Український державний університет залізничного транспорту

Кафедра будівельних матеріалів, конструкцій та споруд

ПРОЕКТ БУДІВНИЦТВА ЖИТЛОВОГО БУДИНКУ З ВИКОРИСТАННЯМ 3D-ДРУКУ У М. ХАРКІВ

Пояснювальна записка і розрахунки

до дипломного проекту магістра

ДПБ 638.00.00.ПЗ

Розробив студент, групи 212-ПЦБ-Д24 спеціальності 192 «Будівництво та цивільна інженерія» (роботу виконано самостійно, відповідно до принципів академічної доброчесності)

_____ Софія РЯБЧЕНКО
(підпис)

Керівник: доцент кафедри, канд. техн. наук, доцент

_____Сергій МІРОШНІЧЕНКО
(підпис)

Рецензент: доцент, канд. техн. наук
_____Орел Євген Федорович
(підпис)

2025 р.

Український державний університет залізничного транспорту

Факультет	будівельний
Кафедра	будівельних матеріалів, конструкцій та споруд
Рівень вищої освіти	другий
Ступінь вищої освіти	магістр
Галузь знань	Промислове та цивільне будівництво
Спеціальність	192 Будівництво та цивільна інженерія

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри
професор, д-р техн. наук

_____ Дмитро ПЛУГІН

_____ 2025 р.

ЗАВДАННЯ
НА ДИПЛОМНИЙ ПРОЕКТ
Рябченко Софії Русланівні

1 Тема проекту «Проект будівництва житлового будинку з використанням 3D-друку у м. Харків»
Керівник Мірошніченко Сергій Валерійович, к. т. н, доцент
затверджені розпорядженням по будівельному факультету
від "_____" _____ 20__ року № _____
2 Строк подання студентом проекту " ____ " _____ 20__ року.
3 Вихідні дані Проект будівництва житлового будинку з використанням 3D-друку у м. Харків.
Місце для проектування житлового будинку. Технологія зведення будинку – 3Д друк. Зовнішні габарити будинку не повинні перевищувати 11,0х23,0 м.Будинок одноповерховий із підвалом. Місце розташування будинку - м. Харків.

4 Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) 1 Вступ;
2 Архітектурно-будівельний розділ;
3 Розрахунково-конструктивний розділ;
4 Технологія та організація будівельних робіт;
5 Охорона праці та захист навколишнього середовища;
6 Санітарно-технічна частина проекту (розрахунок теплового опору)

5 Перелік графічного матеріалу

1-4 лист Архітектурна частин та конструктивна схема.

5-8 лист Розрахунково-конструктивна частина. .

9 лист Технологічна частина.

10 лист Будгенплан.

6 Дата видачі завдання "6" жовтрня 2025 року.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№	Назва етапів	Строк виконання етапів	Примітка
1	Архітектурно-будівельний розділ	06.10.2025 р. - 30.11.2025 р.	
2	Розрахунково-конструктивний розділ	01.11.2025 р. - 15.12.2025 р.	
3	Технологія та організація будівництва	01.12.2025 р. - 25.12.2025 р.	
4	Розділ з охорони праці та охорони навколишнього середовища	10.12.2025 р. - 25.12.2025 р.	

Студент _____ Софія РЯБЧЕНКО

Керівник _____ Сергій МІРОШНІЧЕНКО

Зміст

Вступ
1 Загальна частина 5
1.1 Актуальність теми 10
1.2 Основні задачі 11
1.3 Характеристики об'єкту 12
2 Архітектурно-будівельний розділ 13
2.1 Характеристика району та території будівництва (генеральний план) 13
2.2 Техніко-економічні показники генплану 15
2.3 Призначення об'єкта 15
2.4 Функціональне призначення приміщень 16
2.5 Обґрунтування необхідності будівництва 17
2.6 Обґрунтування об'ємно-планувального рішення 17
2.7 Обґрунтування конструктивних рішень та матеріалів 17
2.8 Теплотехнічний розрахунок огороджувальних конструкцій 18
2.9 Інсоляція та природне освітлення 18
2.10 Інженерні мережі 19
2.11 Об'ємно-планувальне рішення будинку 20
2.12 ТЕП об'ємно-планувального рішення будинку 21
2.13 Архітектурно-конструктивне рішення будинку 22
2.14 Фундаменти 22
2.15 Стіни підвалу 23
2.16 Гідроізоляція 23
2.17 Зовнішні стіни 24
2.18 Внутрішні стіни 25
2.19 Перегородки 25
2.20 Плити перекриття 25
2.21 Сходові марші та площадки 26
2.22 Дах і покрівля 27
2.23 Вентиляція 28

