)$$

де α_s, α_e – коефіцієнти тепловіддачі внутрішньої і зовнішньої поверхонь

розглянутої конструкції відповідно;

δ_i – товщина і-го шару конструкції, м;

λ_i – теплопровідність і-го шару конструкції, Вт/(м °С).

Склад розрахункової стіни (рисунок 4.1):

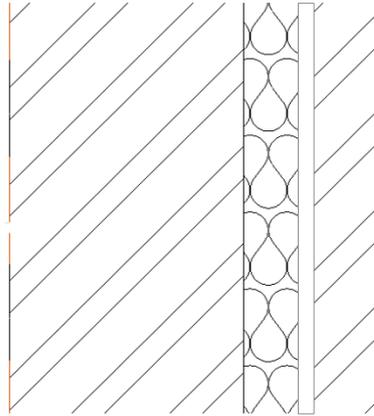


Рисунок 4.1 – Конструкція зовнішньої стіни

- внутрішнє оштукатурювання цементно-піщаним розчином: $\rho=1600$ кг/м³, $\lambda=0,70$ Вт/(мК), $\delta=0,02$ м;
- керамічна цегляна стіна: $\rho=1800$ кг/м³, $\lambda=0,70$ Вт/(мК), $\delta=0,38$ м;
- утеплювач – мінераловатні плити: $\rho=75$ кг/м³, $\lambda=0,044$ Вт/(мК), $\delta=0,15$ м;
- повітряний прошарок: $\lambda=0,021$ Вт/(мК), $\delta=0,02$ м;
- зовнішнє облицювання – фіброцементна панель HekimBoard: $\lambda=0,45$ Вт/(мК), $\delta=0,08$ м.

За результатами розрахунку фактичний опір теплопередачі становить:

$$R_{\phi} = \frac{1}{8,7} + \frac{1}{23} + \frac{0,02}{0,7} + \frac{0,38}{0,81} + \frac{0,15}{0,044} + \frac{0,02}{0,021} + \frac{0,008}{0,45} = 4,86 \text{ м}^2\text{°C/Вт}.$$

Отже, $R_{\phi} = 4,86$ м²К/Вт, що більше $R_{н} = 4$ м²К/Вт.

Так як умова $R_{\phi} > R_{норм}$ виконується, конструкція зовнішньої стіни відповідає вимогам ДБН В.2.6-31:2021 [2] щодо економічно доцільного опору теплопередачі. Загальна товщина стіни з утеплювачем і облицюванням становить орієнтовно 580 мм.

4.4.3 Внутрішні стіни та перегородки

Внутрішні стіни та перегородки формують функціональне зонування будівлі, забезпечуючи необхідний рівень звукоізоляції, пожежної безпеки та експлуатаційної надійності.

У торговельних залах застосовано скляні перегородки із загартованого безпечного скла типу триплекс, закріплені в алюмінієвих або ПВХ-профілях, з використанням точкових кріплень типу «SPIDER». Такі системи забезпечують максимальної прозорості торгових вітрин і візуальний зв'язок простору.

В адміністративно-побутових приміщеннях – полегшені цегляні перегородки товщиною 120 мм.

У вологих приміщеннях (санвузли, кухня, мийні) застосовуються перегородки з повнотілої цегли товщиною 120 мм, а для влаштування вентиляційних каналів – стіни товщиною 380 мм.

4.4.4 Вікна та двері

Скління навісних фасадів виконується за системою типу SPIDER: скляні панелі кріпляться до несучих елементів (ферм, балок, консолей) за допомогою спеціальних «павукоподібних» кріплень. Така система:

- забезпечує високу прозорість фасаду;
- дає можливість реалізувати великі площі суцільного скління;
- сумісна з системами автоматизованого керування освітленням, провітрюванням та сонцезахистом.

Віконні заповнення виконуються з ПВХ-профілю з подвійним склопакетом [19]. Товщина віконних блоків – близько 140 мм, що забезпечує необхідний рівень тепло- та звукоізоляції. Габарити вікон підбираються з урахуванням інтер'єрних рішень та нормативів природного освітлення.

Вхідні двері:

- головний вхід – двостулкові автоматичні розсувні двері зі склінням, у системі навісного фасаду, на основі ПВХ-профілю зі сталевим каркасом (типу GEZE);

- додаткові та евакуаційні виходи – одноствулкові та двостулкові розпашні двері, у т.ч. протипожежні.

Внутрішні двері:

- у технічних приміщеннях – глухі одноствулкові двері (металеві або дерев'яні);

- в адміністративних та торговельних приміщеннях – двері з частковим або повним склінням.

Специфікація вікон і дверей з основними розмірами наведена в таблиці 4.7.

Таблиця 4.7 – Специфікація вікон та дверей

Поз.	Найменування	Кількість	Розмір
Вікна			
Вк-1	Вікно вітрини з фрамугою	19	1500×2000
Вітрини			
В-1	Вікно вітрини з боковими панелями і фрамугою	1	7500×2830
В-2	Вікно вітрини з боковими панелями і фрамугою	2	7500×4100
В-3	Вікно вітрини з боковими панелями і фрамугою	1	7500×6750
В-4	Вікно вітрини з боковими панелями і фрамугою	1	13000×5700
Вікна			
Вк-1	Вікно вітрини з фрамугою	19	1500×2000
Вітрини			
В-1	Вікно вітрини з боковими панелями і фрамугою	1	7500×2830
В-2	Вікно вітрини з боковими панелями і фрамугою	2	7500×4100
В-3	Вікно вітрини з боковими панелями і фрамугою	1	7500×6750
В-4	Вікно вітрини з боковими панелями і фрамугою	1	13000×5700
В-5	Вікно вітрини з боковими панелями і фрамугою	2	1300×3900
В-6	Вікно вітрини з боковими панелями і фрамугою	1	4800×1900
В-7	Вікно вітрини з боковими панелями і фрамугою	1	4800×8300
Двері			
Д-1	Двері розсувні НС	2	---
Д-2	Зовнішні подвійні розсувні двері	3	1800×2500
Д-3	Зовнішні подвійні розсувні двері	2	1600×2500
Д-4	Зовнішні подвійні розсувні двері	16	2000×2500
Д-5	Двері подвійні	3	2000×2100
Д-6	Двері	17	900×2100
Д-7	Двері металеві	7	700×2100
Д-6	Двері протипожежні	7	900×2100
П-1	Прямокутний пустий проріз	8	2400×1500

4.4.5 Зовнішнє оздоблення

Оскільки район забудови є новим, без сформованих архітектурних домінант, проєктований об'єкт формує власний сучасний архітектурний образ. Екстер'єр вирішений у стилі сучасної мінімалістичної архітектури з елементами «барнхаус» – прості об'єми, чіткі лінії, поєднання скління та протяжних «глухих» фасадних площин.

Основні прийоми:

- суцільне скління головного фасаду в центральній частині, підкреслене двосхилим покриттям;
- облицювання цоколю та вертикальних фасадних фрагментів фіброцементними панелями NekimBoard з текстурою дерева, що створює візуальну теплоту;
- металопластикові вікна та двері в тонованому коричневому відтінку;
- використання однотипних матеріалів та кольорів по всьому периметру будівлі для досягнення цілісності образу.

Деталізований перелік матеріалів фасадного опорядження наведено у таблиці опорядження фасадів (аркуш ГЧ).

4.4.6 Внутрішнє оздоблення

Внутрішні рішення виконано в сучасному лаконічному стилі, що підкреслює функціональність приміщень і забезпечує комфорт для відвідувачів.

- Вхідна група, санвузли, приміщення кухні кафе: підшивні стелі з гіпсокартону по металевому каркасу, пофарбовані водоемульсійною фарбою; підлоги – з керамічної плитки; стіни – оштукатурені та пофарбовані, у зонах з підвищеною вологістю – облицьовані керамічною плиткою.
- Торговельні та адміністративні приміщення: підвісні стелі типу «Армстронг» із вбудованими світильниками; підлоги – з керамограніту; стіни – оштукатурені та пофарбовані водоемульсійними фарбами світлих тонів.

Освітлення поєднує природне (через великі вітрини та світлові прорізи) та штучне (загальне, локальне, акцентне), що забезпечує комфортну візуальну обстановку для покупців і персоналу.

4.5 Інженерні системи проектного ТЦ

У торгово-розважальному центрі передбачено комплекс інженерних систем [45, 46], спрямованих на забезпечення нормативних умов роботи та комфорт відвідувачів.

Опалення. Теплопостачання виконується від двох внутрішніх джерел: твердопаливного котла Viadrus (75 кВт) та електричного котла DAKON (60 кВт). Система працює з температурою теплоносія 70-95 °С. У складі комплексу функціонує індивідуальний тепловий пункт із вузлом обліку та автоматичним регулюванням подачі тепла. Опалювальні прилади – біметалеві радіатори MIRADO з нижнім підключенням. Щороку проводиться регламентне технічне обслуговування обладнання.

Вентиляція та кондиціонування. Вентиляційна система передбачає цілодобову роботу витяжних вентиляторів із резервуванням та балансувальними пристроями. У залах, кафе та адміністративних приміщеннях встановлено локальні системи кондиціонування для підтримання температурно-вологісного режиму. Сервісне обслуговування систем проводиться двічі на рік.

Водопостачання і каналізація. Холодне та гаряче водопостачання виконано згідно з вимогами ДБН. Магістральні трубопроводи прокладені з нормативним ухилом. Система поділена на господарсько-побутову, виробничу та протипожежну, виконані з оцинкованих труб. Каналізація включає побутову та виробничу мережі, що відводяться окремими лініями до зовнішніх колекторів. Стояки та відвідні лінії виконані з чавунних труб діаметром 100 мм.

Електропостачання. Електроживлення здійснюється від трансформаторної підстанції через кабельну лінію. У будівлі влаштовано окремі силові та освітлювальні мережі (380/220 В). Розподіл виконано через групові щити,

встановлені на першому поверсі. Передбачене ручне та дистанційне керування освітленням.

Блискавкозахист та зв'язок. Блискавкозахист виконано за системою заземлених спусків відповідно до РД 34.21.122-87. На об'єкті встановлена комбінована система охоронної та пожежної сигналізації, датчики розміщені у ключових приміщеннях. Передбачено систему відеоспостереження із зовнішніми та внутрішніми камерами.

4.6 Інклюзивність

Проектування торгово-розважального центру виконано з урахуванням вимог інклюзивності та доступності будівель для маломобільних груп населення відповідно до ДБН В.2.2-40:2018 «Інклюзивність будівель і споруд» та ДБН В.2.2-9:2018 «Громадські будівлі та споруди» [41, 43]. Архітектурні рішення забезпечують безперешкодний доступ усіх категорій відвідувачів до приміщень і функціональних зон комплексу.

Для забезпечення мобільності людей з інвалідністю та інших маломобільних груп передбачено такі заходи:

- вхідна група будівлі обладнана пандусом із допустимим ухилом 8% та протиковзким покриттям. Поручні встановлені з обох боків, висотою 0,7 та 0,9 м;

- автоматичні розсувні двері забезпечують зручний доступ для осіб на візках, батьків із дитячими колясками та людей похилого віку. Ширина проходу не менше 1,2 м;

- у тамбурі та холі передбачено маневровий простір діаметром не менше 1,5 м для розвороту інвалідного візка.

На першому поверсі розташовано санвузол для людей з інвалідністю, обладнаний поручнями, умивальником зниженої висоти та розширеним дверним прорізом.

Пішохідні маршрути на території мають тверде покриття, понижені бордюри та тактильні елементи для людей з вадами зору.

На автостоянці передбачено виділені паркомісця для осіб з інвалідністю, розташовані на мінімальній відстані від входу згідно з ДБН.

У торговельних залах передбачено оптимальну ширину проходів (не менше 1,5 м), що забезпечує безперешкодне пересування візків.

Внутрішня інформаційна навігація буде доповнена контрастними та тактильними вказівниками.

Таким чином, проєктований ТРЦ відповідає сучасним принципам інклюзивності та формує доступне, комфортне й безпечне середовище для всіх категорій відвідувачів.

4.7 Сховище (укриття цивільного захисту)

Згідно з вимогами ДБН Б.2.2-5:2023 «Будівлі і споруди. Захисні споруди цивільного захисту» [44], у складі громадських будівель необхідно передбачати організацію найпростіших укриттів або сховищ для захисту населення під час надзвичайних ситуацій.

У складі торгово-розважального центру передбачено найпростіше укриття (приспосоване приміщення цивільного захисту), розташоване у підвальному поверсі будівлі. Воно призначене для тимчасового перебування персоналу та відвідувачів під час оголошення повітряної тривоги або іншої загрози.

Основні конструктивні та функціональні рішення сховища:

- укриття розміщене у капітальних підвальних приміщеннях зі стінами завтовшки не менше 380 мм;
- приміщення має окремий евакуаційний вихід, який виводить безпосередньо назовні або до коридору з евакуаційною драбиною;
- передбачено подвійні двері (основні та герметизуючі) або посилені протиударні дверні блоки.

Організовано дві вентиляційні системи:

- природна вентиляція через повітроводи та шахти,
- аварійне провітрювання через оглядовий канал або інше безпечне джерело повітря.

Передбачено місця для тимчасового укриття 50-70 осіб (норматив із розрахунку площі на одну людину для найпростішого укриття – 0,6 м²/особу).

Приміщення обладнане: лавами або сидіннями, аварійним освітленням, аптечкою, резервуаром для питної води, автономним джерелом електроживлення.

Укриття має санвузол, який може бути тимчасово відключений від загальної системи каналізації з переходом на резервний збір стоків.

Наявна система зв'язку з адміністрацією будівлі та місцевими службами.

Завдяки використанню підвальних приміщень під укриття досягається максимальна ефективність конструктивного захисту без збільшення площі забудови.

У підвальному поверсі 3 виходи знаходяться в такому самому порядку, як на 1 поверсі, який сполучений з сходовою кліткою.

4.8 Пожежна безпека

Схема евакуації розроблена відповідно до вимог чинних норм пожежної безпеки [42]. Передбачено:

- 9 евакуаційних виходів з будівлі;
- виходи з першого поверху назовні через вестибюль, торговельні зони, зал кафе та службові приміщення;
- виходи з підвального поверху, пов'язані зі сходовими клітками.

Максимальна відстань від найвіддаленішого робочого місця до евакуаційного виходу не перевищує 10 м, що відповідає нормативним вимогам. У приміщеннях встановлено систему пожежної сигналізації зі світлозвуковими оповісниками, що забезпечує оперативне інформування людей у разі пожежі чи іншої небезпечної ситуації.

4.9 Організація будівельного виробництва

4.9.1 Проектування сітьового графіка зведення об'єкта

Побудова сітьового графіка є одним з ключових етапів організації будівельного виробництва, оскільки дає змогу раціонально спланувати послідовність та тривалість робіт, визначити взаємозв'язки між процесами та забезпечити своєчасне завершення будівництва. Календарний план формується з урахуванням директивного строку спорудження об'єкта, технологічної тривалості окремих операцій, можливості їх максимального суміщення, необхідності застосування будівельних машин, рівномірного розподілу трудових ресурсів та виконання вимог охорони праці [47-49].

На графіку тривалість кожного процесу подається у вигляді відрізка-вектора із зазначенням кількості працівників, що виконують даний процес. Для механізованих операцій тривалість визначається за кількістю машино-змін, а для робіт, виконуваних вручну або комплексними бригадами, – на основі чисельності бригади та трудомісткості процесу. Кількість робітників встановлюється пропорційно трудовим витратам, причому різкі коливання чисельності персоналу неприпустимі, оскільки можуть призвести до порушення ритму виробництва. Оптимальним вважається режим, за якого зміна чисельності не перевищує 20%.

Сітьовий графік має забезпечувати безперервне завантаження робітників: після завершення робіт на одній ділянці вони повинні переходити до виконання наступних операцій без простоїв. При розрахунках застосовують узагальнені техніко-економічні показники процесів – трудомісткість та кількість машино-змін. Трудомісткість визначають множенням кількості робітників на тривалість роботи та число змін, а тривалість механізованих операцій – діленням машино-змін на кількість змін роботи машин [50].

Кількість робітників у зміну встановлюють шляхом поділу прийнятої трудомісткості на нормативну тривалість виконання процесу. Однорідні та малотривалі операції допускається виконувати бригадами однієї спеціальності –

наприклад, підготовкою основ під фундаменти, гідроізоляцією або благоустроєм території.

Під час проєктування календарного плану контролюється рівномірність використання трудових ресурсів. На графіку фіксується добова кількість працівників, що враховує послідовність виконання операцій та вимоги безпеки праці, що забезпечує погодженість усіх елементів будівельного процесу.

4.9.2 Проєктування будівельного генерального плану

Розроблення будівельного генерального плану передбачає визначення потреби в тимчасових спорудах та інженерній інфраструктурі, які забезпечують нормальну організацію будівельного виробництва. Основним принципом є мінімізація вартості тимчасових об'єктів, а також переважне використання збірно-розбірних або пересувних конструкцій, що спрощують монтаж і демонтаж [47, 50].

Для оптимізації витрат рекомендується:

- максимально задіювати існуючі будівлі, що підлягають демонтажу;
- розміщувати тимчасові приміщення у готових постійних спорудах, побудованих раніше;
- використовувати мобільні побутові модулі;
- застосовувати тимчасові об'єкти із некондиційних або збірних залізобетонних елементів.

До складу тимчасової забудови входять виробничі, складські, службові та санітарно-побутові приміщення. Службова зона включає прохідні, диспетчерські та адміністративні приміщення. Санітарно-побутові споруди містять гардеробні, душові, умивальні, санвузли, приміщення для обігріву та харчування працівників.

Тимчасові споруди також охоплюють мережу внутрішньобудівельних проїздів, пішохідних проходів, інженерних комунікацій (електропостачання, водопостачання, зв'язок, каналізація), монтажні майданчики та огорожі будівельного майданчика.

Площа та кількість тимчасових будівель визначаються відповідно до максимальної чисельності персоналу, який перебуває на об'єкті згідно з календарним планом, та встановлених нормативів площі на одного працівника. Для цивільних об'єктів доцільним є застосування модульних побутових містечок на базі вагончиків, що забезпечують належні умови праці та відпочинку.

Загальна чисельність працівників визначається за формулою [50]:

$$N_{\text{заг.}} = (N_{\text{роб.}} + N_{\text{ІТР}} + N_{\text{служ.}} + N_{\text{МОП}}) \cdot R, \quad (4.4)$$

де $N_{\text{роб}}$ – максимальна чисельність робітників згідно з календарним планом (для об'єкта – 80 осіб);

$N_{\text{ІТР}}$ – інженерно-технічний персонал;

$N_{\text{служ}}$ – службовці;

$N_{\text{МОП}}$ – молодший обслуговуючий персонал та охорона;

$R = 1,05$ – коефіцієнт, що враховує відпустки, лікарняні тощо.

По календарному плану на будівництві об'єкту працює максимальна кількість – 80 чол. Для житлово-цивільного будівництва приймають такі пропорції: робітники – 85%; ІТР – 8%; МОП та охорона – 2%.

Водопостачання будівельного майданчика повинно здійснюватися з урахуванням можливостей існуючих мереж водопроводу та умов підключення. Під час проектування тимчасового водогону необхідно визначити трасу прокладання трубопроводу, його діаметр та пропускну здатність залежно від основних груп споживачів:

- виробничі потреби $V_{\text{вир}}$;
- господарсько-побутові потреби $V_{\text{госп}}$;
- потреби душових установок $V_{\text{душ}}$;
- потреби пожежогасіння $V_{\text{пож}}$.

Загальна потреба у воді визначається:

$$B_{\text{заг.}} = 0,5(B_{\text{вир.}} + B_{\text{госп.}} + B_{\text{дощ.}}) + B_{\text{пож.}} \quad (4.5)$$

витрату води на виробничі потреби, л/с:

$$B_{\text{вир.}} = \sum B_{\text{max}} \cdot \frac{R_1}{t_1 \cdot 3600}, \quad (4.6)$$

де $\sum B'_{\text{max}}$ – максимальні витрати води;

R_1 – коефіцієнт нерівномірності споживання води. Для будівельних робіт рівний 1,5;

t_1 – кількість годин роботи, до якої віднесені витрати води, $t_1 = 8$ год.

Для встановлення максимальних витрат води на виробничі потреби складемо таблицю 4.8.

Таблиця 4.8 – Витрати води на виробничі процеси

Процес	Одиниця виміру	Питомі витрати (л)	Тривалість (год)
Робота екскаватора	маш-год	10 × 6	8
Заправка екскаватора	1 маш.	80	8
Поливання цегли (приготування розчину)	1 тис. шт.	90	8
Штукатурні роботи	м ²	7	8
Малярні роботи	м ²	0,5	8
Заправка і миття бульдозера	1 маш.	300	24

$$\sum B_{\text{max}}^1 = 60 + 80 + 232416 + 851445 + 5706,3 + 600 = 1107425 \text{ л.}$$

$$B_{\text{пр}} = \frac{1107425 \cdot 1,5}{8 \cdot 3600} = 57 \text{ л/с.}$$

Витрата води на господарсько-побутові потреби:

$$B_{\text{зос}} = \sum B_{\text{max}}^2 \cdot \frac{R_2}{t_2 \cdot 3600}, \quad (4.7)$$

де $\sum B_{\text{max}}^2$ – максимальні витрати води у зміну на господарсько-питні потреби;

R_2 – коефіцієнт нерівномірності споживання, $R_2 = 2$;

t_2 – тривалість робочої зміни, $t_2 = 8$ год.

$$\sum B_{\text{max}}^2 = N_{\text{розр.}} \cdot 20, \quad (4.8)$$

де 20 – норма витрат на господарсько-побутові потреби з каналізацією.

$$\sum B_{\text{max}}^2 = 142 \cdot 20 = 2840 \text{ л.}$$

$$\text{Тоді: } B_{\text{зос.}} = \frac{2840 \cdot 2}{8 \cdot 3600} = 0,2 \text{ л/с.}$$

Секундні витрати води на душові установки:

$$B_{\text{душ.}} = \sum B_{\text{max}}^3 \cdot \frac{R_3}{t_3 \cdot 3600}, \quad (4.9)$$

де $\sum B_{\text{max}}^3$ – максимальні витрати води на душові установки;

t_3 – тривалість роботи душової установки, звично 45 хв (0,75 г);

R_3 – коефіцієнт нерівномірності споживання, $R_3 = 1$.

$$\sum B_{\text{max}}^3 = 70 \cdot 30 = 2100 \text{ л.}$$

де 30 – норма витрат в л на душові установки.

$$\text{Тоді: } B_{\text{душ.}} = \frac{2100 \cdot 1}{0,75 \cdot 3600} = 0,78 \text{ л/с.}$$

Кількість води на пожежегасіння приймаємо 10 л/с, тобто передбачаємо одночасну дію струмків з двох гідрантів по 5 л/с. Таким чином:

$$B_{заг.} = 0,5(57 + 0,2 + 0,78) + 10 = 39 \text{ л/с.}$$

Діаметр трубопроводу для тимчасового водопроводу розраховуємо по формулі:

$$D = 35,69 \sqrt{\frac{B_{заг.}}{V}}, \quad (4.10)$$

де V – швидкість води, що приймається $1,5 \div 2$ м/с для великих діаметрів.

$$D = 35,69 \sqrt{39 / 2} = 157 \text{ мм.}$$

Оскільки промисловими виробниками випускаються пожежні гідранти з мінімальним діаметром приєднання 100 мм, у будівельній практиці часто вимушено приймають тимчасові трубопроводи такого самого діаметра. Проте для тимчасових мереж це є економічно та технічно недоцільним. Тому пожежні гідранти слід розташовувати на постійній водопровідній лінії, а діаметр тимчасового трубопроводу визначати розрахунковим шляхом, без урахування витрат на пожежогасіння.