						ДПБ 638.00.00 ПЗ		
Змін	Кільк	Арк	№Док	Підпис	Дата			
Виконав		Рябченко С.				Проект будівництва житлового будинку з використанням 3D-друку у м. Харків	стадія	аркуш	аркушів
Керівник		Мірошниченко С.В.					У	3	89
Консультант		Мірошниченко С.В.					УкрДУЗТ гр. 212-ПЦБ-Д24		

3 Розрахунково-конструктивний розділ 29
3.1 Аналіз забезпечення надійності несучих конструкцій будівлі 29
3.2 Розрахунок залізобетонної колони 29
3.3 Розрахунок армопоясу 33
3.4 Розрахунок об'єму стін 34
3.5 Розрахунок ригелю 36
3.6 Розрахунок термічного опору стіни 39
4 Технологія та організація будівельних робіт 74
4.1 Вибір монтажного обладнання 74
4.2 Критерії якості друку 77
5 Охорона праці та захист навколишнього середовища 78
5.1 Загальна характеристика умов праці 78
5.2 Охорона праці та пожежна профілактика 81
5.3 Захист навколишнього середовища 84
6 Список використаних джерел 87

Вступ

Відповідно до виданого завдання розроблено дипломний проект на будівництво індивідуального житлового будинку з використанням технології 3D-друку бетону. Місце будівництва – м. Харків. Об'єкт – одноповерховий будинок з частковим другим поверхом над гостьовою зоною та техпідпіллям.

В дипломному проекті є: обґрунтування техніко-економічної доцільності та технологічної можливості застосування 3D-друку для будинку в умовах Харкова., адаптація архітектурно-планувального рішення під 3D-друк, розробка технологічної схеми будівництва з використанням 3D-принтера та крану-маніпулятора для перекриттів та покрівлі.

Виконання цих завдань дозволить створити інноваційний проект швидкого, економічного та енергоефективного будинку, який може стати типовим для масового відновлення індивідуальної забудови в Харкові та інших регіонах України.

АНОТАЦІЯ

Дана кваліфікаційна робота включає в себе 18 слайдів презентації, 89 аркушів пояснювальної записки формату А4, що включає 19 рисунків, 10 таблиці, 20 літературних джерел.

Ключові слова: 3D-ДРУК, БУДІВНІЦТВО, ЖИТЛОВИЙ БУДИНОК, ХАРКІВ, БЕТОН, СТІНІ, АДАТИВНІ ТЕХНОЛОГІЇ, ПЕРЕКРІТТЯ, ЕКОЛОГІЧНІСТЬ, КОЛОНИ, АРМАТУРА, ОХОРОНА ПРАЦІ.

Цей дипломний проект є розробкою будівництва одноповерхового житлового будинку в м. Харків з використанням технології 3D-друку. Будинок включає підвал, перший поверх із приміщеннями загальною площею близько 155 м² (вітальня, кухня, спальні, санвузли та ін.), а також веранду. Конструктивні рішення охоплюють фундамент із блоків ФБС, перекриття з плит ПК, колони та армопоясу з бетону С20/25, етапи друку стін до позначки +5,300 м. Проект враховує кліматичні умови Харкова та орієнтований на інноваційні методи будівництва. Запропонований проект дає змогу швидко та якісно побудувати довговічну споруду для відновлення індивідуальної забудови місця.

ABSTRACT

This qualification work includes 18 presentation slides, 89 pages of explanatory notes in A4 format, including 19 figures, 10 tables, and 20 references.