З огляду на те, що розрахунковий діаметр D' перевищує необхідний D , для проектування приймаємо стандартний діаметр 157 мм (умовно 150 мм).

Електроенергія є основним енергетичним ресурсом, що використовується в процесі зведення будівель і споруд. На будівельному майданчику вона забезпечує роботу будівельних машин і механізмів, електрозварювального обладнання, живлення технологічного устаткування, а також зовнішнє та внутрішнє освітлення території.

Подача електроенергії на будівництво може здійснюватися як від існуючих стаціонарних електромереж, так і від тимчасових пересувних електростанцій. Усі споживачі електроенергії поділяються на три основні групи: обладнання для виробничих процесів, мережі зовнішнього освітлення та мережі внутрішнього освітлення тимчасових приміщень.

Потужність, необхідну для забезпечення роботи машин і механізмів (виробничих потреб), визначають за формулою [50]:

$$W_{\text{вир.}} = \sum P_{\text{вир.}} \cdot \frac{R_n}{\cos \phi}, \quad (4.11)$$

де R_n – коефіцієнт попиту;

$\cos \phi$ – коефіцієнт потужності, які визначаються з наступної таблиці 4.9;

P – встановлена потужність обладнання.

Таблиця 4.9 – Потужності машин та механізмів

Машини, механізми, інструменти	Марка	Потужність електродвигуна, кВт	R_n	$\cos \phi$	$W_{\text{вир.}}$
Баштовий кран	КБ-405	58	0,3	0,5	48
Розчинонасоси	СО-495	4,0	0,4	0,5	3,2
Віброрейка	СО-47	0,6	0,1	0,5	0,36
Верстат для різання паркетних планок	СО-70	0,6	0,1	0,4	0,15
Зварювальні апарати перемінного струму	СТЗ-24	54	0,35	0,4	47,25
Трансформатори	-	1,0	0,1	0,4	0,25
Електронавантажувач цегли	ЗКП-1000	5,6	0,6	0,7	4,8
Мулярний агрегат	СО-74А	0,27	0,7	0,8	0,235
Фарбуючий агрегат	“Салют-2”	10	0,7	0,8	8,75
Електрофарбопульт	СО-61	0,27	0,7	0,8	0,235
Компресорний пристрій	СО-7А	4	0,7	0,8	3,5
Малярна станція	СО-115	40	0,7	0,8	35
Агрегат для нанесення шпакльовки	АНШ-1-5	0,55	0,5	0,65	0,423
Машина для наклеювання направляючого рубероїду	СО-121	1,1	0,5	0,65	0,85
Машина для підігрівання, перемішування та подавання мастик на покрівлю	СО-100А	60	0,5	0,65	46,154
Електросвердло, електроточило, циркулярна пила та т.ін.	-	0,6	0,6	0,7	0,85
Паркетно-шліфувальна машина	СО-155	2,2	0,6	0,7	0,51
Машина для стругання дерев'яних підлог	СО-40	1,5	0,6	0,7	1,9
Машина, що натирає підлогу	СО-37	1,1	0,6	0,7	1,3
					Σ204,3

Сумарна потужність обладнання становить 204,3 кВт, що враховується у подальших розрахунках.

Потужність мереж зовнішнього освітлення визначають за формулою:

$$W_{з.о.} = R_n \cdot \sum P_{з.о.}, \quad (4.12)$$

де R_n – коефіцієнт попиту для зовнішнього освітлення, $R_n = 1$.

Витрати на освітлення території зведені у таблицю 4.10.

Таблиця 4.10 – Потужність для освітлення території виробництва робіт

Споживачі електроенергії	Од. виміру	Норма освітлення, кВт	Потужність, кВт
Монтування конструкцій	1000 м ³	2,4	2,4
Відкриті склади	1000 м ²	0,8	1,5
Охоронне освітлення	км	1,0	2,57
Прожектори	шт	0,5	2,0
			Σ8,47 кВт

Табличні розрахунки показують, що $W_{н.о.} = 1 \cdot 8,47 = 8,47$ кВт.

Потужність для внутрішніх освітлювальних мереж визначається за табл. 4.11.

Таблиця 4.11 – Потужність внутрішнього освітлення

Споживачі електроенергії	Кількість	Норма освітлення, кВт	Потужність, кВт
Контора виробника робіт	0,76	1,5	1,14
Гардероб з умивальником	0,68	1,5	1,02
Приміщення для вживання їжі	0,71	4,0	0,71
Душова	0,38	1,0	0,38
Приміщення для сушки одягу	0,12	1,0	0,12
Приміщення для обігрівання робітників	0,07	1,0	0,1
Вбиральні	0,14	1,0	0,14
Прохідні	0,06	1,0	0,1
Склади	0,21	1,0	0,2
Майстерні	0,63	1,3	0,8
			Σ4,71 кВт

Таким чином, $W_{m.o.} = R_n \cdot \sum P_{m.o.} = 0,8 \cdot 4,71 = 3,768$ кВт.

Загальна потреба будівництва в електроенергії визначається як сума:

- потужності силових установок для виробничих потреб,
- зовнішнього освітлення,
- внутрішнього освітлення.

$$W_{заг.} = 204,26 + 8,47 + 3,768 = 212,73 \text{ кВт.}$$

Отримане значення слугує основою для підбору трансформаторної підстанції.

Відповідно до розрахунків, приймається трансформатор ТМ-320/10, масою разом із маслом 1750 кг, що забезпечує необхідний резерв і надійність електроживлення.

4.9.3 Методика проектування будівельного генерального плану

Будівельний генеральний план є комплексним документом, що відображає рівень організації будівельного виробництва та забезпечує раціональне планування території будівельного майданчика. Основною його метою є створення безпечних та ефективних умов для виконання робіт, організації механізованих процесів, переміщення транспортних засобів, приймання та складування матеріалів, а також забезпечення майданчика ресурсами – водою, електроенергією та тимчасовими інженерними мережами [47, 50].

На будівельному генеральному плані повинні бути показані всі елементи, що забезпечують організацію будівельного процесу, а саме:

- об'єкти, що зводяться, а також існуючі будівлі в межах ділянки;
- постійні та тимчасові дороги, під'їзди, переїзди;
- монтажні механізми (зокрема баштовий кран), їхні шляхи пересування та зони дії;
- відкриті та закриті склади матеріалів, майданчики для укрупненого збирання конструкцій;

- тимчасові будівлі та споруди побутового, адміністративного та виробничого призначення;
- тимчасові та постійні мережі водопостачання, електропостачання, каналізації, зв'язку;
- освітлювальні установки та прожектори;
- пожежні гідранти та місця зберігання пожежного інвентарю;
- майданчики для відпочинку персоналу;
- огороження будівельного майданчика та небезпечних зон з позначенням в'їздів і виїздів.

Проектування дорожньої мережі будівельного майданчика. Якщо використовувати існуючу дорожню інфраструктуру неможливо (наприклад, через щільну навколишню забудову або інтенсивний рух на прилеглій міській магістралі), у проєкті передбачають улаштування тимчасових доріг. Такі дороги мають формувати єдину транспортну систему на будівельному майданчику та забезпечувати доступ до зон складування, монтажу та побутових приміщень. Вимоги до відстаней:

- від дороги до складу – 0,5–1 м;
- від дороги до підкранових колій – 12,5–15 м;
- від дороги до огорожі – не менше 1,5 м.

Ширина проїжджої частини:

- для одностороннього руху – 3–4 м;
- для двостороннього руху – 5–8 м.

Радіуси закруглення тимчасових доріг становлять 12-30 м залежно від типу транспортних засобів та габаритів конструкцій. На тупикових ділянках передбачають розворотні майданчики не менше 12×12 м. Для розвантаження транспорту біля складів облаштовують під'їзні кишені шириною не менше 3 м.

Найбільш раціонально застосовувати кільцеву схему дороги, що дозволяє оптимізувати рух техніки та уникнути перехрещення потоків.

Розташування та траєкторії руху монтажних машин визначаються згідно з технологічними картами на відповідні види робіт. Шляхи баштового крану

повинні містити: кінцеві упори, схеми заземлення, місце підключення, обмеження небезпечної зони.

Довжина колії крана має бути меншою за протяжність будівлі на величину, що забезпечує охоплення монтажем найвіддаленіших конструкцій при мінімальних витратах на улаштування підкранових шляхів.

Майданчики для укрупненого збирання конструкцій облаштовують у зоні дії крана, а їхні розміри прив'язують до габаритів елементів, що монтуються.

Організація складського господарства. Склади будівельних матеріалів розміщують таким чином, щоб скоротити транспортні маршрути та кількість перевантажувальних операцій. Це дає можливість оптимізувати логістику та зменшити тривалість будівельно-монтажних робіт. Розміщення складів:

- криті склади – на межі зони дії крана;
- відкриті склади – всередині зони дії крана;
- масові матеріали (пісок, щебінь, блоки) – рівномірно вздовж фронту робіт.

Відстань від відкритого складу до дороги повинна становити не менше 0,5 м.

Розміри майданчиків під конструкції визначаються їхніми габаритами та необхідністю забезпечити безпечні проходи для робітників [50].

Розташування тимчасових будівель та побутових приміщень. Розташування побутових та адміністративних приміщень повинно забезпечувати зручність для персоналу та відповідати санітарним нормам. Основні вимоги [47]:

- відстань до складів та пилових зон – не менше 50 м;
- від робочих місць до гардеробних, душових, умивальників – до 500 м;
- до вбиралень – не більше 100 м;
- до їдальні – до 500 м;
- до пунктів обігріву – до 150 м.

Рекомендації щодо планування:

- побутові приміщення розташовують поблизу входів на майданчик;
- не допускається розміщення таких споруд у зонах роботи кранів;

- адміністративно-побутові та виробничі приміщення встановлюють на відстані не менше 5 м одне від одного для забезпечення пожежної безпеки;
- навіси для матеріалів розташовують у зоні дії крана з можливістю під'їзду транспорту.

Тимчасові інженерні комунікації (електрика, вода, каналізація) повинні проходити по вільних ділянках плану та підключатися до постійних мереж відповідно до нормативів.

Зовнішнє освітлення встановлюють на опорах поза зоною роботи крана, а робочі місця обладнують переносними світильниками.

Пожежні гідранти повинні розташовуватися вздовж постійного водогону, забезпечуючи доступність не далі ніж 9 м від дороги.

Організація небезпечних зон та огорожень. Небезпечні зони будівництва визначають з урахуванням висоти робіт і вильоту стріли крана; їх розміри повинні перевищувати максимальний виліт мінімум на 5 м. Усі небезпечні ділянки та будівельний майданчик у цілому огорожують на відстані мінімум 2 м від доріг і складів. На огорожі влаштовують ворота з чіткими позначками «В'їзд» і «Виїзд».

Висновки до розділу 4

У розділі розроблено архітектурні, об'ємно-планувальні та архітектурно-конструктивні рішення торгово-розважального центру в с. Агрономічне Вінницької області. Будівля має габарити $38,5 \times 18,0$ м, два поверхи, висоту поверхів по 4,0 м та загальну висоту 13,4 м.

Виконано вертикальне планування території, обґрунтовано об'ємно-планувальну схему, підібрано конструктивну систему з монолітними бутобетонними фундаментами, залізобетонним каркасом та комбінованим дахом. Зовнішні стіни з утепленням мінеральною ватою забезпечують фактичний опір теплопередачі $R_{\phi}=4,86 \text{ м}^2 \cdot \text{К}/\text{Вт}$.

Комплекс інженерних систем, архітектурно-художні рішення фасадів та інтер'єрів, а також організація евакуації відповідають вимогам чинних будівельних норм і забезпечують безпечну, комфортну та енергоефективну експлуатацію торгово-розважального центру.

У межах організації будівельного виробництва виконано розрахунок календарного графіка виконання робіт, визначено тривалість і послідовність технологічних процесів, а також розроблено будівельний генеральний план. На основі технологічних потреб підібрано основні машини, механізми та інструменти. Рішення, прийняті в розділі, забезпечують раціональне використання території будівельного майданчика, безпечне виконання робіт та ефективну організацію будівельного виробництва.

РОЗДІЛ 5

ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА

5.1 Кошторисна вартість

На основі проведених наукових досліджень в попередніх розділах виконуємо техніко-економічне порівняння декількох варіантів влаштування вікон [31, 32, 51-53]:

1 варіант – Framex 58 Сталеve армування. Склопакет 24 мм (Low-E + Ar);

2 варіант – Framex 58 Композитне армування. Склопакет 32 мм (Low-E + Ar);

3 варіант – Framex 80 Композитне армування. Склопакет 44 мм (Low-E + Ar).

Розрахунки проводимо на вікно розміром 450×950 мм, площею 0,4275м².

Локальні кошторисні розрахунки влаштування вікон виконуємо за допомогою програмного комплексу Будівельні Технології (таблиця 5.1-5.3).

Для розрахунку вартості робіт дотримувалися вимог КНУ «Настанови з визначення вартості будівництва».

Кошторисна вартість влаштування конструкцій враховує трудовитрати та заробітна плата будівельників та машиністів, кількість та вартість матеріальних ресурсів, експлуатації будівельних машин та механізмів. Кошторисна вартість влаштування конструкцій визначається як сума прямих та загальновиробничих витрат.

Прямі витрати (ПВ) враховують в своєму складі заробітну плату робочих, вартість експлуатації будівельних машин та механізмів, вартість матеріалів, виробів та конструкцій.

Загальновиробничі витрати (ЗВВ) – це витрати будівельно-монтажної організації, які входять у виробничу собівартість будівельно-монтажних робіт. Усі затрати, які відносяться до ЗВВ, згруповані в три групи.

торгово-розважальний центр

(найменування об'єкта будівництва)

Таблиця 5.1 – Локальний кошторисний розрахунок на будівельні роботи № 02-006-001

на **варіант 1. вікна**

(найменування робіт та витрат, найменування будівлі, споруди, лінійного об'єкта інженерно-транспортної інфраструктури)

ОСНОВА:
креслення(специфікації)№

Кошторисна вартість 1.907 тис. грн.
Кошторисна трудомісткість 0.00095 тис. люд.-год
Кошторисна заробітна плата 0.077 тис. грн.
Середній розряд робіт 4.1 розряд

Складений в поточних цінах станом на 2025р.

№ Ч.ч.	Обґрунтування (шифр норми)	Найменування робіт і витрат	Одиниця виміру	Кількість	Вартість одиниці, грн.		Загальна вартість, грн.			Витрати труда робітників, люд.год. не зайнятих обслуговуванням машин	
					Всього	експлуатації машин	Всього	заробітної плати	експлуатації машин	тих, що обслуговують машини	
										заробітної плати	в тому числі заробітної плати
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	КБ10-20-1	Заповнення віконних прорізів готовими блоками площею до 1 м2 з металопластику в кам'яних стінах житлових і громадських будівель	100 м2 прорізів	0.004275	15645.95	1049.42	67	62	4	191.3300	0.82
2	П2016-2245	Блоки віконні металопластикові Framex 58 Сталеve армування. Склопакет 24 мм	м2	0.4275	4219.298		1804				
		Разом прямих витрат по кошторису					1871	62	4		0.82
									3		0.03
		Разом прямі витрати				грн.	1871				
		в тому числі:									
		вартість матеріалів, виробів і комплектів				грн.	1805				
		вартість ЕММ				грн.	4				
		в т.ч. заробітна плата в ЕММ				грн.		3			
		заробітна плата робітників				грн.		62			
		всього заробітна плата				грн.		65			
		Загальновиробничі витрати				грн.	36				
		трудоємність в загальновиробничих витратах				люд-г					0.10
		заробітна плата в загальновиробничих витратах				грн.		12			

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
		Всього по кошторису				грн.	1907				
		Кошторисна трудомісткість				люд-г					0.95
		Кошторисна заробітна плата				грн.		77			

Керівник
проектної
організації

[посада, підпис (ініціали, прізвище)]

Склав

[посада, підпис (ініціали, прізвище)]

Прийняв

[посада, підпис (ініціали, прізвище)]

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	КБ10-20-1	Заповнення віконних прорізів готовими блоками площею до 1 м2 з металопластику в кам'яних стінах житлових і громадських будівель	100 м2 прорізів	0.004275	15645.95	1049.42	67	62	4	191.3300	0.82
2	П2016-2245	Framex 58 Композитне армування. Склопакет 32 мм	м2	0.4275	5625.73		2405				
Разом прямих витрат по кошторису							2472	62	4		0.82
									3		0.03
Разом прямі витрати						грн.	2472				
в тому числі:											
вартість матеріалів, виробів і комплектів						грн.	2406				
вартість ЕММ						грн.	4				
в т.ч. заробітна плата в ЕММ						грн.		3			
заробітна плата робітників						грн.		62			
всього заробітна плата						грн.		65			
Загальновиробничі витрати						грн.	36				
трудоємність в загальновиробничих витратах						люд-г					0.10
заробітна плата в загальновиробничих витратах						грн.		12			

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
		Всього по кошторису				грн.	2508				
		Кошторисна трудомісткість				люод-г					0.95
		Кошторисна заробітна плата				грн.		77			

Керівник
проектної
організації

[посада, підпис (ініціали, прізвище)]

Склав

[посада, підпис (ініціали, прізвище)]

Прийняв

[посада, підпис (ініціали, прізвище)]

торгово-розважальний центр

(найменування об'єкта будівництва)

Таблиця 5.3 - Локальний кошторисний розрахунок на будівельні роботи № 02-006-003

на **варіант 3. вікна**
(найменування робіт та витрат, найменування будівлі, споруди, лінійного об'єкта інженерно-транспортної інфраструктури)

ОСНОВА:
креслення(специфікації)№

Кошторисна вартість 3.410 тис. грн.
Кошторисна трудомісткість 0.00095 тис. люд.-год
Кошторисна заробітна плата 0.077 тис. грн.
Середній розряд робіт 4.1 розряд

Складений в поточних цінах станом на 2025 р.

№ Ч.ч.	Обґрунтування (шифр норми)	Найменування робіт і витрат	Одиниця виміру	Кількість	Вартість одиниці, грн.		Загальна вартість, грн.			Витрати труда робітників, люд.год. не зайнятих обслуговуванням машин	
					Всього	експлуатації машин	Всього	заробітної плати	експлуатації машин	тих, що обслуговують машини	
										заробітної плати	в тому числі заробітної плати
					6	7	8	9	10		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12

Будівельні Технології: Кошторис 8.6 Онлайн

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
1	КБ10-20-1	Заповнення віконних прорізів готовими блоками площею до 1 м2 з металопластику в кам'яних стінах житлових і громадських будівель	100 м2 прорізів	0.004275	15645.95	1049.42	67	62	4	191.3300	0.82	
2	П2016-2245	Framex 80 Композитне армування. Склопакет 44 мм	м2	0.4275	7735.38		3307					
		Разом прямих витрат по кошторису						3374	62	4		0.82
										3		0.03
		Разом прямі витрати					грн.	3374				
		в тому числі:										
		вартість матеріалів, виробів і комплектів					грн.	3308				
		вартість ЕММ					грн.	4				
		в т.ч. заробітна плата в ЕММ					грн.		3			
		заробітна плата робітників					грн.		62			
		всього заробітна плата					грн.		65			
		Загальновиробничі витрати					грн.	36				
		трудоємність в загальновиробничих витратах					люд-г					0.10
		заробітна плата в загальновиробничих витратах					грн.		12			

Будівельні Технології: Кошторис 8.6 Онлайн

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
		Всього по кошторису				грн.	3410				
		Кошторисна трудомісткість				люд-г					0.95
		Кошторисна заробітна плата				грн.		77			

Керівник
проектної
організації

[посада, підпис (ініціали, прізвище)]

Склав

[посада, підпис (ініціали, прізвище)]

Прийняв

[посада, підпис (ініціали, прізвище)]

За результати підрахунку кошторисної вартості (K_B) влаштування різних варіантів вікон:

- Варіант1 – 4219,298 тис. грн.
- Варіант 2– 5625,73 тис. грн.
- Варіант 3 – 7735,38 тис. грн.

За кошторисною вартістю Варіант3 дорожчий.

5.2 Приведені витрати з урахування енергетичних витрат

Врахуємо значення таблиці 5.3 для розрахунку загальних приведених витрат, розрахованих на термін експлуатації вікон 40 років.

Річні витрати на тепловтрати (на 1 м²) розраховуємо на основі середніх значень Q з таблиці 3.3.

Варіант 1. $Q = 310 \text{ кВт} \cdot \text{год} / \text{м}^2 \cdot \text{рік}$

Витрати: $310 \times 4,32 = 1339 \text{ грн} / \text{м}^2 \cdot \text{рік}$

Варіант 2. $Q = 250 \text{ кВт} \cdot \text{год} / \text{м}^2 \cdot \text{рік}$

Витрати: $250 \times 4,32 = 1080 \text{ грн} / \text{м}^2 \cdot \text{рік}$

Варіант 3. $Q = 165 \text{ кВт} \cdot \text{год} / \text{м}^2 \cdot \text{рік}$

Витрати: $165 \times 4,32 = 713 \text{ грн} / \text{м}^2 \cdot \text{рік}$

Річна економія енергії:

Варіант 3 – Варіант 1 = 626 грн |

Варіант 3 – Варіант 2 = 367 грн

Додаткові капітальні витрати:

Варіант 3 – Варіант 1 = 3410 – 1907 = 1503 грн

Варіант 3 – Варіант 2 = 3410 – 2508 = 902 грн

Термін простої окупності:

Варіант 3 / Варіант 1 = 1503 / 626 = 2,4 року

Варіант 3 / Варіант 2 = 902 / 367 = 2,5 року

В таблиці 5.4 наведені приведені витрати, розраховані за формулою [52]:

$$\Pi_i = C_i + E_H \times K_B \quad (5.1)$$

Таблиця 5.4 – Загальні приведені витрати терміном на 40 років

Варіант	Енергетичні витрати за 40 років, С, грн/м ²	Загальні витрати, грн/м ²
1	53 560	55 467
2	43 200	45 708
3	28 520	31 930

Економія Варіанту 3

- по відношенню до Варіант 1 23 500 грн/м².
- по відношенню до Варіант 2 13 800 грн/м².

Висновки до розділу 5

В даному розділі виконано техніко-економічне порівняння влаштування вікон. Для трьох варіантів розроблений локальний кошторис за допомогою програмного комплексу Будівельні Технології. В кошторисних документах визначена кошторисна вартість виконання робіт, з урахуванням заробітної плати, вартості матеріалів, вартості експлуатації машин та трудовитрат.

1 варіант – Framex 58 Сталеve армування. Склопакет 24 мм (Low-E + Ar) -4219,298 тис. грн.;

2 варіант – Framex 58 Композитне армування. Склопакет 32 мм (Low-E + Ar) – 5625,73 тис. грн.;

3 варіант – Framex 80 Композитне армування. Склопакет 44 мм (Low-E + Ar) – 7735,38 тис. грн.

За кошторисною вартістю Варіант 3 дорожче інших

За приведеними витратами з урахування енергетичних витрат, Варіант 3 Framex 80 Композитне армування.склопакет 44 мм економічно обгрунтований.

ВИСНОВКИ

У межах виконання магістерської кваліфікаційної роботи здійснено комплексне дослідження теплотехнічного стану конструкцій підлог цивільних будівель та визначено раціональні конструктивні рішення щодо підвищення енергоефективності в умовах I температурної зони України (м. Вінниця).

1. Проведений аналіз літературних джерел та чинних норм підтвердив, що конструкції підлог по ґрунту формують до 18–28 % загальних тепловтрат будівлі, а мінімальна температура внутрішньої поверхні підлоги в неоптимізованих конструкціях може знижуватися до +12...+15 °С при температурі повітря +20 °С, що не відповідає вимогам ДБН В.2.6-31:2021 щодо відсутності конденсатоутворення.

2. Під час натурального експерименту встановлено, що в зоні стику «стіна – підлога – ґрунт» температура поверхні зменшується на 2,5–4,0 °С порівняно з центральною частиною підлоги, а тепловий потік у напрямку ґрунту досягає 9–12 Вт/м² при зовнішній температурі –15 °С. Виявлено характерні зони теплових містків, шириною 0,25–0,40 м від зовнішнього контуру стіни.

3. Результати числового моделювання показали, що без утеплення модуль теплового потоку в підлозі зростає до 14–18 Вт/м², а температура внутрішньої поверхні в окремих зонах знижується до +10...+12 °С, що може створювати дискомфорт користувачам і ризики зволоження конструкції.

Моделювання проводилося для глибини промерзання ґрунту 0,90 м, теплопровідності ґрунту $\lambda = 1,3$ Вт/(м·°С), бетонної плити $\lambda = 1,75$ Вт/(м·°С) та ізоляції з XPS $\lambda = 0,032$ Вт/(м·°С).

4. Техніко-експериментальне порівняння різних варіантів утеплення показало:

- горизонтальне утеплення товщиною 50-100 мм під стяжкою зменшує тепловтрати на 27-34%, підвищуючи температуру поверхні підлоги на 1,8-2,5°С;

- вертикальне утеплення фундаменту товщиною 50-80 мм знижує теплові потоки вздовж периметру на 35-42% і підвищує температуру поверхні стику на 3,0-3,7°C;

- комбінована система утеплення (горизонтальна + вертикальна) забезпечує сумарне зменшення тепловтрат конструкції на 40-55% та стабілізацію температури поверхні підлоги в межах +17...+19 °С за умов зовнішньої температури -20 °С.

5. Встановлено, що підвищення енергоефективності підлоги зменшує питоме теплове навантаження на систему опалення на 9-14 %, що відповідає економії теплової енергії приблизно 12-18 кВт·год на 1 м² за опалювальний сезон (≈180 діб).

6. На основі отриманих результатів сформовано оптимальну конструкцію підлоги, яка включає:

- бетонну плиту 100-120 мм;
- армовану стяжку 50 мм;
- комбіновану систему утеплення (горизонтальна теплоізоляція товщиною 100 мм, шириною смуги 1,5 м та вертикальна – 60–80 мм), утеплювач – екструдований пінополістирол 80–100 мм;
- пароізоляцію із поліетиленової плівки;
- піщану підготовку 100 мм.

Така конструкція забезпечує мінімальний температурний градієнт і відсутність зон переохолодження.

7. У технічній частині виконано комплекс рішень генерального плану, архітектурно-будівельних та організаційно-технологічних рішень, що забезпечують зведення дев'ятиповерхового житлового будинку з підземною частиною. Будівля має Г-подібну форму, габаритні розміри 28,64×42,89 м, каркасно-монолітну конструктивну схему, плоску покрівлю з внутрішнім водовідведенням. Розраховано тривалість будівництва – 308 діб при директивному терміні 330 діб, максимальну чисельність робітників – 24 особи, середню – 11 осіб. На основі технічного аналізу сформовано будівельний

генеральний план, що включає тимчасові споруди площею понад 130 м², відкриті склади – 307 м², закритий склад – 60 м², транспортні та монтажні зони.

8. Економічні розрахунки підтвердили доцільність вибору екструдованого пінополістиролу XPS як основного утеплювача для підлог по ґрунту та над неопалювальними підвалами. Термін окупності прийнятих рішень по утепленню становить 3–4 роки. Загальна кошторисна вартість робіт становить 4671,585 тис. грн, а повна кошторисна вартість за зведеним розрахунком – 8958,264 тис. грн.

Таким чином, запропоноване рішення забезпечує нормативну теплотехнічну роботу конструкції, підвищення енергоефективності будівлі та економічну доцільність упродовж експлуатації.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Осаулко Р.С., Христич О.В. Енергоефективні рішення для металопластикових вікон і фасадів у сучасному цивільному будівництві. Матеріали Міжнародної науково-технічної конференції «Енергоефективність в галузях економіки України-2025», Вінниця, Вінницький національний технічний університет, 19.11.2025 – 21.11.2025 р. URL: <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/egeu/egeu2025/paper/viewFile/26294/21691>
2. ДБН В.2.6-31:2021. Теплова ізоляція та енергоефективність будівель. [Чинний з 2022-01-01]. Київ: Мінрегіон України, 2021. 108 с.
3. ДСТУ EN ISO 10077-1:2022 Теплотехнічні властивості вікон, дверей і жалюзі. Розрахунок коефіцієнта теплопередачі. Частина 1. Загальні умови (EN ISO 10077-1:2017, IDT; ISO 10077-1:2017, Corrected version 2020-02, IDT). URL: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=98252
4. ISO 10077-1:2017 Thermal performance of windows, doors and shutters – Calculation of thermal transmittance. URL: <https://www.iso.org/standard/67090.html>
5. Energy Performance of Buildings Directive. URL: https://energy.ec.europa.eu/topics/energy-efficiency/energy-performance-buildings/energy-performance-buildings-directive_en
6. Nearly-zero energy and zero-emission buildings. URL: https://energy.ec.europa.eu/topics/energy-efficiency/energy-performance-buildings/nearly-zero-energy-and-zero-emission-buildings_en
7. ДСТУ EN 673:2009 Скло будівельне. Методика визначення коефіцієнта теплопередавання багатошарових конструкцій (EN 673:1997, IDT). URL: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page?id_doc=59685
8. INTERNATIONAL STANDARD ISO 10077-2. URL: <https://cdn.standards.iteh.ai/samples/64995/9230537d19e742a981d750afde502240/ISO-10077-2-2017.pdf>
9. Басок, Б. І., Недбайло, О. М., Божко, І. К., Мартинєв, В. О. Підвищення теплотехнічної ефективності двокамерних вентилязованих світлопрозорих

огороджувальних конструкцій // Енергетичний менеджмент: стан та перспективи розвитку – PEMS'22: Збірник матеріалів конференції (15-17 листопада 2022 р.)/ за ред. О. М. Недбайла. Київ: НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського», 2022. С. 29-30.

URL: <https://iee.kpi.ua/wp-content/uploads/2024/02/Збірник-матеріалів-конференції-PEMS-2022.pdf>

10. Ратушняк Г. С., Панкевич В. В., Панкевич О. Д., Гуменчук А. Є. Модель вибору віконних конструкцій для проектування будівель з урахуванням безпекової ситуації. Вісник Вінницького політехнічного інституту. 2025. № 3. С. 17-25. DOI: 10.31649/1997-9266-2025-180-3-17-25. URL:

<https://visnyk.vntu.edu.ua/index.php/visnyk/article/view/3256>

11. Ратушняк Г. С., Панкевич О. Д., Панкевич В. В. Оцінювання енергоефективності світлопрозорих огороджувальних конструкцій будівель. Сучасні технології, матеріали і конструкції в будівництві. 2021. Т. 31, №. 2, С. 81-87. DOI: <https://doi.org/10.31649/2311-1429-2021-2-81-87>.

12. Фаренюк Є. Г. Тепловий режим світлопрозорих огороджувальних онструкцій сучасних багатоповерхових будівель : дис. ... канд. техн. наук : 05.23.01. Захищена 16.10.15. Рівне, 2015. 178 с.

13. Chowdhary A. K., Sikdar D. Design of electro-tunable all-weather smart windows. Solar energy materials and solar cells. 2021. Vol. 222. P. 110921. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.solmat.2020.110921>

14. Енергоефективні технології в будівництві: сучасні рішення для енергозбереження. URL: <https://credo-development.com.ua/energoefektyvni-tehnologiyi-v-budivnyctvi-suchasni-rishennya-dlya-energozberezhennya/>

15. Bian Wang, Mangwei Cui, Yanfeng Gao, Fuyi Jiang, Wei Du, Feng Gao, Litao Kang, Chunyi Zhi, Hongjie Luo A Long-Life Battery-Type Electrochromic Window with Remarkable. Energy Storage Ability. SOLAR RRL. 2019. Vol. 4. DOI: <https://doi.org/10.1002/solr.201900425>

16. Carlos E. Ochoa, Myriam B. C. Aries, Evert J. van Loenen, Jan L. M. Hensen Considerations on design optimization criteria for windows providing low

energy consumption and high visual comfort. Applied Energy. 2012. Vol. 95. Pp. 238-245. DOI:<https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2012.02.042>.

17. Ратушняк Г. С., Панкевич. О. Д., Панкевич В. В. Теплотехнічні особливості світлопрозорих огорожувальних конструкцій будівель. Сучасні технології, матеріали і конструкції в будівництві. 2021. Т. 30, № 1. С. 148-156. DOI: <https://doi.org/10.31649/2311-1429-2021-1-148-156>

18. ДБН В.1.2-14:2018. Система забезпечення надійності та безпеки будівельних об'єктів. Загальні принципи забезпечення надійності та конструктивної безпеки будівель і споруд. Зі Зміною № 1. [Чинний з 2022-09-01]. Київ: Мінрегіон України, 2018. 41 с.

19. ДСТУ Б В.2.6-145:2010. Конструкції будинків і споруд. Вікна та двері з полівінілхлоридних профілів. Загальні технічні умови. [Чинний з 2011-07-01]. К.: Мінрегіонбуд України, 2010. 48 с.

20. Панкевич О. Д., Миколаєнко В. В., Панкевич В. В. Вплив конструктивних рішень вузлових з'єднань (місць примикання конструкцій) на енергоефективність будівлі. Сучасні технології, матеріали і конструкції в будівництві. 2020. Т. 27, № 2. С. 20-29. DOI: <https://doi.org/10.31649/2311-1429-2019-2-20-29>.

21. Криворучко, С. В. Аналіз та практичне застосування енергоактивних віконних конструкцій : магістерська дис. : 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» / Криворучко Станіслав Володимирович. Київ, 2023. 86 с.

22. Енергоефективність: як позбутися тепловтрат для металопластикових вікон. URL: <https://veka.ua/ua/spravochnik/articles/windows/energoefektivnist-yak-pozbutisya-teplovtrat-dlya-metaloplastikovikh-vikon/>

23. Burmaka V., Tarasenko M., Kozaka K., Burmaka O., Sabat N. Energy efficiency of modernization of translucent building envelope structures. Energy Engineering and Control Systems. 2021. Vol. 7, No. 2.P. 87–94. URL: <https://ena.lpnu.ua:8443/server/api/core/bitstreams/c1384035-92f0-4e84-aac6-1ea19d400ef1/content>

24. Badeche Mounira, Yasmina Bouchahm. The energy savings potential of windows in the office buildings sector: State of the art. URL: https://www.researchgate.net/publication/323840226_The_energy_savings_potential_of_windows_in_the_office_buildings_sector_State_of_the_art
25. Y. Fang. T.J. Hyde. F. Arya. N. Hewitt. R. Wang. Y. Dai. Enhancing the thermal performance of triple vacuum glazing with low-emittance coatings. Energy and Buildings. №97. 2015. P. 186-195.
26. R. Yin. P. Xu. P. Shen. Case study: Energy savings from solar window film in two commercial buildings in Shanghai. Energy and Buildings. 45. 2012. P. 132-140.
27. J. Wang. Q. Du. C. Zhang. X. Xu. Energy performance of triple glazed window with built-in venetian blinds by utilizing forced ventilated airflow. Procedia Engineering. №205. 2017. P. 3993-4000.
28. M. Arıcı. M. Kan. An investigation of flow and conjugate heat transfer in multiple pane windows with respect to gap width, emissivity and gas filling. Renewable Energy. №75. 2015. P. 249-256.
29. C. Buratti. E. Moretti. Experimental performance evaluation of aerogel glazing systems. Applied Energy. №97. 2012. P. 430-437.
30. D. Li. Z. Li. Y. Zheng. C. Liu. A.K. Hussein. X. Liu. Thermal performance of a PCM-filled double-glazing unit with different thermophysical parameters of PCM. Solar energy. №133. 2016. P. 207-220.
31. ПВХ Віконні системи. URL: <https://framex.ua/property/framex-f71-door/>
32. Фабрика Комфорту. URL: <https://fabkom.com.ua/>
33. ДСТУ EN ISO 10077-2:2022. Теплотехнічні властивості вікон, дверей і жалюзі. Розрахунок коефіцієнта теплопередачі. Частина 2. Чисельні методи розрахунку для віконних рам. URL: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=98253
34. Thomas J. R. Hughes. The finite element method: linear static and dynamic finite element analysis. New York : Dover Publications, 2000. 704 с.

35. ДСТУ-Н Б В.2.6-146:2010. Конструкції будинків і споруд. Настанова щодо проектування й улаштування вікон та дверей. URL: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=26934
36. Пояснювальна записка до генерального плану села Агрономічне Вінницького району Вінницької області. Офіційний сайт Агрономічної сільської ради, 2023. URL: <https://agronomichna-gromada.gov.ua/generalnij-plan-09-45-01-28-07-2021/>
37. ДСТУ-Н Б В.1.1-27:2010. Будівельна кліматологія. [Чинний від 2011-11-01]. Вид. офіц. Київ : Мінрегіонбуд України, 2011. 123 с.
38. ДБН 2.2-12:2019. Планування і забудова територій. [Чинний від 2019-10-01]. Вид. офіц. Київ : Мінрегіон України, 2019. 185 с.
39. ДБН В.2.3-5-2018. Вулиці та дороги населених пунктів. [Чинний від 01-09-2018]. Вид. офіц. Київ : Міністерство регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України, 2018. 61 с.
40. ДБН Б.2.2-5:2011. Благоустрій територій. [Чинний від 2012-09-01]. Вид. офіц. Київ : Мінрегіонбуд України, 2012. 64 с.
41. ДБН В.2.2-9:2018. Будинки і споруди. Громадські будинки та споруди. Основні положення. [Чинний від 01.06.2019]. Київ : Мінрегіонбуд України, 2019. 49 с.
42. ДБН В.1.1-7-2016. Пожежна безпека об'єктів будівництва. [Чинний від 2016-10-31]. Вид. офіц. Київ : Міністерство регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України, 2016. 39 с.
43. ДБН В.2.2-40:2018. Інклюзивність будівель і споруд. Основні положення. [Чинний від 01.04.2019]. Київ: Міністерство регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України, 2019. 68 с.
44. ДБН В.2.2-5:2023. Захисні споруди цивільного захисту. [Чинний від 2023-01-11]. Вид. офіц. Київ : Міністерство розвитку громад, територій та інфраструктури України, 2023. 123 с.
45. ДБН В.2.5-23:2010. Інженерне обладнання будинків і споруд. Проектування електрообладнання об'єктів цивільного призначення. [Чинний від

01.10.2010]. Київ: Мінрегіонбуд України, 2010. 169 с. (Державні будівельні норми).

46. ДБН В.2.5-74:2013. Водопостачання зовнішні мережі та споруди. Основні положення проектування. [Чинний від 01.01.2014]. Київ: Міністерство регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України, 2013. 180 с.

47. ДБН А.3.1-5:2016. Організація будівельного виробництва. URL: https://e-construction.gov.ua/laws_detail/3113373519350597353

48. ДБН А.3.2-2-2009. ССБП. Охорона праці і промислова безпека у будівництві. Основні положення. [Чинний від 2009-01-27]. Вид. офіц. К. : Мінрегіонбуд України, 2009. 116 с.

49. ДСТУ Б В.2.5-82:2016. Електробезпека в будівлях і спорудах. Вимоги до захисних заходів від ураження електричним струмом. [Чинний від 2017-04-01]. Вид. офіц. К. : ДП «УкрНДНЦ», 2016. 109 с.

50. Білецький А. А., Клімов С. В., Ольховик О. І., Рошик І. А. Організація і технологія будівельних робіт. Практикум : навч. посібник. Рівне : НУВГП, 2019. 93 с.

51. ДСТУ Б Д 1.1.1-2013. Правила визначення вартості будівництва. [Чинний від 2014-01-01]. Вид. офіц. Київ : Мінрегіон України, 2014. 97 с

52. Лялюк О.Г., Маєвська І.В. Техніко-економічне обґрунтування та економічні розрахунки в дипломних проектах будівельних спеціальностей : навчальний посібник. Вінниця : ВДТУ, 2003. 84 с.

53. Вимоги до енергоефективності вікон. Економічний аспект. Вивчаємо досвід Польщі. URL: <https://wt.com.ua/biblioteka/stati/1073-vimogi-do-energoefektivnosti-vikon-ekonomichnij-aspekt-vivchaemo-dosvid-polshchi.html>

ДОДАТКИ

Додаток А

ПРОТОКОЛ ПЕРЕВІРКИ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ

Назва роботи: Підвищення енергоефективності та конструктивної стійкості металопластикових світлопрозорих систем для цивільного будівництва

Тип роботи: Магістерська кваліфікаційна робота

(бакалаврська кваліфікаційна робота / магістерська кваліфікаційна робота)

Підрозділ БМГА, ФБЦЕІ, гр. 1Б-24м

(кафедра, факультет, навчальна група)

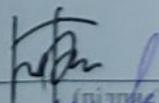
Коефіцієнт подібності текстових запозичень, виявлених у роботі системою StrikePlagiarism (КПІ) 5,51 %

Висновок щодо перевірки кваліфікаційної роботи (відмітити потрібне)

- Запозичення, виявлені у роботі, є законними і не містять ознак академічного плагіату, фабрикації, фальсифікації. Роботу прийняти до захисту
- У роботі не виявлено ознак плагіату, фабрикації, фальсифікації, але надмірна кількість текстових запозичень та/або наявність типових розрахунків не дозволяють прийняти рішення про оригінальність та самостійність її виконання. Роботу направити на доопрацювання.
- У роботі виявлено ознаки академічного плагіату та/або в ній містяться навмисні спотворення тексту, що вказують на спроби приховування недобросовісних запозичень. Робота до захисту не приймається.