Keywords: 3D PRINTING, CONSTRUCTION, RESIDENTIAL BUILDING, KHARKIV, CONCRETE, WALLS, ADAPTIVE TECHNOLOGIES, FLOORS, ECOLOGICAL, COLUMNS, REINFORCEMENT, OCCUPATIONAL SAFETY.

This thesis project is a design for the construction of a single-story residential building in Kharkiv using 3D printing technology. The house includes a basement, a first floor with rooms totaling approximately 155 m² (living room, kitchen, bedrooms, bathrooms, etc.), and a veranda. The structural solutions include a foundation made of FBS blocks, PK slab floors, columns and reinforced concrete C20/25 belts, and wall printing stages up to the +5.300 m mark. The project takes into account the climatic

conditions of Kharkiv and focuses on innovative construction methods. The proposed project makes it possible to quickly and efficiently build a durable structure to restore the individual development of the site.

1 Загальна частина

3D-друк у сфері будівництва — це інноваційна технологія, що дозволяє створювати будівлі шляхом пошарового нанесення спеціальних будівельних сумішей за допомогою великоформатного принтера. Такий підхід відкриває низку суттєвих переваг порівняно з традиційними методами зведення житла.

Впровадження адитивних технологій (3D-друк бетоном) у будівництво обумовлено багатьма світовими викликами та потребами галузі. По-перше, світова будівельна галузь стикається з гострою потребою у швидкому та економічно ефективному будівництві житла.



Рис. 1.1 Зведення стіні

По-друге, будівельний сектор є одним із найбільших споживачів природних ресурсів. Адитивні технології відкривають потенціал для суттєвого скорочення будівельних відходів та оптимізації використання матеріалів. По-третє, у

будівельному секторі відчувається нестача кваліфікованої робочої сили. Автоматизація будівельних процесів за допомогою 3D-друку бетоном дозволяє частково вирішити цю проблему.

З технологічної точки зору останні досягнення у галузі матеріалознавства, робототехніки та технологій створюють сприятливі умови для широкого впровадження адитивних технологій у будівництві. Розробляються нові будівельні суміші, оптимізовані для 3D-друку бетоном, удосконалюються системи контролю якості та автоматизації процесів пошарового формування.

Адитивні технології у будівництві нині переживають стадію активного розвитку, де ключову роль відіграють спеціалізовані 3D-принтери для роботи з бетоном. До основних конструктивних типів таких принтерів відносяться:

- портальні конструкції з рухомою рамою (переміщення екструдера по декартових осях X, Y та Z; забезпечують високу точність друку та стабільність процесу; застосовуються для малих архітектурних форм та будівельних конструкцій);



Рис. 1.2 3D-принтери портальні з рухомою рамою

- портальні конструкції з нерухомими або рухомими вертикальними конструкціями та переміщенням двох поздовжніх та/або однієї поперечної балки (забезпечують досить високу точність та продуктивність друку; застосовуються для отримання великогабаритних будівельних конструкцій);



Рис. 1.3 3D-принтери портальні з нерухомою рамою

-роботизовані маніпулятори (на базі багатокоординатних промислових роботів, дозволяють друкувати складні просторові конструкції. Мають більшу гнучкість у порівнянні з портальними системами, але потребують більш складного програмного забезпечення та мають меншу продуктивність);



Рис. 1.4 3D-принтери мобільні

- мобільні бетонні 3D-принтери (конструкція допускає автономне переміщення та встановлення на різні поверхні; для швидкого зведення тимчасових конструкцій);

- гібридні системи (об'єднують властивості різних типів бетонних принтерів, забезпечуючи максимальну адаптивність до різних архітектурно-будівельних завдань).

Усі типи бетонних принтерів дозволяють поєднувати традиційні методи будівництва з адитивними технологіями.

Швидкість будівництва. 3D-друк значно скорочує час спорудження будинку — від кількох тижнів до кількох днів. Автоматизований процес дозволяє працювати безперервно, без потреби у великій кількості робітників, що особливо важливо під час ліквідації наслідків стихійних лих чи браку житла.

Зниження вартості. Завдяки автоматизації, зменшенню кількості працівників і точному дозуванню матеріалів собівартість житла суттєво знижується. 3D-друк дозволяє економити до 30–50 % витрат порівняно з традиційним будівництвом.