Експертна комісія:

Бікс Ю.С., доцент кафедри БМГА
(прізвище, ініціали, посада)


(підпис)

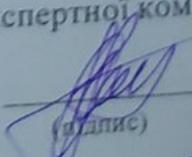
Швець В.В., завідувач кафедри БМГА
(прізвище, ініціали, посада)


(підпис)

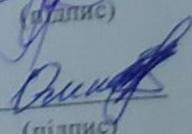
Особа, відповідальна за перевірку 
(підпис)

Блащук Н.В.
(прізвище, ініціали)

З висновком експертної комісії ознайомлений(-на)

Керівник 
(підпис)

Христич О.В., доцент кафедри БМГА
(прізвище, ініціали, посада)

Здобувач 
(підпис)

Осаулко Р.С.
(прізвище, ініціали)

Додаток Б

Картка визначник для побудови сіткової моделі будівництва об'єкту

№ з/п	Пункти локального кошторису	Код роботи	Найменування робіт	Об'єми робіт		Нормативні працевитрати		Планові працевитрати		Склад бригад	Кількість змін	Тривалість, днів
				Од. вим	К-ть	маш-змін	люд-змін	маш-змін	люд-змін			
1	1	1-2	Зрізання рослинного шару бульдозером	1000 м ²	4,12	7,7	-	7,0	-	1	7	7
2	2	2-3	Розробка ґрунту екскаватором у котловані	1000м ³	8,719	37,6		33		1	1	33
3	3,4,5,6,7,8,9,10	3-5	Розробка ґрунту вручну, монтаж фундаментів під колони, монтаж фундаментальних плит і блоків. Гідроізоляція стін фундаментних	м ³	53	-	310,8	-	276	6	2	23
				100шт	0,31							
				100шт	9,38							
4	11,12	3-4	Зворотня засипка пазух і ущільнення ґрунту	100 м ³	0,111	0,83	2,84	-	3,0	2	1	1,5
5	15	5-7	Монтаж колон у стакани фундаментів	100 шт	0,31	-	24	-	24	6	1	4
6	13,14,16,17,18,19,21,23,24	7-8	Мурування стін і перегородок, монтаж перемичок монтаж конструкцій сходової клітки на I пов	м ³	468	-	1008,9	-	888,0	12	2	37
7	29,30,31	8-9	Установлення опалубки, монтаж арматурних каркасів і сіток, укладання бетону на I пов	100 м ³	20,33	-	1695,1	-	1464	12	2	61
8	13,14,16,17,18,19,21,23,24	9-10	Мурування стін і перегородок, монтаж перемичок монтаж конструкцій сходової клітки на II пов	м ³	484	-	1008,9	-	888	12	2	37
10	29,30,31	11-12	Установлення опалубки, монтаж арматурних каркасів і сіток, укладання бетону на II пов	м ³	484		1008,9		888	12	2	37
9		10-11	Улаштування монолітного перекреття II поверху	100 м ³	20,33	-	1695,1		1464	12	2	61

11	32	12-13	Монтаж панелей покриття	шт	637	-	139,2		132	6	2	11
12	35,36,37,38,39, 40,41,42,43,44	13-17	Улаштування плоскої утепленої покрівлі	100 м ²	45,88	-	1603,7	-	1392,00	12	1	116
13	45,46,47,48	13-15	Улаштування елементів заповнення дверних і віконних прорізів готовими блоками	100 м ²	0,784	-	122,3	-	120	10	1	12
				100 м ²	1,264							
14	49,50,51,52,53	11-19	Штукатурка внутрішніх поперхонь стін і стелі, шпаклювання стін і стелі, фарбування внутрішнє	100 м ²	39,13	-	3364,7	-	3040	16	1	190
				100 м ²	176,3							
15	67,68,72,74	17-22	Зовнішнє оздоблення і утеплення фасаду	100 м ²	211,2	-	2618,8	-	22560	16	1	160
16	54,55,56	12-16	Улаштування конструкцій підлог	100 м ²	89,88	-	859,4	-	840	12	1	70
17	57,58	18-20	Улаштування виможення	100 м ²	3,46		107,2		96	8	1	12
18		12-14	I етап спец робіт	Люд- змін			190		190	10	1	19
19		19-21	II етап внутрішніх спец робіт	Люд- змін			80		80	8	1	10
20		16-18	Благоустрій території	Люд- змін			160		160	10	1	16
21		22-23	Здача об'єкту				48		48	6	1	8

Додаток В

Відомість графічної частини МКР

Аркуш	Найменування	Примітки
1	Актуальність дослідження. Мета роботи. Завдання дослідження. Об'єкт дослідження. Предмет дослідження. Новизна. Сучасні рішення світлопрозорих систем	
2	Теоретичні та аналітичні основи енергоефективних світлопрозорих систем	
3	Теоретичні та аналітичні основи енергоефективних світлопрозорих систем (продовження)	
4	Аналітичні та числові дослідження енергоефективності світлопрозорих систем	
5	Аналітичні та числові дослідження енергоефективності світлопрозорих систем (продовження)	
6	Узагальнення результатів дослідження	
7	Узагальнення результатів дослідження (продовження)	
8	Генеральний план будівництва, умовні позначення, ТЕП	
9	План 1 поверху, план 2 поверху, експлікації	
10	План фундаментів, план перекриття	
11	План покрівлі, план несучих елементів даху	
12	План підвалу, розрізи 1-1, 2-2	
13	Фасад 1-11, 11-1, візуалізація, паспорт опорядження фасадів	
14	Календарний графік виконання робіт	
15	Будівельний генеральний план	

Актуальність теми. Актуальність теми. Актуальність роботи визначається необхідністю зниження енергоспоживання будівель, підвищенням вимог до теплозахисних характеристик світлопрозорих систем, посиленням нормативів щодо екологічності та енергоефективності, а також потребою у забезпеченні механічної стійкості профільних конструкцій в умовах зростання вітрових навантажень та збільшення загроз. Особливої актуальності набуває питання оптимізації монтажного вузла, який у масовому будівництві є джерелом до 30 % додаткових тепловтрат.

Мета роботи. Підвищення енергоефективності та конструктивної стійкості металопластикових світлопрозорих систем шляхом аналізу сучасних технічних рішень, виявлення основних проблем експлуатації, моделювання теплових і механічних процесів та розроблення рекомендацій щодо оптимізації конструкції та монтажу віконних блоків.

Завдання дослідження:

1. Проаналізувати сучасний стан та тенденції розвитку металопластикових світлопрозорих систем.
2. Дослідити теплотехнічні характеристики профілю, склопакетів та монтажного вузла.
3. Оцінити конструктивну стійкість профільних елементів під дією вітрових і температурних навантажень.
4. Визначити основні дефекти монтажу та експлуатації, що знижують енергоефективність.
5. Виконати моделювання теплових полів та напружено-деформованого стану віконних систем.
6. Розробити практичні рекомендації щодо підвищення ефективності світлопрозорих конструкцій.

Об’єкт дослідження. Металопластикові світлопрозорі системи, що застосовуються у цивільному будівництві.

Предмет дослідження. Теплотехнічні та конструктивні характеристики металопластикових віконних систем у залежності від конструкції профілю, параметрів склопакета, особливостей монтажу та умов експлуатації.

Новизна:

- уточнено механізм формування теплових втрат у монтажному вузлі;
- визначено вплив деформацій профілю на енергоефективність системи;
- запропоновано методику оцінювання комплексної ефективності світлопрозорих конструкцій;
- обґрунтовано технічні рішення щодо оптимізації профільних систем та монтажу.

Таблиця 1 - Порівняння конструкцій світлопрозорих систем

Тип конструкції	R, м ² ·°C/Вт	Економія енергії
Звичайне скління	0,45	0 %
I-скло	0,80	25 %
Тепловідбиваючий екран	1,20	35 %
Вакуумне	1,35	40 %
Динамічне	1,50	45 %

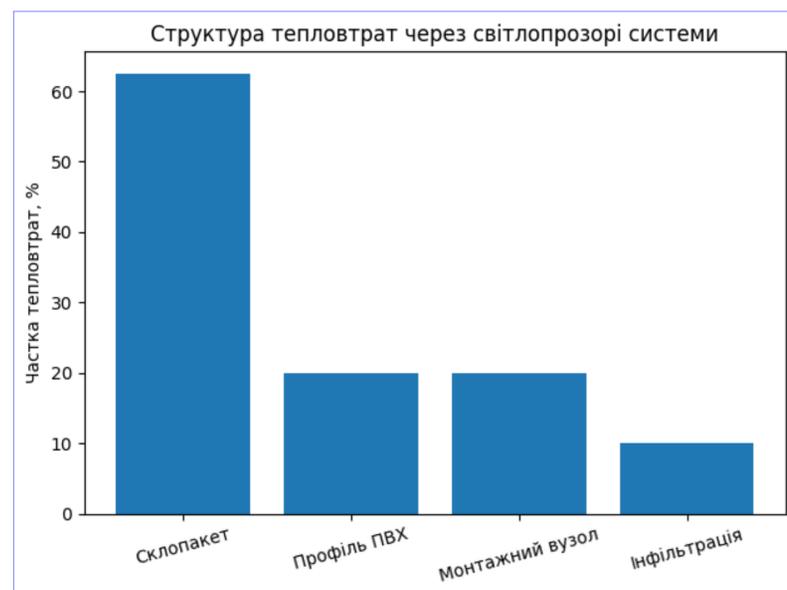


Рисунок 1 - Структура тепловтрат через світлопрозорі системи



Рисунок 2 – Основні напрямки підвищення енергозберігаючих характеристик віконних конструкцій

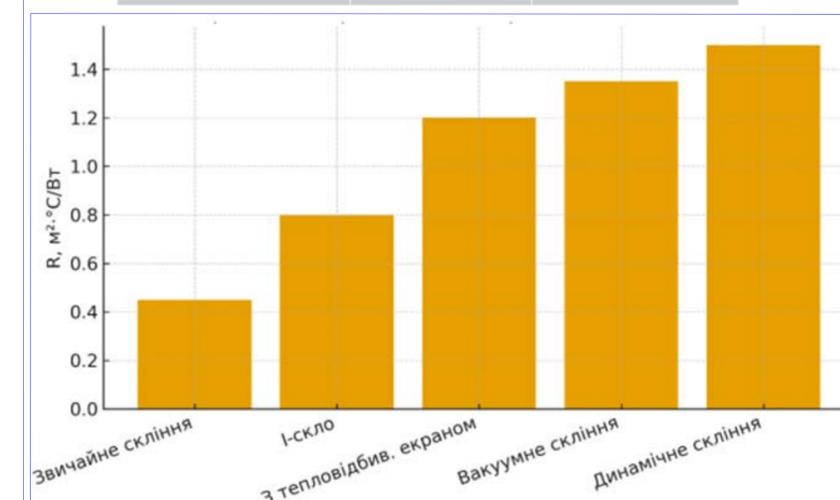


Рисунок 3 - Опір теплопередачі для різних систем скління

Теоретичні та аналітичні основи енергоефективних світлопрозорих систем

Таблиця 2 - Теплотехнічні параметри поширених типів скління

Конфігурація склопакета	Газове заповнення	Додаткові елементи	Опір теплопередачі R, м²·°C/Вт	Приріст R, %
4-16-4 (повітря)	Повітря	Відсутні	0,45	—
4-16Ar-4	Аргон	Відсутні	0,60	+33
4LowE-16Ar-4	Аргон	I-покриття	0,80	+78
4LowE-12Ar-4 + екран	Аргон	Тепловідбиваючий екран	1,20	+167
Вакуумне 4-0,2-4	Вакуум	Герметичний прошарок	1,35	+200

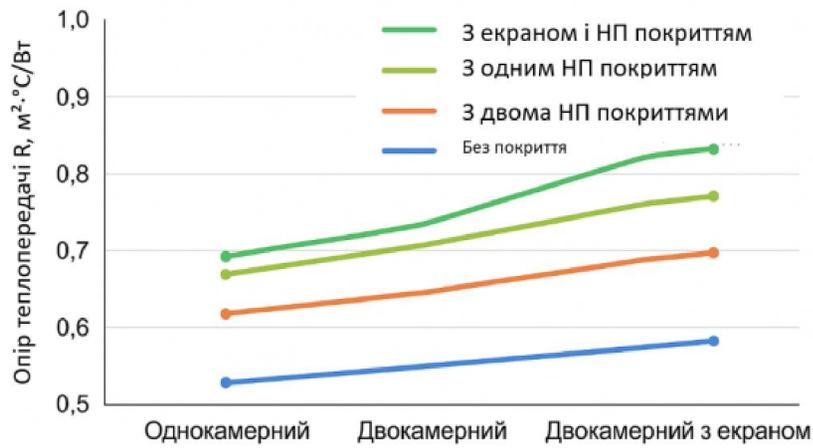


Рисунок 3 - Залежність опору теплопередачі від типу скління

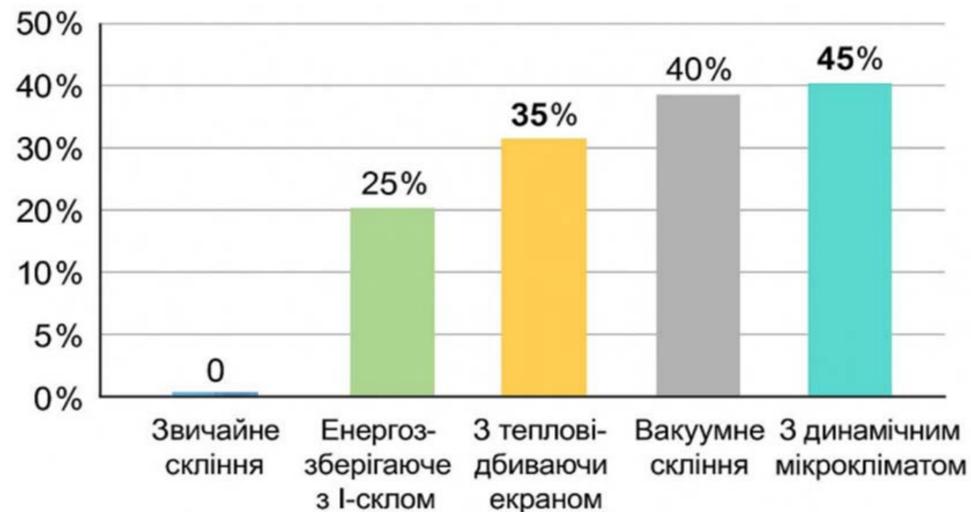


Рисунок 4 - Зниження річного рівня енергоспоживання залежно від типу скління

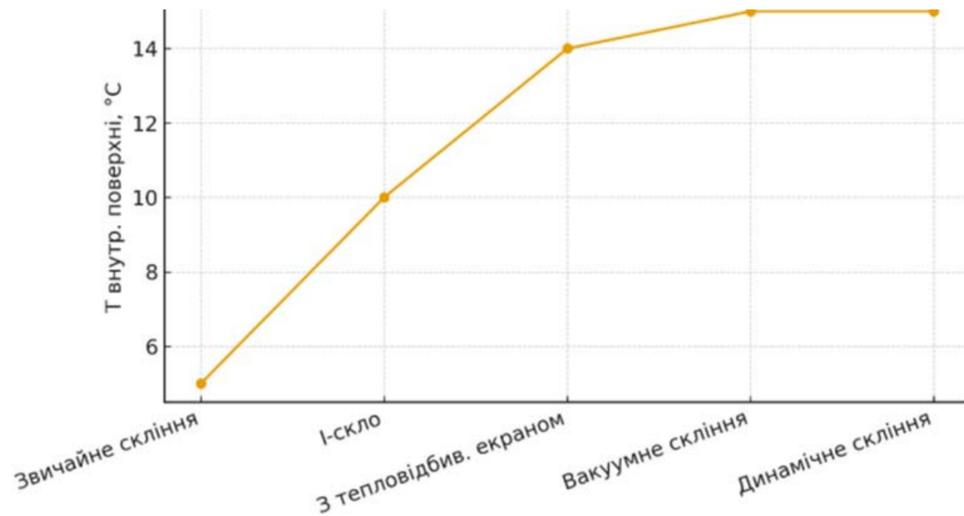


Рисунок 5 - Температура внутрішньої поверхні скла при t_{от}=-26°C

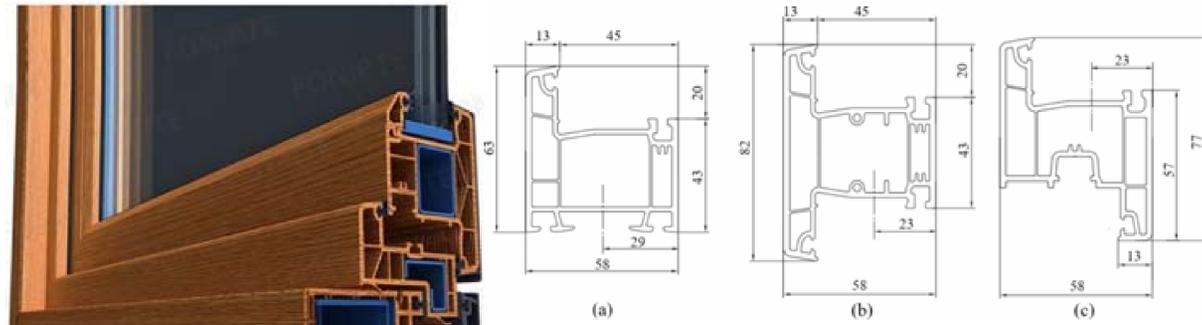


Рисунок 6 - Приклад ПВХ-профілю віконного блоку

Таблиця 3 - Вплив камерності ПВХ-профілю на теплотехнічні характеристики

Варіант профілю	Кількість камер	$\lambda (U_f)$, Вт/(м²·К)	Розрахункова температура внутрішньої поверхні при -26 °C, °C
Базовий	3	1,55-1,65	10,5-11,0
Оптимізований	5	1,32-1,40	11,8-12,6
Енергоефективний	6-7	1,20-1,28	12,8-13,5

Варіант профілю	Кількість камер	U_f , Вт/(м²·К)	Розрахункова температура внутрішньої поверхні при -26 °C, °C
Базовий	3	1,55-1,65	10,5-11,0
Оптимізований	5	1,32-1,40	11,8-12,6
Енергоефективний	6-7	1,20-1,28	12,8-13,5

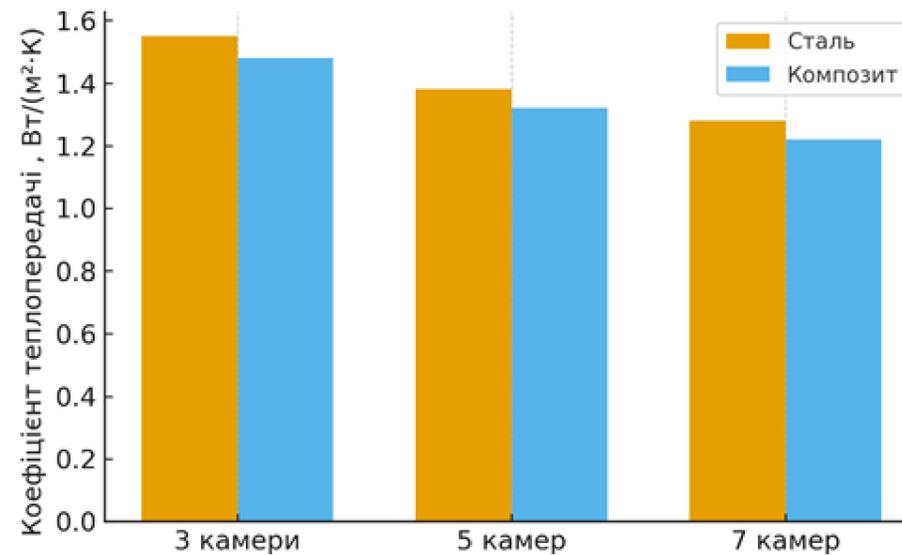


Рисунок 7 - Вплив типу армування на λ (U_f) ПВХ-профілю



Рисунок 8 - Схема поперечного перерізу ПВХ-профілю

Математично сумарний тепловий потік через вікно можна подати у вигляді:

$$Q_{\text{вікна}} = U_g \cdot A_g \cdot \Delta T + U_f \cdot A_f \cdot \Delta T + \psi \cdot L \cdot \Delta T + Q_{\text{інф}}, \quad (1.1)$$

де U_g - коефіцієнт теплопередачі склопакета;
 U_f - коефіцієнт теплопередачі профілю;
 ψ - лінійний коефіцієнт теплопередачі монтажного примикання;
 $Q_{\text{інф}}$ - тепловтрати внаслідок інфільтрації.



Рисунок 9 - Теплове поле ПВХ-профілю при зовнішній температурі -10°C

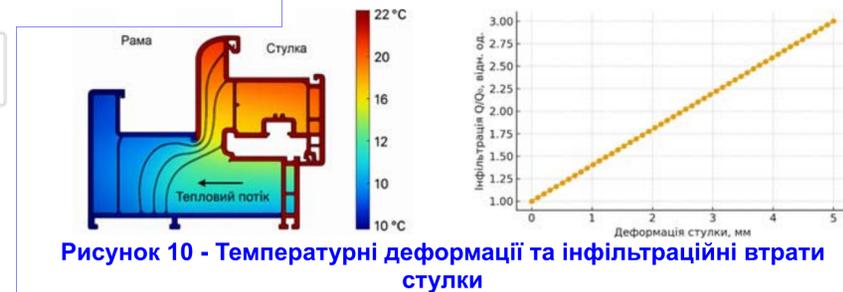


Рисунок 10 - Температурні деформації та інфільтраційні втрати стулки

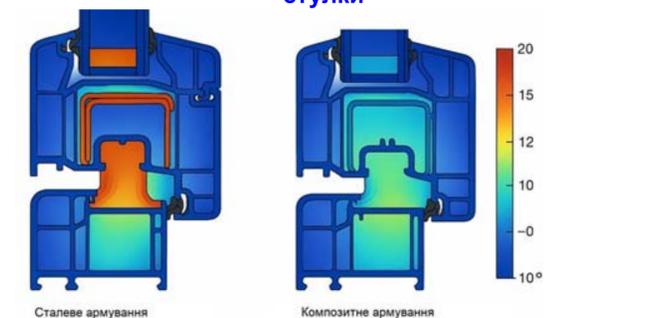


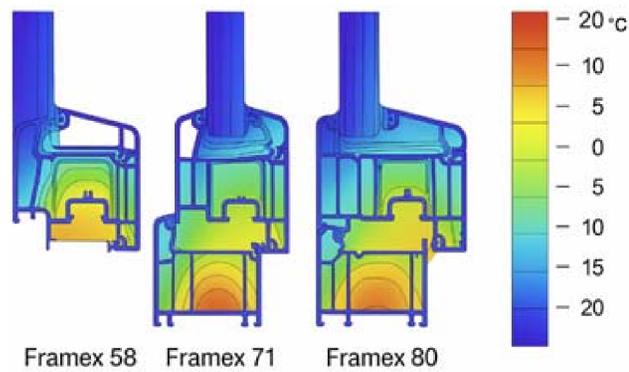
Рисунок 11 - Температурні поля сталевих і композитних армувань ПВХ-профілю віконного блоку

Аналітичні та числові дослідження енергоефективності світлопрозорих систем

Порівняльний аналіз профільних систем Framex 58/71/80 та їх теплофізичних характеристик



Рисунок 16 - Профільна система Framex 58/71/80



Framex 58 Framex 71 Framex 80

Рисунок 17 - Ізотермічні поля температур у зонах примикання склопакета до профілю Framex 58, Framex 71 та Framex 80

Порівняння показників U_w (λ) та сезонних втрат Q

Таблиця 4 - Порівняння U_w (λ) і Q для систем Framex 58/71/80

Профіль	Тип склопакета	Товщина, мм	U_w (λ), Вт/(м ² ·К)	Q , кВт·год/м ² ·рік
Framex 58	4-16-4	24	1,35-1,45	300-330
Framex 58	Low-E + Ar	24	1,20-1,25	260-280
Framex 58	4LowE/10/4/10/4	32	1,05-1,15	230-250
Framex 71	4LowE/10/4/10/4	32	0,95-1,05	190-210
Framex 71	LowE + Solar	40-42	0,90-1,00	170-190
Framex 80	LowE + Solar	44	0,85-0,90	150-170
Framex 80	Преміум (до 50 мм)	48-50	0,78-0,85	135-160

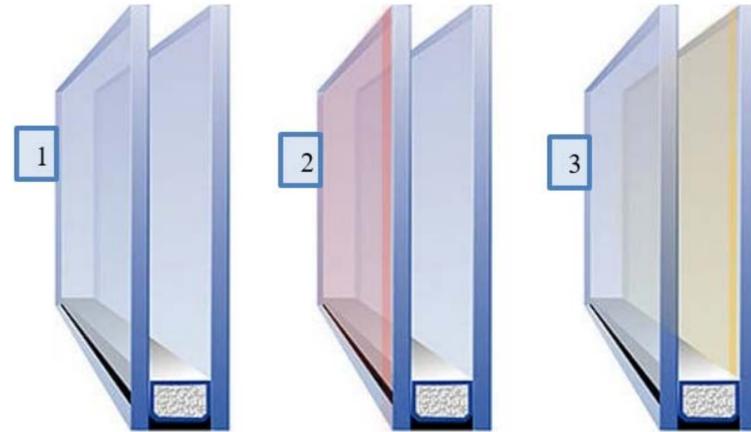


Рисунок 18 - Однокамерні склопакети: 1 - однокамерний 24 мм (4-16-4); 2 - однокамерний енергозберігаючий 24LowE мм (4LowE-16-4); 3 - однокамерний сонцезахисний 24 мм (4-16-4Solar)



Рисунок 19 - Двокамерний склопакет: 1 – двокамерний 32 мм енергозберігаючий (4LowE-10-4-10-4); 2 – двокамерний 32 мм сонцезахисний (4-10-4-10-4Solar)

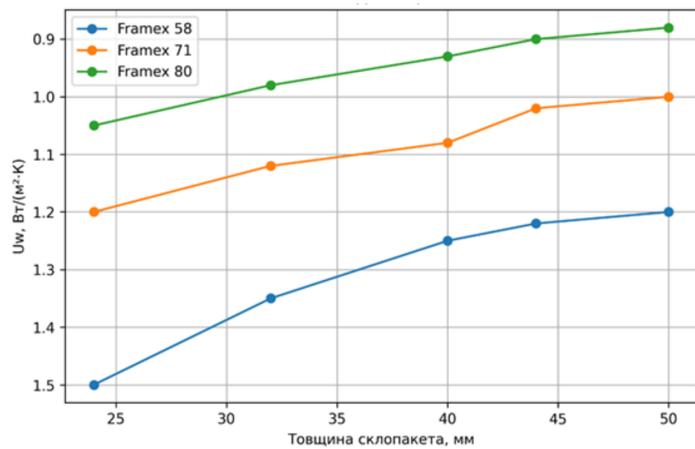


Рисунок 21 - Залежність U_w віконного блоку від товщини склопакету

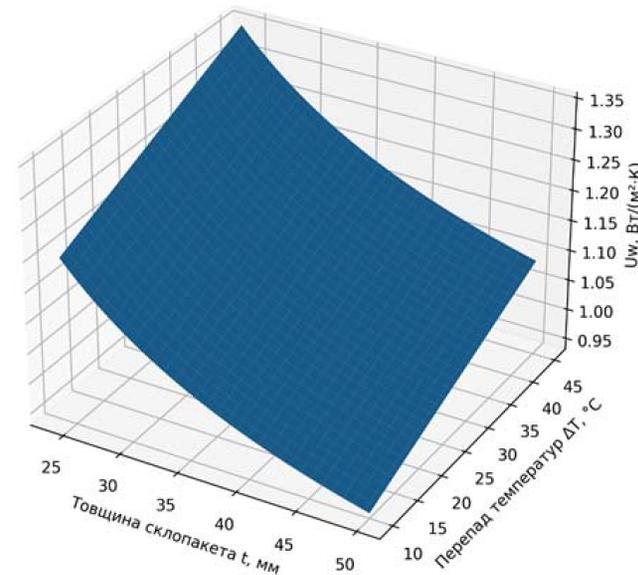


Рисунок 23 - Поверхня залежності коефіцієнта теплопередачі U_w від товщини склопакета t та перепаду температур ΔT

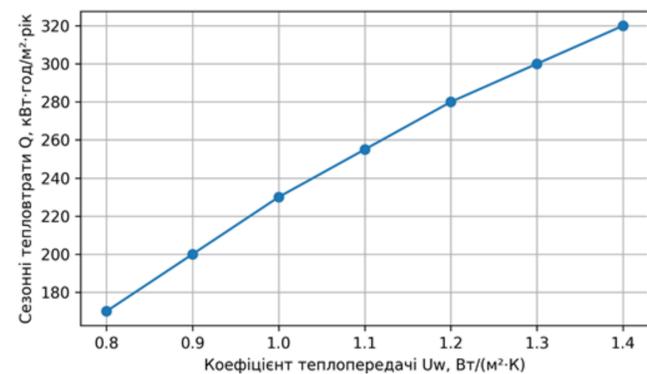


Рисунок 22 - Залежність сезонних тепловтрат Q від коефіцієнта U_w

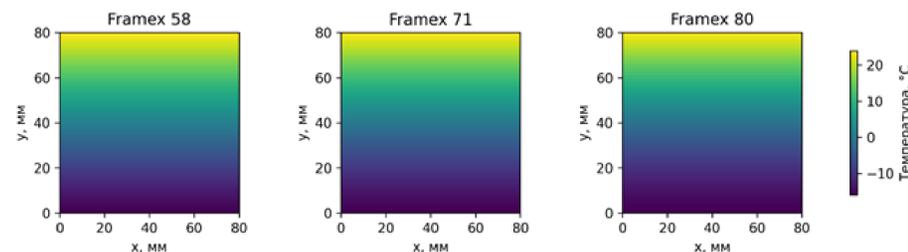


Рисунок 24 - Ізотермічні поля температур у зоні примикання склопакета до профілю для систем Framex 58, Framex 71 та Framex 80



Рисунок 20 - Двокамерний енергозберігаючий склопакет з аргоном: 1 – 40мм 40LowE мм+Arg (4LowE+Arg-10-4-16-4); 2 – 40мм + сонцезахисний 40LowE мм+Arg (4LowE+Arg-10-4-16-4Solar); 3 – 44мм + сонцезахисний 44LowE Solar мм+Arg (4LowE +Arg -16-4-16-4Solar)

Таблиця 5 - Результати FEM-аналізу

Профіль	Мінімальна внутрішня температура	Ризик конденсації
Framex 58	+7...+9 °C	Високий при RH > 45 %
Framex 71	+11...+13 °C	Низький
Framex 80	+14...15 °C	Відсутній

Теплові потоки у вузлі примикання

Аналіз теплових полів у зоні монтажного стику (див. Рисунок 12) показує, що найбільша інтенсивність теплових втрат зосереджена у ділянці примикання рами до огорожувальної конструкції. У стандартних вузлах спостерігається:

- формування **лінійного теплового містка** по всій довжині монтажного шва;
- інтенсивний вихід тепла через зовнішню зону піни, що спричиняє зниження температури внутрішньої поверхні відкосу;
- утворення локальних зон охолодження, які можуть знижувати температуру на 8–12 °С порівняно з основною поверхнею стіни.

Застосування енергоефективних вузлів примикання (тришаровий монтаж, паро- та вітрозахисні мембрани, термовставки) дозволяє:

- **зменшити теплові потоки на 10–12 %**,
- підвищити температуру внутрішньої поверхні вузла,
- усунути умови для утворення конденсату й промерзання.

Таким чином, удосконалений монтаж є критичним елементом забезпечення енергоефективності світлопрозорих конструкцій навіть при використанні високоякісних склопакетів.

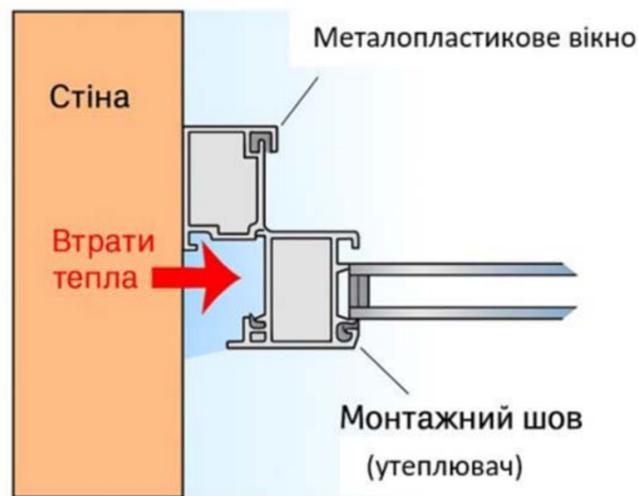


Рисунок 12 – Теплові потоки у вузлі примикання металопластикового вікна до стіни



Внутрішній монтажний вузол Промерзання Зовнішній монтажний вузол Інфільтрація холодного повітря

Порівняння температурних полів вузла примикання

Порівняння результатів теплотехнічного моделювання (див. Рисунок 14) демонструє принципову різницю між поведінкою стандартного та вдосконаленого вузла примикання віконного блока.

У **стандартному вузлі** спостерігається:

- виражена **зона інтенсивного охолодження** вздовж монтажного шва;
- падіння температури внутрішньої поверхні до **+5...+7 °С**, що створює ризик досягнення точки роси;
- нерівномірний розподіл температур із різким переходом між теплою та холодною зонами, характерним для теплових містків;
- потенційні умови для конденсації вологи та руйнування оздоблювальних матеріалів.

У **енергоефективному вузлі примикання**, сформованому за принципами "теплого монтажу", картина істотно відрізняється:

- температура внутрішньої поверхні підвищується до **+13...+15 °С**,
- температурне поле стає **рівномірним**, без різких перепадів;
- відсутня зона досягнення точки роси, а отже — усувається ризик конденсату та грибкових уражень;
- теплові потоки зміщуються у зовнішню частину утеплювача, що відповідає вимогам сучасних ДБН.

Таким чином, удосконалений вузол примикання забезпечує цілісність теплозахисного контуру, який є критично важливим навіть при використанні високоефективних склопакетів.

Конструкція енергоефективного віконного блока

На малюнку (Рисунок 15) представлено конструкцію сучасного енергоефективного віконного блока, що включає інтегровані технічні рішення для оптимізації теплозахисту:

- Профіль із багатокамерною конструкцією та термовставками, що знижує теплопровідність каркасу;
- Склопакет із **I-покриттям Low-E**, наповнений аргоном або криптоном;
- Металізований **тепловідбиваючий екран** розташований у міжскляному просторі — він віддзеркалює інфрачервоне випромінювання та знижує радіаційні втрати тепла;
- **Вакуумний прошарок** (у опціональному варіанті) як ультраефективне рішення для мінімізації теплопередачі;
- Інтегрована система **автоматичних жалюзі/заслонок**, що змінює режим роботи залежно від зовнішніх умов (зимовий/літній), інтегрована з BMS;
- Монтажний вузол із трирівневою герметизацією та терморозривами, який забезпечує надійне примикання до фасадного утеплення без утворення теплових містків.

Завдяки комплексному застосуванню цих рішень даний блок досягає **R ≈ 1,50 м²·°С/Вт**, що виводить його на рівень енергоефективності класу A+ або NZEB.

Така конструкція не тільки знижує енергоспоживання, але й підвищує комфорт, виключає конденсат і подовжує термін експлуатації будівельного огородження.

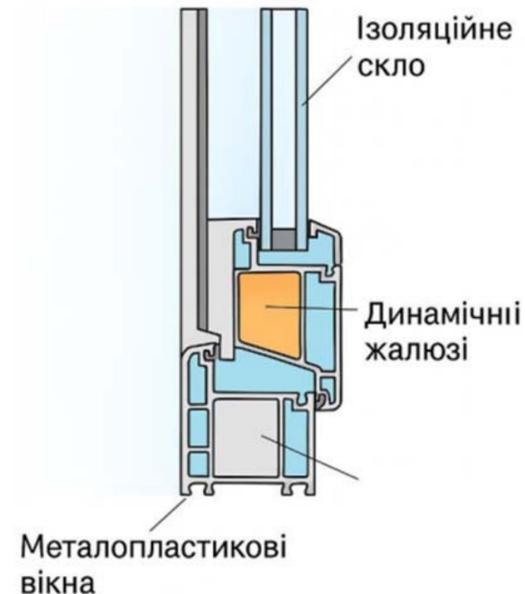


Рисунок 15 – Конструкція сучасного енергоефективного віконного блока

Принцип роботи динамічної системи мікроклімату

На Рисунок 16 наведено принцип функціонування динамічної віконної системи, яка автоматично змінює теплотехнічні характеристики залежно від пори року та зовнішніх кліматичних умов. Такий підхід забезпечує оптимальний баланс між теплозахистом та сонячними тепловими надходженнями.

У **зимовому режимі («теплозахист»):**

- внутрішні жалюзі або металізовані екрани розташовуються у закритому положенні;
- тепла радіація від внутрішніх поверхонь відбивається назад у приміщення;
- зменшуються тепловтрати через конвекцію та інфрачервоне випромінювання;
- підвищується температура внутрішньої поверхні склопакета, що запобігає конденсату;
- коефіцієнт теплопередачі знижується, що еквівалентно зростанню R.

У **літньому режимі («сонцезахист»):**

- жалюзі відкриваються або переводяться в положення, яке відбиває сонячне випромінювання;
- зменшуються сонячні теплові надходження в приміщення;
- запобігається перегрів внутрішніх приміщень та зменшується навантаження на кондиціонування;
- підвищується енергоефективність будівлі протягом теплого періоду року.

Застосування такої системи дозволяє отримати **додаткову економію енергії до 25-30%**, а у поєднанні з I-покриттями та аргоновим заповненням — до **45 % сумарного річного ефекту**, що робить динамічне скління ефективним елементом NZEB-будівель.

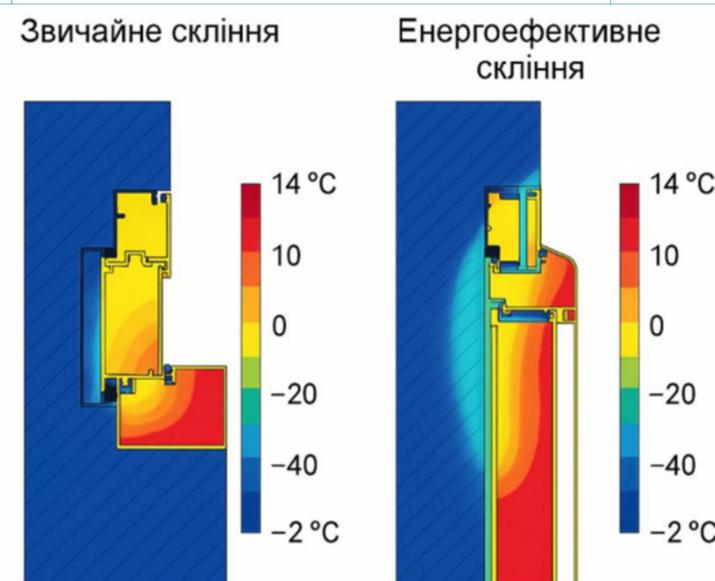


Рисунок 14 – Порівняння температурних полів у вузлі примикання вікна

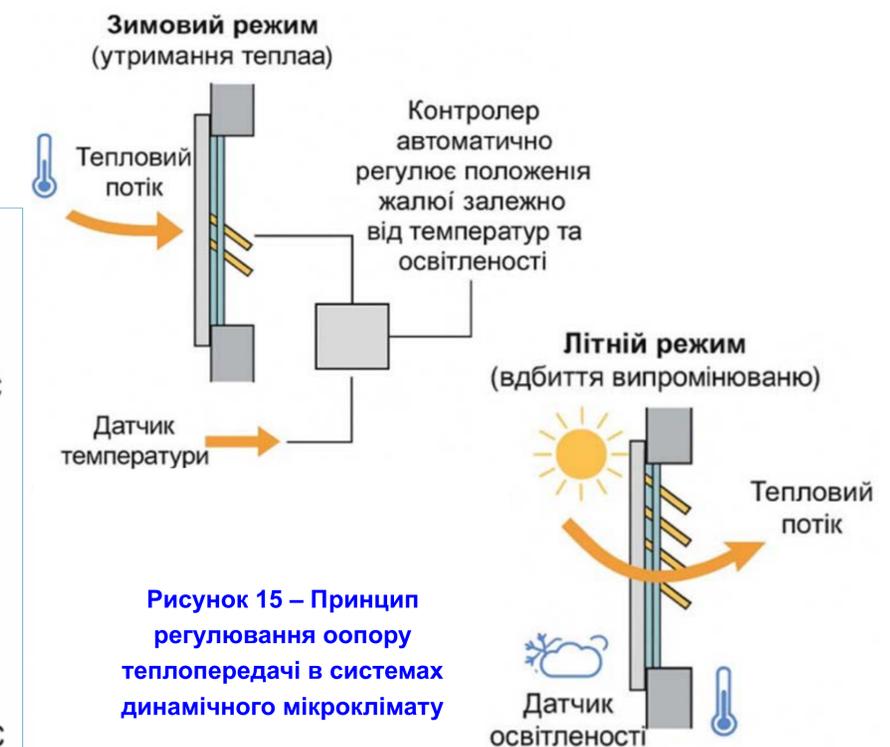


Рисунок 15 – Принцип регулювання опору теплопередачі в системах динамічного мікроклімату

Числове моделювання напружено-деформованого стану елементів металопластикових світлопрозорих систем при температурних та силових впливах

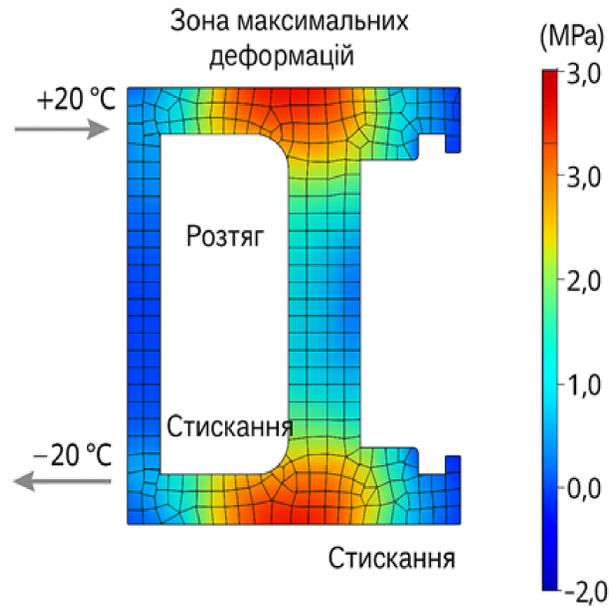


Рисунок 25 — Напружено-деформований стан профілю при температурному градієнті -20...+20°C

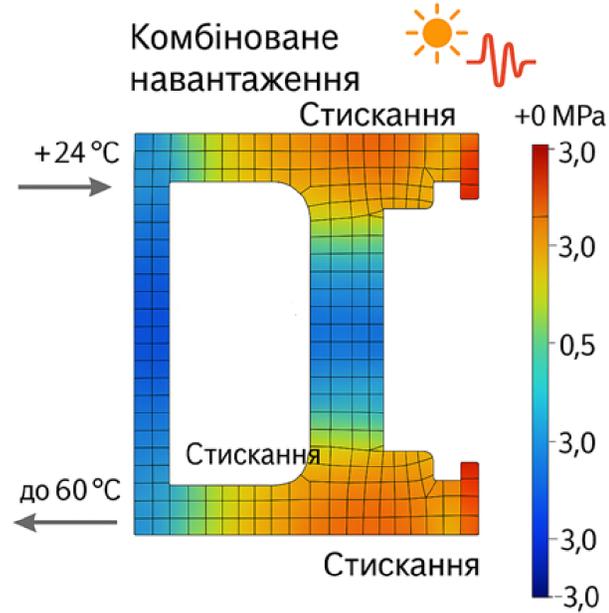


Рисунок 27 — Напружено-деформований стан при комбінованому навантаженні: +24°C всередині, до +60°C зовні + імпульсний тиск

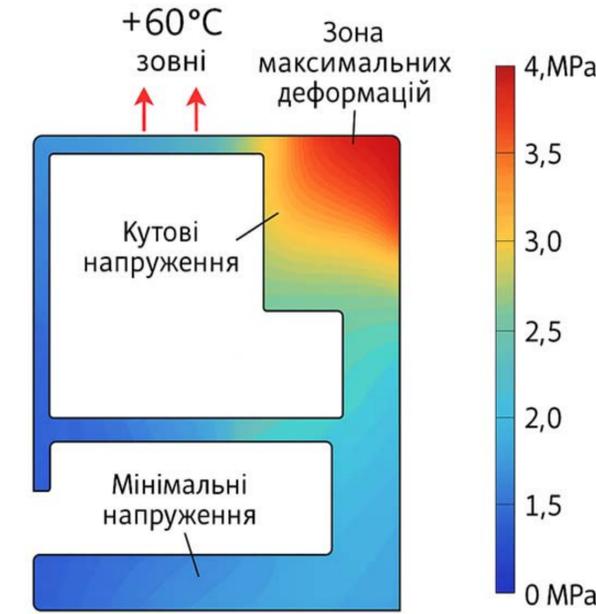


Рисунок 29 — Напружено-деформований стан ступки при сонячному нагріві (до +60°C зовні, +24°C всередині)

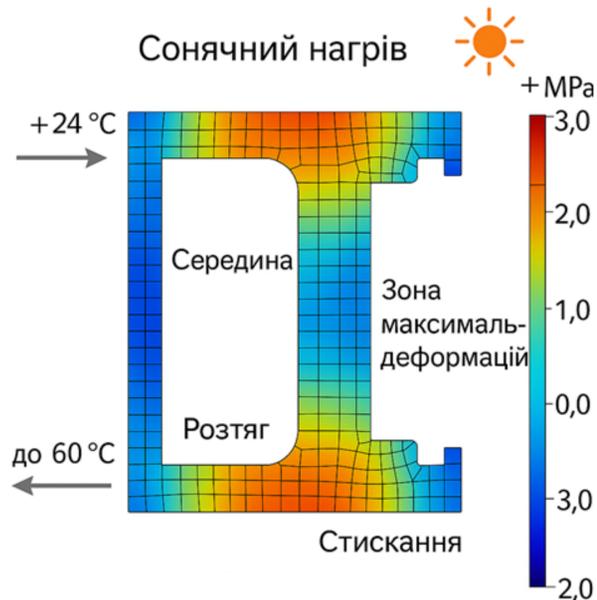
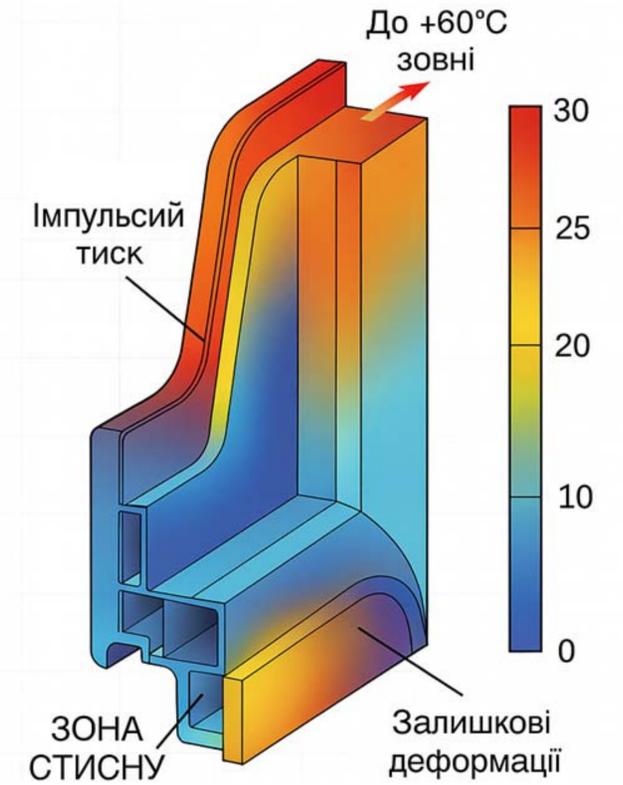