Гнучкість у проєктуванні. Однією з головних переваг 3D-друку є можливість створення складних форм і конструкцій, які важко або неможливо виготовити традиційними методами. У класичному виробництві дизайн обмежений технологічними особливостями, такими як необхідність виготовлення прес-форм або обробки матеріалу. Натомість 3D-друк дозволяє реалізовувати будь-які ідеї без додаткових витрат на виробництво інструментів.

Екологічність і мінімізація відходів. Технологія забезпечує точне використання матеріалів — без надлишків і обрізків. Використовуються екологічні суміші на основі цементу, глини чи перероблених відходів, що зменшує вплив на довкілля.



Рис. 1.5 3D-принтери форми

Підвищена точність і якість. Програмне керування друком забезпечує високу точність у дотриманні креслень і пропорцій. У результаті зменшуються людські помилки, а стіни виходять рівними та міцними.



Рис. 1.6 3D-принтери точність друку

Безпечніші умови праці. Оскільки більшість процесів автоматизовано, знижується ризик травматизму на будівельному майданчику. Людина контролює процес дистанційно або виконує лише технічне обслуговування обладнання.

Перспективи для масового будівництва. 3D-друк здатен забезпечити швидке зведення доступного житла для малозабезпечених верств населення, переселенців чи постраждалих від воєн і катастроф. Це може стати одним із ключових інструментів вирішення житлової кризи у світі.

1.1 Актуальність теми

Сучасний етап розвитку будівельної галузі характеризується стрімким впровадженням інноваційних технологій, спрямованих на підвищення ефективності, зниження вартості та скорочення термінів будівництва, а також забезпечення екологічності та енергоефективності об'єктів. Одним із найбільш перспективних напрямів є технологія 3D-друку бетону, яка дозволяє створювати монолітні конструкції шляхом пошарового нанесення спеціальних сумішей.

Актуальність теми дипломного проекту «Проект будівництва житлового будинку з використанням 3D-друку у м. Харків» зумовлена кількома ключовими факторами:

- Руйнування житлового фонду внаслідок військових дій, або катастроф. Стрворюють гостру потребу у швидкому, економічно вигідному та якісному відновленні житла. Традиційні методи будівництва не завжди здатні забезпечити необхідні темпи відбудови при обмежених ресурсах.

- Світовий досвід (проекти компаній Apis Cor, ICON, Winsun, COBOD, CyBe Construction, «Перший 3D-друкований будинок в Україні» у Києві 2023 р.) доводить, що за допомогою 3D-друку можливо зводити повноцінні житлові будинки площею від 100 до 200 м² від 5 до 15 діб, зі зниженням витрат від 40 до 70 % та зменшенням відходів будівництва до 60 % порівняно з класичними методами.

- Оскільки більшість процесів автоматизовано, знижується ризик травматизму на будівельному майданчику. Людина контролює процес дистанційно або виконує лише технічне обслуговування обладнання.

- Будівельний сектор є одним із найбільших споживачів природних ресурсів. 3D-друк відкриває потенціал для суттєвого скорочення будівельних відходів та оптимізації використання матеріалів.

- У будівельному секторі відчувається нестача кваліфікованої робочої сили. Автоматизація будівельних процесів за допомогою 3D-друку бетоном дозволяє частково вирішити цю проблему.

- Зростання вимог до енергоефективності будівель (ДБН В.2.6-31:2021 «Теплова ізоляція будівель», ДБН В.1.2-11-2022 «Основні вимоги до будівель і споруд. Енергоефективність»), екологічності матеріалів та адаптивності житла до кліматичних умов східної України роблять технологію 3D-друку особливо привабливою, оскільки вона дозволяє створювати конструкції з оптимізованою геометрією стін, інтегрованими порожнинами для утеплювача та комунікацій.

1.2 Основні задачі

Основні задачі, що вирішуються у дипломному проекті:

- Обґрунтування техніко-економічної доцільності та технологічної можливості застосування 3D-друку бетону для даного будинку в кліматичних та ґрунтових умовах м. Харків.

- Адаптація існуючого архітектурно-планувального рішення під технологію 3D-друку (оптимізація товщини та конфігурації стін, радіуси заокруглень, ухили, інтеграція віконних та дверних блоків).