Рисунок 26 — Напружено-деформований стан профілю при температурному градієнті -20...+20°C

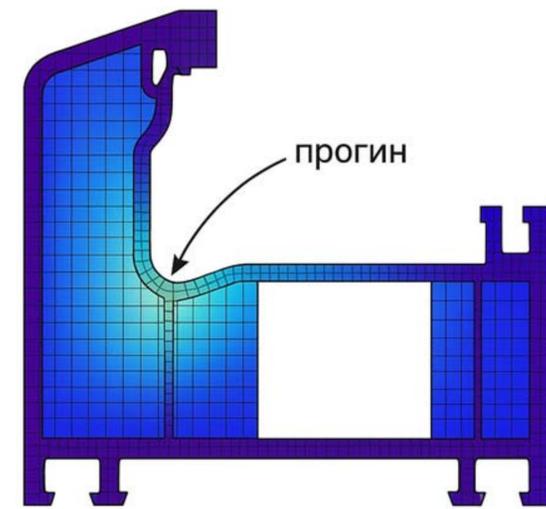


Рисунок 28 — Напружено-деформований стан рами під дією вітрового навантаження

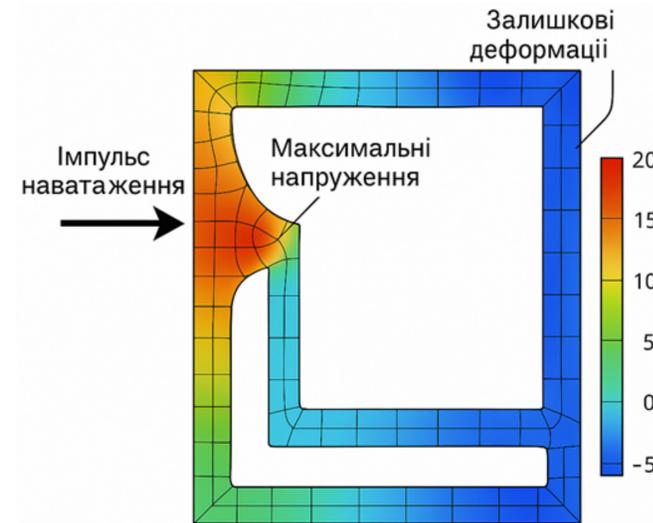


Рисунок 30 — Напружено-деформований стан рами при дії імпульсного чи вибухового навантаження

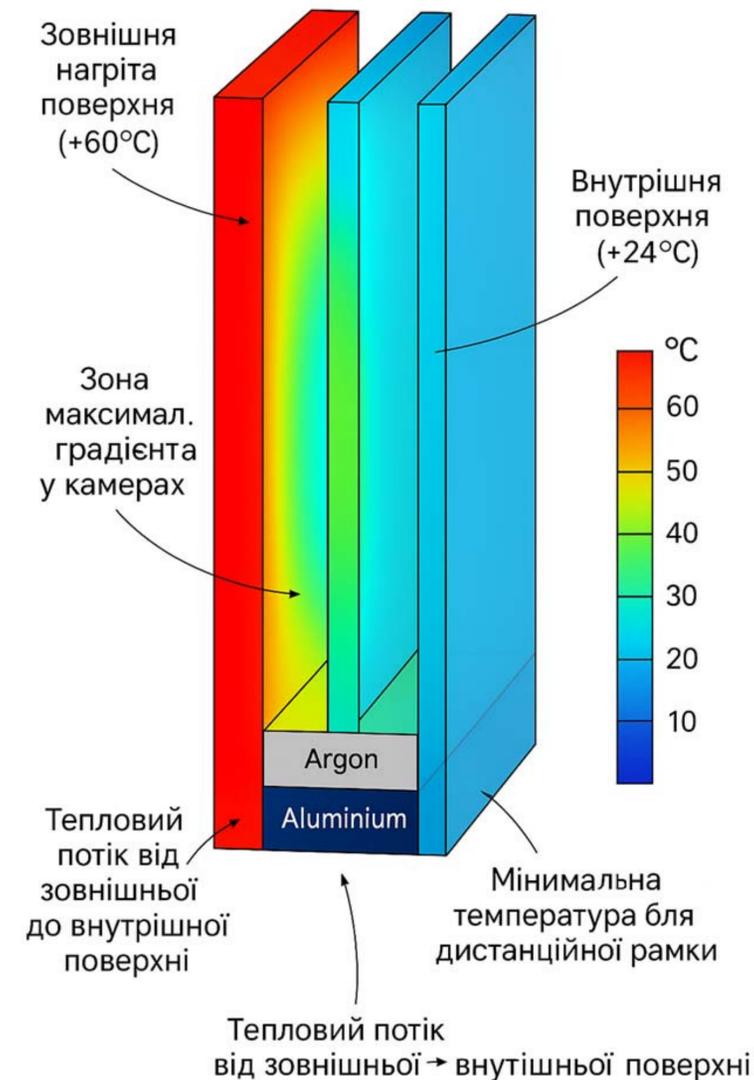


Рисунок 31 — Теплове поле склопакета при сонячному нагріві (до +60°C зовні, +24°C всередині) та імпульсному тиску

1. Встановлено, що геометрична еволюція профільних систем (зміна товщини від 58 до 71 до 80 мм) забезпечує істотне покращення теплофізичної поведінки конструкції через зростання довжини теплового потоку, збільшення камерності та підвищення стабільності внутрішніх ізотерм.
2. FEM-моделювання довело, що Framex 80 забезпечує внутрішню температуру профільної поверхні +14...15 °C, тоді як Framex 58 - лише +7...9 °C, що еквівалентно зсуву точки роси та усуненню конденсації.
3. Аналіз залежності Q-U_w показав, що зменшення U_w на кожні 0,1 Вт/(м²·K) знижує сезонні тепловтрати на 8-12 %, що має ключове значення для енергетичного балансу будівлі. Framex 80 демонструє максимальну енергоефективність, що відповідає високим європейським стандартам та може рекомендуватися для енергоефективних і пасивних будівель.
4. Виконане числове моделювання напружено-деформованого стану віконних профільних систем показало, що температурні та імпульсні навантаження формують найбільш несприятливі режими роботи конструкції. При нерівномірних температурних полях і короточасних імпульсних діях у профілі виникають локальні зони підвищених напружень і деформацій, зосереджені переважно в прирамних і кутових ділянках. Поєднання сонячного нагріву з внутрішнім температурним режимом і імпульсним тиском призводить до максимальних значень напружень, що обґрунтовує необхідність підвищеної жорсткості армування та оптимізації геометрії профілю.

УЗАГАЛЬНЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕННЯ

Вдосконалення конструктивно-технологічних рішень світлопрозорих огорожувальних систем з урахуванням вимог енергоефективності в Україні

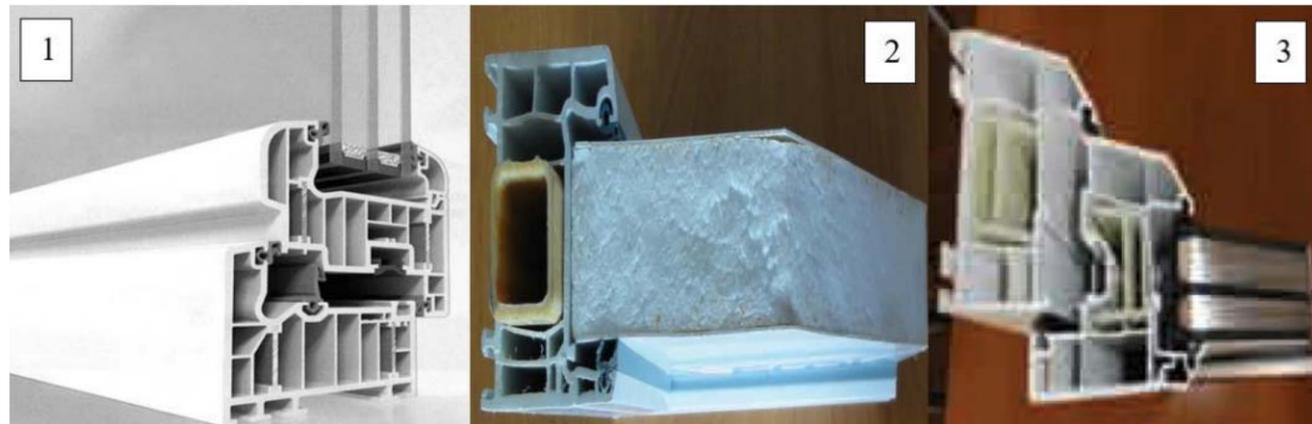


Рисунок 32 – Застосування в ПВХ-профілях замість традиційних сталевих підсилювачів у коробці та стулці: 1 – алюмінієвого армування (профільна система Schüco); 2 – склопластикового (композитного) армування (профільна система Veka); 3 – композитного армування (профільна система Deseuninck)

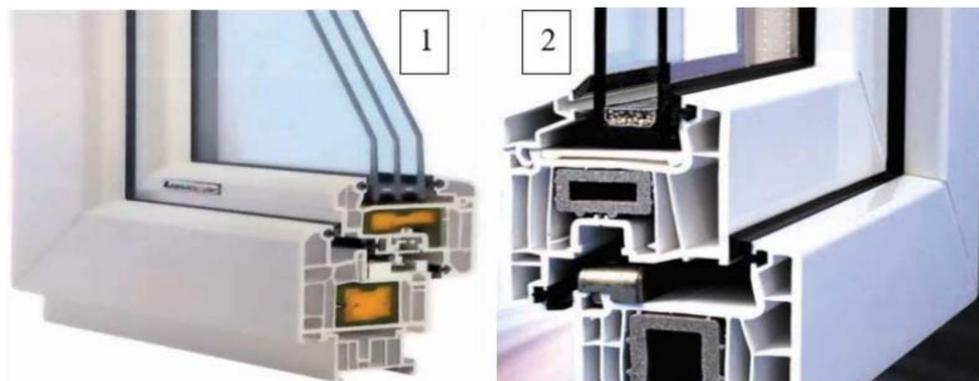


Рисунок 33 – Застосування у ПВХ-профілях замість традиційних сталевих підсилювачів: 1 – підсилювального елемента з заповненням спіненим ПВХ (профільна система Gaulhofer); 2 – композитного армувального профілю (профільна система Wintech)

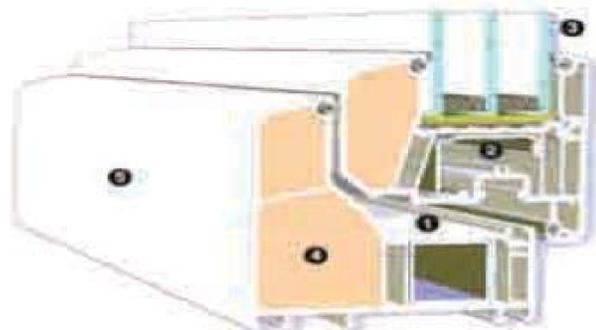


Рисунок 34 – Застосування спіненого ПВХ у зовнішніх камерах ПВХ-профілю з метою підвищення теплозахисну конструкції (профільна система Veka)

Таблиця 6 - Порівняння традиційних та вдосконалених рішень світлопрозорих систем

Традиційне рішення	Вдосконалене рішення	Очікуваний ефект (за FEM-аналізом)
Рама з монтажною глибиною 58-60 мм	Профіль 70-80 мм з оптимізованою камерністю	↓ U_w на 12-18 %, ↑ температури внутрішньої поверхні на 3-5 °C
Однорідна геометрія полиць профілю	Збільшення внутрішньої полиці примикання	↓ температурні градієнти в зоні контакту склопакета
Стандартне армування сталлю	Композитне або комбіноване армування	↓ термічні напруження σ на 15-25 %
Монтажний шов без термовставки	Термовставка з $\lambda \leq 0,04$ Вт/(м·К)	↓ локальні тепловтрати Q у крайовій зоні
Склопакет 24-32 мм	Склопакет 40-44 мм з Low-E + Ag	↓ U_w до 0,85-0,95 Вт/(м ² ·К)

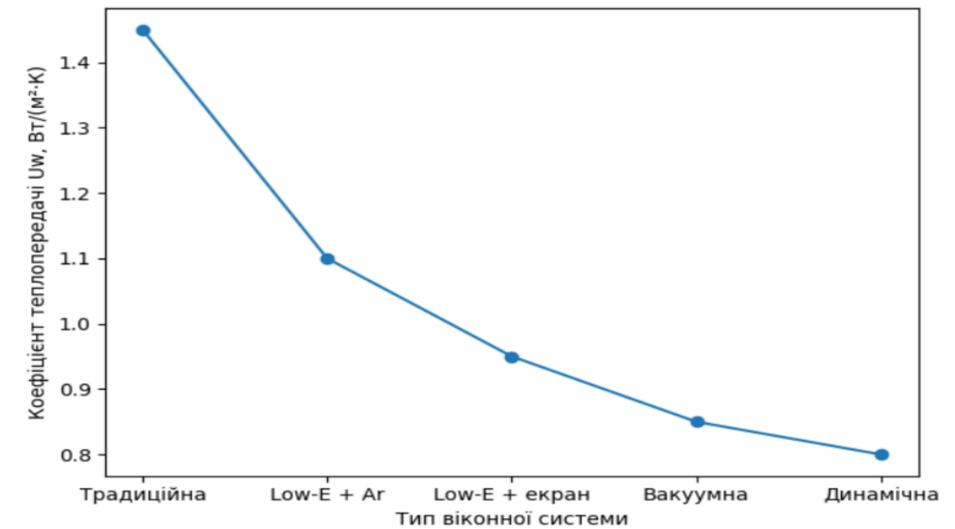


Рисунок 35 – Порівняльна залежність коефіцієнта теплопередачі U_w для різних конструктивних рішень віконних систем

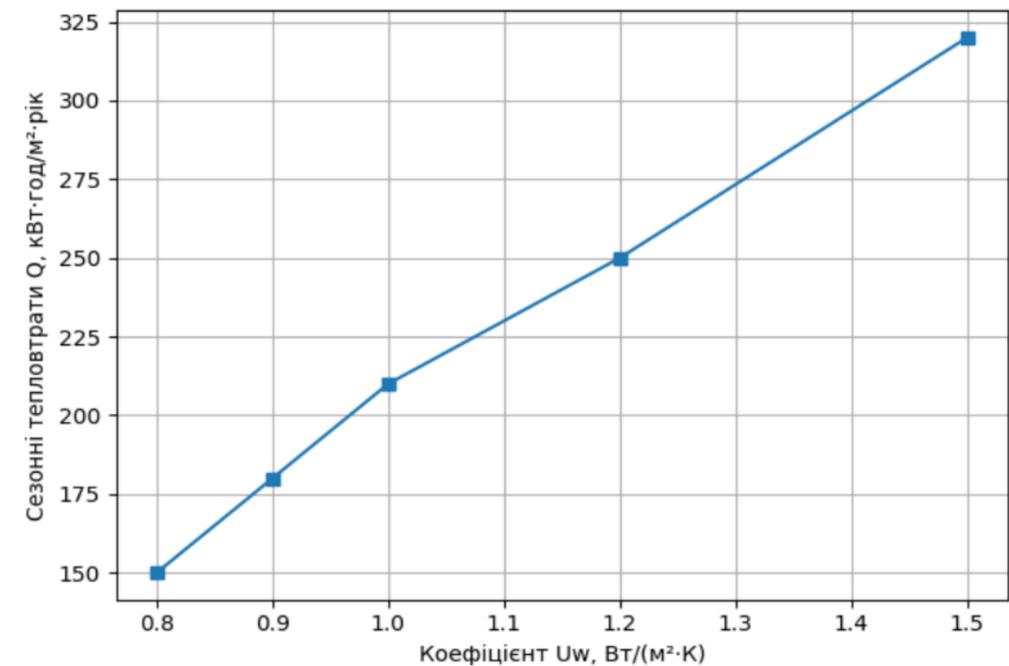


Рисунок 36 – Залежність сезонних питомих тепловтрат Q від коефіцієнта теплопередачі U_w для віконних систем

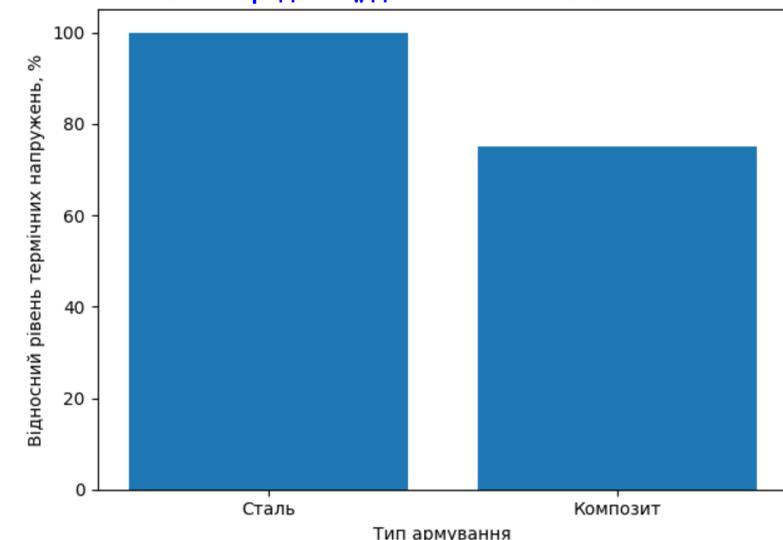


Рисунок 37 – Порівняльний розподіл еквівалентних напружень σ у профільних системах зі сталевим та композитним армуванням

Таблиця 7 - Комплексна оцінка ефективності профільних систем за критеріями міцності та теплозахисту

№	Модель світлопрозорої системи	Ключові FEM-результати (σ , ϵ , температурні поля)	Характер теплотехнічної поведінки	Енергетичний ефект (U_w , Q)
1	Framex 58 Сталеve армуванняСклопакет 24 мм (Low-E + Ar)	Високі температурні градієнти у внутрішній полиці примикання склопакета; локальні концентрації напружень σ у зоні армування; нерівномірні ізотерми	Сталеve армування формує виражений тепловий міст; різниця коефіцієнтів теплового розширення ПВХ і сталі призводить до додаткових термічних деформацій ϵ	$U_w \approx 1,35-1,40$ Вт/(м ² ·К) $Q \approx 300-320$ кВт·год/м ² ·рік Підвищений ризик конденсації
2	Framex 58 Композитне армуванняСклопакет 32 мм (Low-E + Ar)	Зменшення пікових σ на 15-20 %; вирівнювання температурних ізоліній у прирамній зоні	Композитне армування знижує теплопровідний канал і забезпечує більш узгоджену деформаційну роботу профілю	$U_w \approx 1,15-1,20$ Вт/(м ² ·К) $Q \approx 240-260$ кВт·год/м ² ·рік
3	Framex 71 Сталеve армуванняСклопакет 32 мм (Low-E + Ar)	Менші температурні градієнти порівняно з Framex 58; напруження σ локалізуються переважно у зовнішній полиці	Збільшена монтажна глибина та камерність зменшують тепловий потік через профіль, але сталеve армування залишається джерелом ψ -ефекту	$U_w \approx 1,00-1,05$ Вт/(м ² ·К) $Q \approx 220-230$ кВт·год/м ² ·рік
4	Framex 71 Композитне армуванняСклопакет 40 мм (Low-E + Ar)	Практично рівномірні ізотермічні поля; зниження σ у кутових ділянках рами та стулки	Оптимальний баланс жорсткості та теплозахисту; зменшення як теплових, так і деформаційних втрат	$U_w \approx 0,90-0,95$ Вт/(м ² ·К) $Q \approx 190-200$ кВт·год/м ² ·рік
5	Framex 80 Композитне армуванняСклопакет 44 мм (Low-E + Ar)	Мінімальні температурні градієнти; відсутність критичних зон напружень; стабільний розподіл ϵ	Висока камерність і глибина профілю формують безперервний тепловий контур; FEM-моделі демонструють термічну стабільність	$U_w \approx 0,85-0,90$ Вт/(м ² ·К) $Q \approx 160-170$ кВт·год/м ² ·рік
6	Framex 80 Композитне армуванняСклопакет 50 мм (Low-E + Ar / екран)	Найвища температура внутрішньої поверхні; мінімальні σ навіть за сонячного нагріву +60 °С	Конструкція наближається до рівня Passive House; зменшення як теплопровідності, так і інфільтраційних втрат	$U_w \approx 0,80-0,85$ Вт/(м ² ·К) $Q \approx 150-160$ кВт·год/м ² ·рік

Економічна ефективність запропонованих рішень

Заходи:

- ✓ покращення світлопрозорих огорожувальних конструкцій;
- ✓ зменшення тепловтрат і інфільтрації;
- ✓ оптимізація експлуатаційних витрат.

Основні економічні показники:

- ▼ Зменшення тепловтрат через огорожувальні конструкції: 30–45 %
- ▼ Скорочення річного енергоспоживання будівлі: 35–50 %
- ▼ Зниження витрат на опалення та охолодження: 40–55 %
- ▼ Зменшення витрат на експлуатацію: до 45 %

Економічний ефект

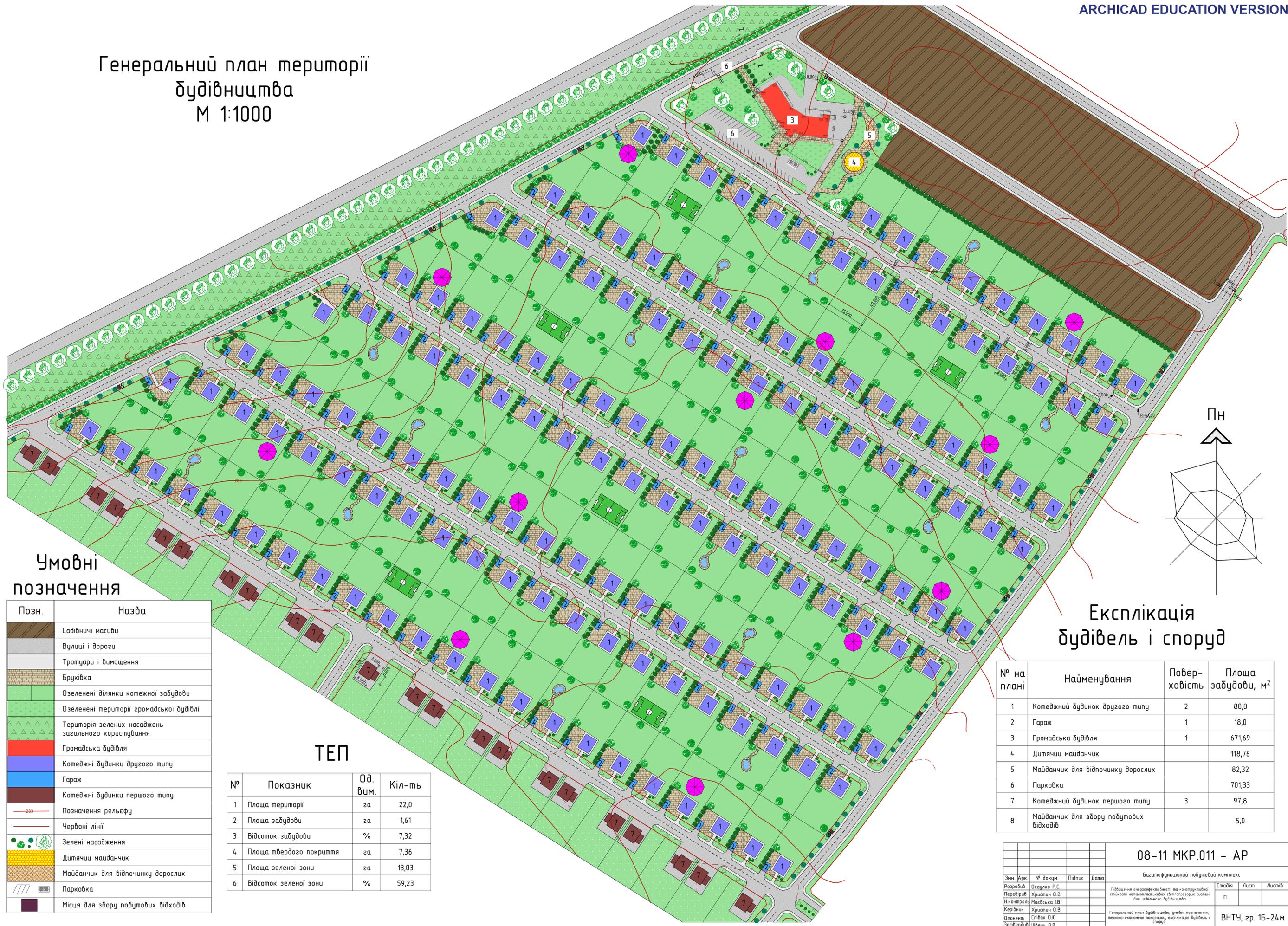
- 💰 Річна економія коштів: 30–40 %
- 🕒 Орієнтовний термін окупності заходів: 5–8 років
- ☑ Підвищення ринкової вартості будівлі: на 10–15 %

Висновок

Запропоновані технічні рішення забезпечують суттєвий економічний ефект за рахунок скорочення енергоспоживання на 30–45 %, зниження експлуатаційних витрат до 40 % та швидку окупність інвестицій, що підтверджує їх техніко-економічну доцільність.



Генеральний план території будівництва М 1:1000



Умовні позначення

Позн.	Назва
	Садівничі масиви
	Вулиці і дороги
	Тротуари і вимощення
	Бруківка
	Озеленені ділянки котежної забудови
	Озеленені території громадської будівлі
	Територія зелених насаджень загального користування
	Громадська будівля
	Котеджні будинки другого типу
	Гараж
	Котеджні будинки першого типу
	Позначення рельєфу
	Червоні лінії
	Зелені насадження
	Дитячий майданчик
	Майданчик для відпочинку дорослих
	Парковка
	Місця для збору побутових відходів

ТЕП

№	Показник	Од. вим.	Кіл-ть
1	Площа території	га	22,0
2	Площа забудови	га	1,61
3	Відсоток забудови	%	7,32
4	Площа твердого покриття	га	7,36
5	Площа зеленої зони	га	13,03
6	Відсоток зеленої зони	%	59,23

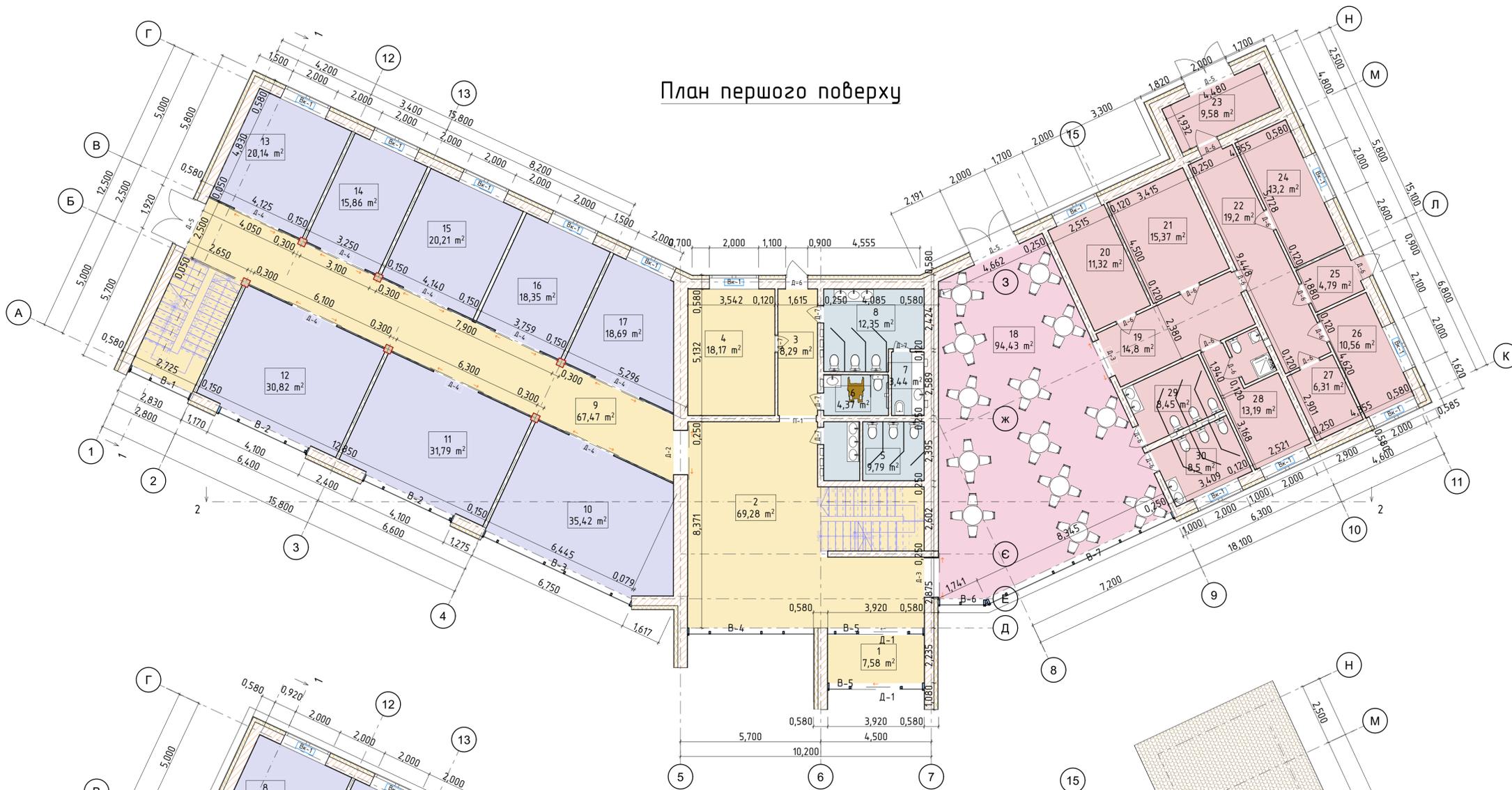
Експлікація будівель і споруд

№ на плані	Найменування	Поверховість	Площа забудови, м ²
1	Котеджний будинок другого типу	2	80,0
2	Гараж	1	18,0
3	Громадська будівля	1	671,69
4	Дитячий майданчик		118,76
5	Майданчик для відпочинку дорослих		82,32
6	Парковка		701,33
7	Котеджний будинок першого типу	3	97,8
8	Майданчик для збору побутових відходів		5,0

08-11 МКР.011 - АР

08-11 МКР.011 - АР				Багатофункціональний побутовий комплекс			
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Стадія	Лист	Листів
Розробив	Осаулка Р.С.				Підвищення енергоефективності та конструктивної стійкості металопластикових віконно-дверних систем для цивільного будівництва	п	ВНТУ, зр. 15-24м
Перевірив	Христич О.В.						
Н. контроль	Масвська І.В.						
Керівник	Христич О.В.						
Опонант	Співак О.Ю.				Генеральний план будівництва, умовні позначення, техніко-економічні показники, експлікація будівель і споруд		
Затвердив	Швець В.В.						

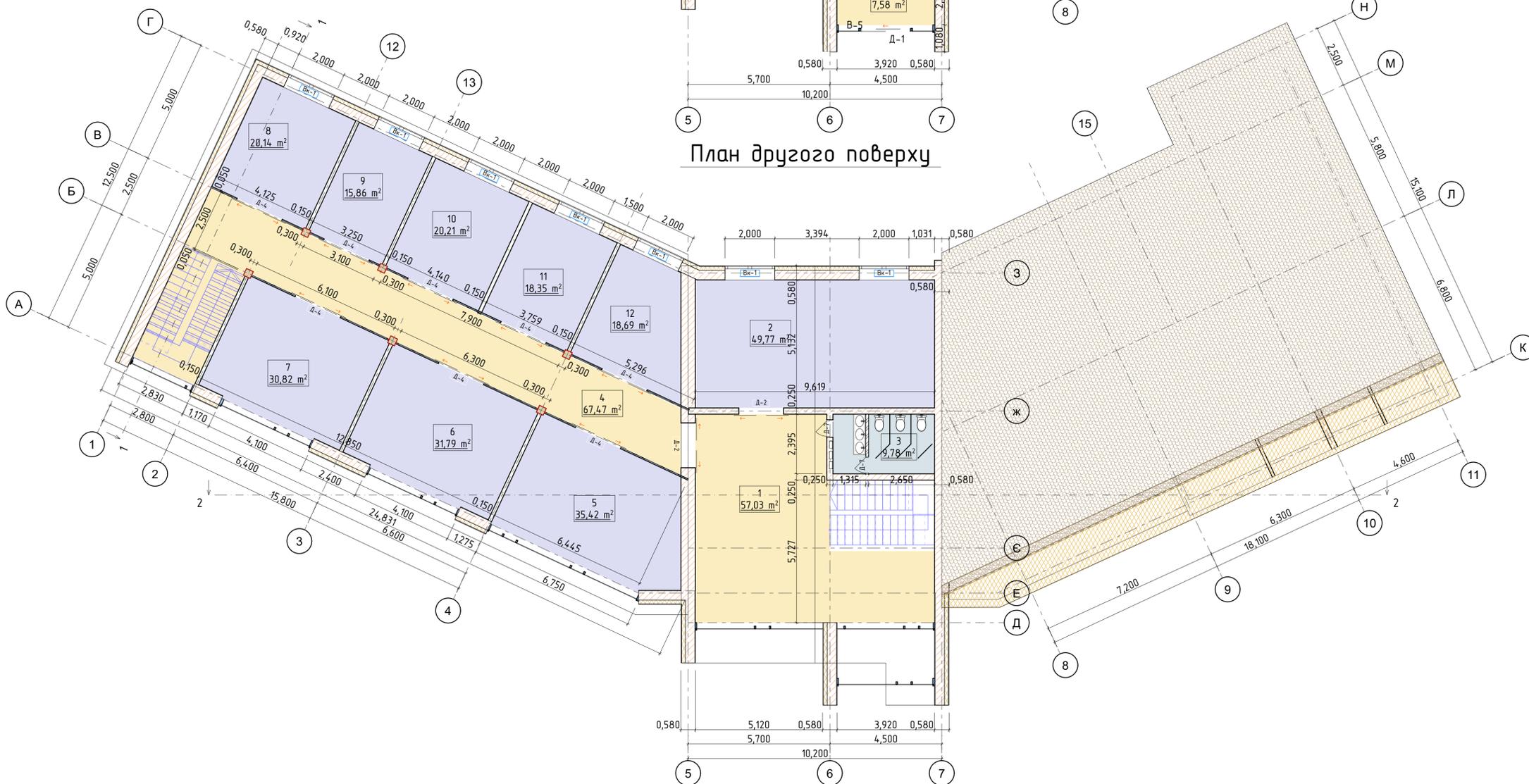
План першого поверху



Експлікація приміщень 1 поверху

№	Ім'я зони	Площа, кв.м
1	Тамбур	7,58
2	Холл	69,28
3	Коридор	8,29
4	Приміщення адміністрації	18,17
5	С/в для чоловіків	9,79
6	С/в для людей з особливими потребами	4,37
7	Гігієнічна кімната	3,44
8	С/в для жінок	12,35
9	Коридор	67,47
10	Торговельна площа	35,42
11	Торговельна площа	31,79
12	Торговельна площа	30,82
13	Торговельна площа	20,14
14	Торговельна площа	15,86
15	Торговельна площа	20,21
16	Торговельна площа	18,35
17	Торговельна площа	18,69
18	Торговельна зала кафе	94,43
19	Роздаточна	14,80
20	Заготівельний цех	11,32
21	Холодний цех	15,37
22	Гарячий цех	19,20
23	Зона прийому продуктів,	9,58
24	Холодильники	13,20
25	Мийна столового і кухонного посуду	4,79
26	Сервізна	10,56
27	Комора	6,31
28	Кімната для персоналу	13,19
29	С/в для чоловіків	8,45
30	С/в для жінок	8,50

План другого поверху



Експлікація приміщень 2 поверху

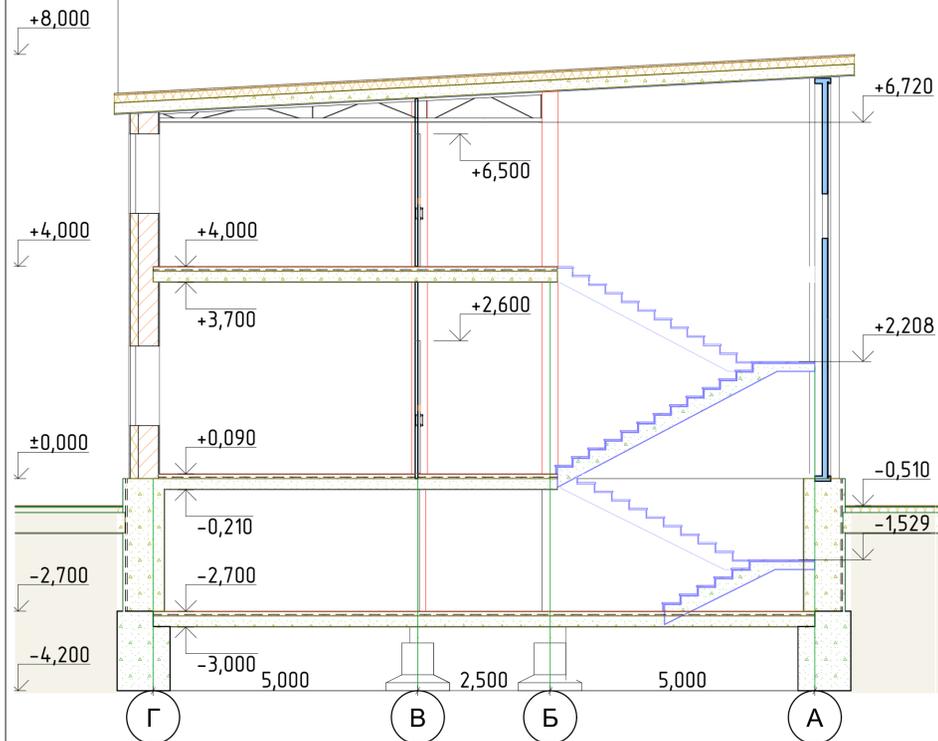
№	Ім'я зони	Площа, м2
1	Холл	57,03
2	Торговельна площа	49,77
3	С/в для чоловіків	9,78
4	Коридор	67,47
5	Торговельна площа	35,42
6	Торговельна площа	31,79
7	Торговельна площа	30,82
8	Торговельна площа	20,14
9	Торговельна площа	15,86
10	Торговельна площа	20,21
11	Торговельна площа	18,35
12	Торговельна площа	18,69

08-11 МКР.011 - АР

Базатафункційний побутовий комплекс				Стадія	Лист	Листів
Змн. Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	П	4	10
Розробив	Осаулук Р.С.					
Перевірив	Христич О.В.					
Ніж контроль	Масвська І.В.					
Керівник	Христич О.В.					
Опонаент	Слбак О.Ю.			ВНТЧ, зр. 16М-24М		
Затвердив	Швець В.В.			План 1 поверху, план 2 поверху, експлікація приміщень		

Розріз 1-1

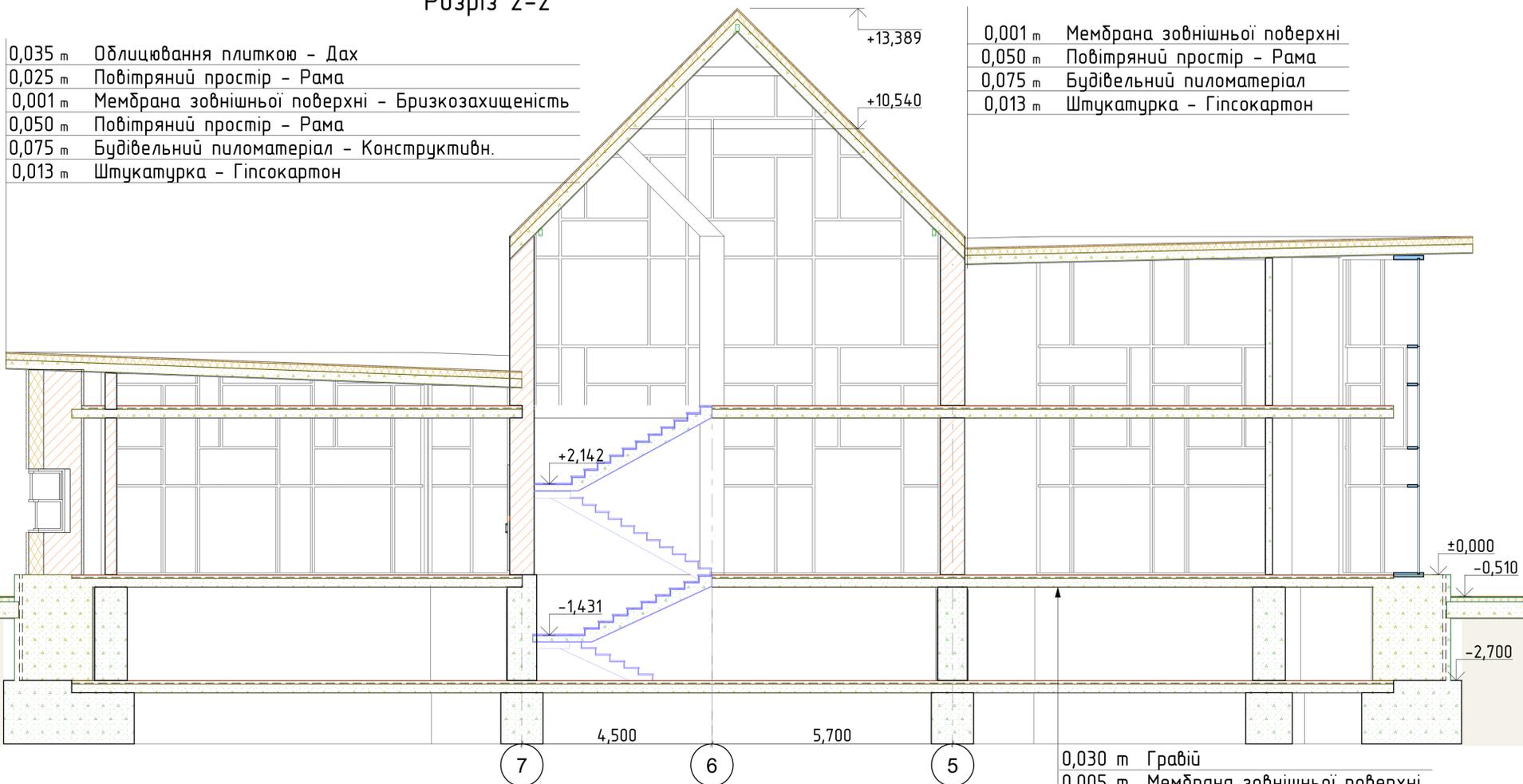
- 0,001 м Мембрана зовнішньої поверхні - Бризкозахищеність
- 0,050 м Повітряний простір - Рама
- 0,075 м Будівельний пиломатеріал - Конструктивн.
- 0,013 м Штукатурка - Гіпсокартон



- 0,200 м Залізобетон - Конструктивн.
- 0,030 м Ізоляція - Жорстка мінеральна сировина
- 0,050 м Бетон
- 0,010 м Облицювання плиткою - Підлога

Розріз 2-2

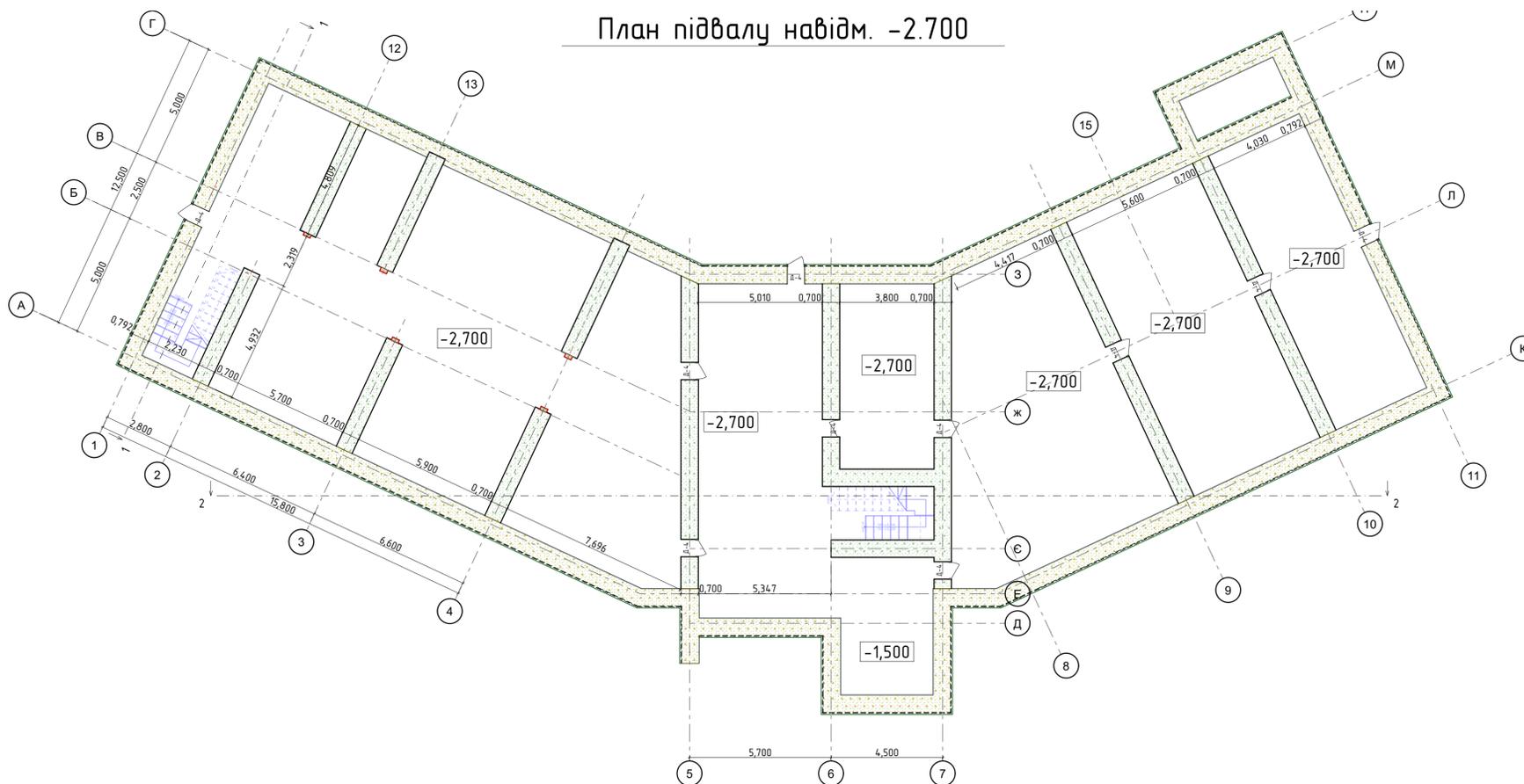
- 0,035 м Облицювання плиткою - Дах
- 0,025 м Повітряний простір - Рама
- 0,001 м Мембрана зовнішньої поверхні - Бризкозахищеність
- 0,050 м Повітряний простір - Рама
- 0,075 м Будівельний пиломатеріал - Конструктивн.
- 0,013 м Штукатурка - Гіпсокартон



- 0,001 м Мембрана зовнішньої поверхні
- 0,050 м Повітряний простір - Рама
- 0,075 м Будівельний пиломатеріал
- 0,013 м Штукатурка - Гіпсокартон

- 0,030 м Гравій
- 0,005 м Мембрана зовнішньої поверхні
- 0,140 м Ізоляція - Жорстке волокно
- 0,005 м Мембрана зовнішньої поверхні
- 0,200 м Плита з/б
- 0,020 м Штукатурка - Гіпсокартон

План підвалу на відм. -2.700



				08-11 МКР.011 - АР			
				Базофункціональний побутовий комплекс			
Змн. Арк.	№ док.	Підпис	Дата	Підвищення енергоефективності та конструктивної стійкості металопластикової фронтової системи для цільного будівництва	Стандія	Лист	Листів
Розробив	Осцялка Р.С.				П	7	10
Перевірив	Христинч О.В.						
Ніж контроль	Масвська І.В.						
Керівник	Христинч О.В.						
Опонент	Слівак О.Ю.						
Затвердив	Швець В.В.						
План підвалу, розрізи 1-1, 2-2				ВНТУ, зр. 1Б-24м			



Таблиця кольорів опорядження фасадів

Позначення	Зразок	Матеріал оздоблення
1		Цоколь - Панель фіброцементна фасадна НекітВоагд з текстурою дерева
2		Стіни - фарба білого кольору
3		Вікна, д'єри - металопластикові моновані коричневого кольору
4		Д'єри, металеві елементи - пофарб. нітроемаллю сірого кольору
5		Стіни - Фасадні HPL панелі з текстурою під дерево
6		Столярні вироби - моноване дерево
7		Покрівля - бітумна черепиця

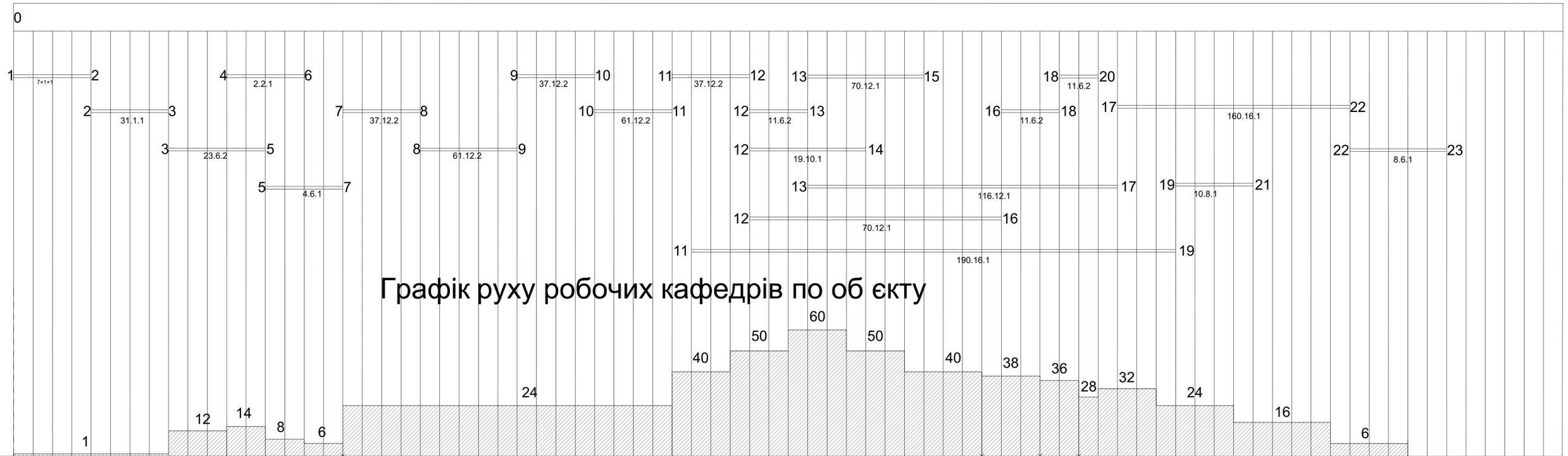


				08-11 МКР.011 - АР		
				Багатофункціональний побутовий комплекс		
Змн. Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Підвищення енергоефективності та конструктивності металопластикових світлопрозорих систем для цивільного будівництва		
Розробив	Псаулка Р.С.			Стандія	Лист	Листів
Перевірив	Христич О.В.			П	8	10
Ніж контроль	Масвська І.В.			Фасад 1-11, 11-1, візуалізація, паспорт опорядження фасадів		
Керівник	Христич О.В.			ВНТУ, зр. 1Б-24м		
Опонант	Сльвак О.В.					
Затвердив	Швець В.В.					

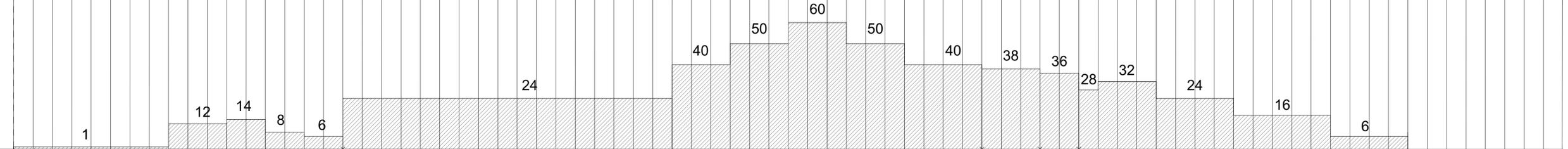
СІТКОВИЙ ГРАФІК ВИКОНАННЯ РОБІТ ПО ОБ'ЄКТУ



Графік тривалості потоку



Графік руху робочих кафедрів по об'єкту



Графік роботи будівельних машин

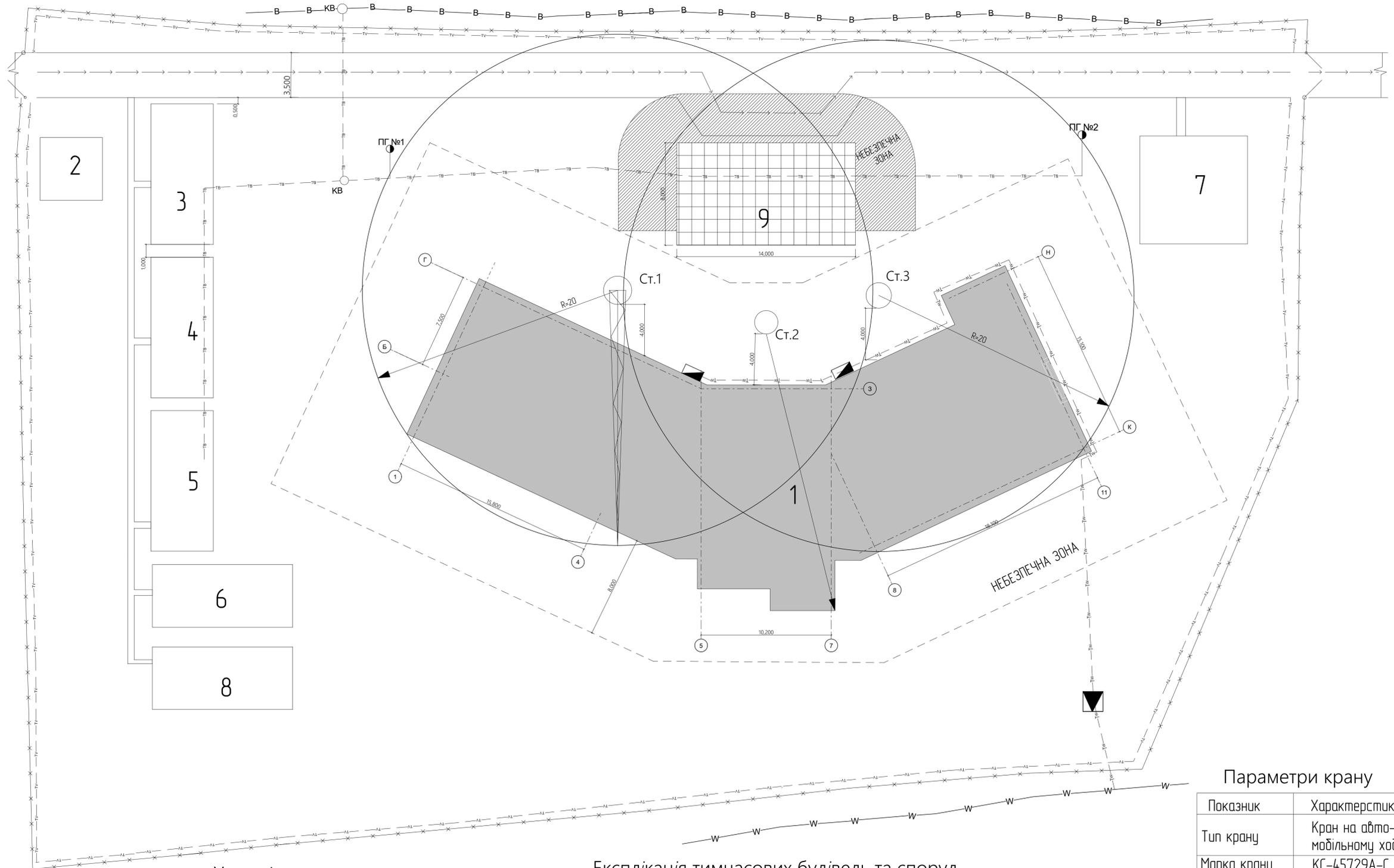
Машини	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	
Бульдозер																									
Екскаватор																									
Кран на автомобільному ході																									
Баштовий кран. Звар. апарат																									
Підйомник																									
Штукатурна станція. Розчинонасос.																									

Графік використання будівельних конструкцій, матеріалів та виробів

Конструкції	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	
Конструкції фундаментів і стін підвалу																									
Колони З/Б, бетон В25																									
Цегла керамічна, З/Б перемички, газобетонні блоки																									
Щити опалубки, арматурні каркаси і сітки																									
Сходові площини і марші плити покриття																									
Штукатурний розчин, шпаклівка																									

				08-11 і ЕД.011 - АД		
				Автори: [Імена]		
Змін	Арк	№ докум	Підпис	Дата		
Розробив	Остапко Р.С.				Старший	Лист
Перевірив	Христюк О.В.				п	9
Керівник	Христюк О.В.				Листів	10
Опонував	Слівак О.Ю.				ВНТУ, зр. 15-24м	
Замовив	Швець В.В.					

Будівельний генеральний план



Умовні позначення

Позначення	Найменування
— ТВ — ТВ —	Тимчасова мережа водопостачання
— В — В —	/снююча мережа водопроводу
— W — W —	/снююча лінія електропередач
— TW — TW —	Тимчасова високовольтна ЛЕП
— TV — TV —	Тимчасова ЛЕП 200В
● ПГ №1	Пожежний гідрант
▼	Тимчасова трансформаторна підстанція
■ РЦ №1	Розподільчий електроцилт
○ KB	Колодязь водопроводу

Експлікація тимчасових будівель та споруд

№ п/п	Найменування	Кіл-ть	Корисна площа, м²	Розміри, м	Тип будівлі
1	Будівля що проектується	1	745,911		
2	Прохідна	1	24,1	4,9x4,9	Конт.
3	Виконробська	1	49	4,9x10	Конт.
4	Гардеробні	1	49	4,9x10	Конт.
5	Приміщення для прийому іжі	1	49	4,9x10	Конт.
6	Приміщення для сушіння одягу	1	49	4,9x10	Конт.
7	Закритий склад	1	70,56	8,4x8,4	Конт.
8	Туалет	1	24,1	4,9x4,9	Конт.
9	Відкритий склад	1	112	8,00x14,00	Конт.

Параметри крану

Показник	Характерстика
Тип крану	Кран на авто-мобільному ході
Марка крану	КС-45729А-С
Висота підйому	21,7м
Виліт стріли	20,5м
Ширина баз	4,9м
Вантажо-підйомність	16т при мін. висоті

08-11.МКР.011 - П05				
Автомобільний транспортний засіб				
Зм.	Арх.	Місце	Підпис	Дата
Розробл.	Христюк Р.С.			
Перевірл.	Христюк О.В.			
Н. контроль	Христюк І.В.			
Кордник	Христюк О.В.			
Опівненл	Слобод О.О.			
Замірл.	Шевць В.В.			
Підвищені енергоздатності та конструктивної стійкості металопластикових скляноалюмінієвих систем для цивільного будівництва				Сторінка
Будівельні документи				Лист
				Лист
				Лист
ВНТУ, гр. 15-24м				

ВІДГУК ОПОНЕНТА на магістерську кваліфікаційну роботу

на тему: «Підвищення енергоефективності та конструктивної стійкості
металопластикових світлопрозорих систем для цивільного будівництва»

здобувача Осаулка Романа Сергійовича

Магістерська кваліфікаційна робота Осаулка Романа Сергійовича присвячена актуальній науково-технічній проблемі підвищення енергоефективності та експлуатаційної надійності світлопрозорих огорожувальних конструкцій у цивільному будівництві. У сучасних умовах зростання вартості енергоресурсів, посилення вимог до енергозбереження та адаптації будівель до кліматичних змін обрана тема є надзвичайно важливою як з наукової, так і з практичної точки зору.

У роботі автором послідовно вирішено поставлені у вступі завдання. У першому розділі виконано ґрунтовний аналіз нормативної бази України та Європейського Союзу щодо теплозахисту огорожувальних конструкцій, а також проведено огляд сучасних конструктивних рішень металопластикових світлопрозорих систем. Автор коректно узагальнює літературні джерела, виділяє основні фактори, що впливають на теплотехнічну ефективність віконних блоків, та формулює передумови для власних досліджень.

Другий розділ роботи відзначається високим рівнем інженерної обґрунтованості. Автором детально описано матеріали та методи досліджень, наведено розрахункові схеми, граничні умови та параметри числового моделювання. Використання сучасних підходів до теплотехнічного та напружено-деформованого аналізу дозволило отримати достовірні результати щодо поведінки віконних конструкцій при дії температурних, вітрових і експлуатаційних навантажень.

У третьому розділі виконано аналіз результатів досліджень із чіткою прив'язкою до таблиць, графіків і числових моделей. Отримані результати свідчать про істотне зниження тепловтрат через світлопрозорі огорожувальні конструкції після модернізації, покращення температурного режиму внутрішніх поверхонь та зменшення ризику утворення конденсату. Висновки розділу сформульовано логічно та підтверджено розрахунковими даними.

Четвертий розділ містить розгорнуту технічну частину, що включає архітектурно-будівельні, конструктивні та технологічні рішення. Запропоновані рішення відповідають чинним ДБН і ДСТУ, відзначаються раціональністю та практичною придатністю.

Графічна частина магістерської роботи виконана на високому професійному рівні, повністю відповідає вимогам до проектної документації та логічно доповнює текстову частину. Матеріал викладено грамотно, послідовно, з дотриманням наукового стилю та технічної термінології. МКР виконана у відповідності до завдання та чинних вимог, самостійно та в повному обсязі.

Недоліки роботи:

1. Окремі графічні матеріали могли б бути доповнені більш детальними поясненнями щодо прийнятих інженерних припущень та вихідних даних.
2. У деяких підрозділах спостерігається надмірна концентрація описового матеріалу, що могло бути замінено узагальнювальними таблицями або схемами.
3. Економічна оцінка прийнятих технічних рішень могла б бути розширена шляхом аналізу декількох альтернативних варіантів світлопрозорих систем різних виробників.
4. Окремі креслення ГЧ могли б бути доповнені більш деталізованими збільшеними фрагментами вузлів та специфікаціями.

Зазначені зауваження носять рекомендаційний характер, не знижують науково-практичної цінності виконаної роботи та можуть бути усунені в подальшій професійній діяльності студента. В цілому МКР магістранта Осаулка Р. С. відповідає вимогам освітньо-професійної програми «Промислове та цивільне будівництво», спеціальності 192 – Будівництво та цивільна інженерія» та заслуговує оцінки А «відмінно».

Доцент кафедри ТЕ, к.т.н., доцент
(посада, науковий ступінь, вчене звання)

(підпис)

Співак О. Ю.
(ініціали, прізвище)

ВІДГУК

керівника магістерської кваліфікаційної роботи

на тему: «Підвищення енергоефективності та конструктивної стійкості металопластикових світлопрозорих систем для цивільного будівництва»

здобувача групи 1Б-24м Осаулка Романа Сергійовича

Автором виконано комплексне дослідження, яке поєднує аналіз нормативних вимог, числове моделювання та технічне проєктування. Особливої уваги заслуговує застосування сучасних методів теплотехнічного аналізу та оцінки напружено-деформованого стану конструктивних елементів, що дозволяє обґрунтувати доцільність використання запропонованих технічних рішень.

Робота має чітку логічну структуру, всі розділи взаємопов'язані між собою, а висновки ґрунтуються на отриманих розрахункових і графічних даних. Запропоновані технічні рішення можуть бути використані як у новому будівництві, так і при термомодернізації існуючих будівель.

Графічна частина роботи відзначається високою якістю виконання та повною відповідністю текстовим матеріалам. Вона наочно відображає прийняті конструктивні, планувальні та технологічні рішення.

Студент Осаулко Роман Сергійович за час навчання у закладі вищої освіти зарекомендував себе як відповідальний, цілеспрямований та дисциплінований здобувач вищої освіти. Володіє достатнім рівнем теоретичних знань з фахових дисциплін та вміє застосовувати їх для розв'язання інженерних і науково-практичних задач. Виявляє стійкий інтерес до проблем енергоефективності будівель, конструктивних рішень огорожувальних систем і сучасних технологій будівництва. Під час виконання магістерської кваліфікаційної роботи продемонстрував уміння працювати з нормативно-технічною документацією, науковими джерелами, розрахунковими методиками та графічними матеріалами.

Студент здатний самостійно планувати свою роботу, аналізувати отримані результати та формулювати обґрунтовані технічні висновки. Відзначається наполегливістю, організованістю та відповідальним ставленням до виконання навчальних і наукових завдань. У процесі підготовки кваліфікаційної роботи проявив ініціативність, інженерне мислення та вміння працювати з сучасними програмними засобами.

Зауваження:

1. У розділі 2 бажано було б більш детально описати вибір параметрів числового моделювання.

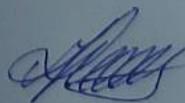
2. У розділі 3 доцільно було б розширити порівняльний аналіз результатів із сучасними європейськими дослідженнями аналогічної тематики.

3. У графічній частині можна було б додатково представити альтернативні варіанти вузлів примикання віконних блоків.

Наведені зауваження носять рекомендаційний характер і не знижують загальної позитивної оцінки роботи.

Магістерська кваліфікаційна робота відповідає вимогам, що ставляться до робіт освітнього рівня «магістр», а її автор заслуговує на присвоєння кваліфікації магістра за спеціальністю 192 – «Будівництво та цивільна інженерія» і при відповідному захисті заслуговує на оцінку «А» 95 балів.

Керівник магістерської кваліфікаційної роботи, к.т.н., доцент



О. В. Христич