- Виконання статичного розрахунку несучої системи (друковані стіни монолітна плита перекриття та фундаментна плита) з відповідністю до ДБН В.1.1-12:2014, ДБН В.2.6-198:2014 та EN 1992-1-1.

- Розробка технологічної схеми будівельного процесу з використанням 3D-принтера, влаштування перекриттів, покрівлі, за допомогою крану-маніпулятору.

Виконання поставлених завдань дозволить розробити реальний інноваційний проект швидкого, економічного та енергоефективного житлового будинку, який може стати типовим рішенням для масового відновлення індивідуальної забудови міста Харкова та інших постраждалих регіонів України з використанням технології 3D-друку.

1.3 Характеристики об'єкту

Відповідно до виданого завдання розроблено дипломний проект на будівництво житлового будинку з використанням 3D-друку. Місце будівництва – м. Харків.

Об'єкт проектування – одноповерховий (з частковим другим поверхом над гостьовою зоною та техпідпіллям) індивідуальний житловий будинок загальною площею = 185,67 м² (з урахуванням техпідпілля = 165,12 м²), розташований у м. Харків, з двома спальнями, просторою гостьовою зоною, кухнею-вітальнею, верандою та повноцінним техпідпіллям (топкова, погріб, пральня, техприміщення).

У будівництві враховано:

- параметричне проєктування стінових конструкцій для 3D-друку;
- інтеграція порожнин у товщі стін для заповнення ефективним утеплювачем (пінобетон, екована, пінополіуретан);
- інтеграція порожнин у товщі стін для розміщення мебелі;
- використання місцевих матеріалів (цемент Харківського регіону, відсіви, вторинні заповнювачі) у складі друкованої суміші.

Згідно карти районування території України, приведеної в ДСТУ Н Б В.1.1-27:2010 «Будівельна кліматологія», місто розташоване в I (північно-західному) кліматичному районі. Будівництво запроектовано з урахуванням природно-кліматичних, демографічних та інших місцевих умов в будівельно-кліматичній зоні, які характеризують місце будівництва такими факторами:

- Помірна зима, що обумовлює необхідну теплоізоляцію житла;
- Швидкісний натиск вітру – 450 Па;
- Нормативне снігове навантаження – 1600 Па;
- Нормативна глибина промерзання – 1,1 м
- Середня температура найбільш холодної п`ятиденки – мінус 23 °С;
- Середня температура найбільш холодної доби – мінус 28 °С;
- Абсолютна мінімальна температура – мінус 36 °С
- Абсолютна максимальна температура – плюс 39 °С.

2 Архітектурно-будівельний розділ

2.1 Характеристика району та території будівництва (генеральний план)

Об'єкт проектування – індивідуальний одноповерховий житловий будинок з частковим другим поверхом над гостьовою зоною та техпідпіллям – розташовано в приватному секторі міста Харкова. Ділянка загальною площею 0,0680 га, на якій проектується житловий будинку з використанням технології 3D-друку.

Ділянка прямокутної форми має рівнинний рельєф з незначним ухилом до південного заходу. Ґрунти – лесовидні суглинки середньої водонасиченості, нормативна глибина промерзання – 1,1 м (ДСТУ-Н Б В.1.1-27:2010).

Будинок розміщено в північній частині ділянки з відступами: від північної (фронтальної) межі – 5,00 м; від східної межі – 3,00 м; від західної межі – 3,00 м; від південної (тильної) межі – від 2,50 м (південно-західний кут) до 4,20 м (південно-східний кут) що відповідає ДБН Б.2.2-12:2019 "Планування і забудова територій".

На генплані передбачено: зону відпочинку з терасою, майданчик для сміттєвих контейнерів, резервну зону для розміщення 3D-принтера на період будівництва (площа ≈ 6 м²).

Житлова територія розміщена з підвітряної сторони, з урахуванням основних напрямків вітрів. Основний напрямок визначено за допомогою "Рози вітрів" для літнього й зимового сезонів, відповідно до інформації з ДСТУ Н Б В.1.1-27:2010 "Будівельна кліматологія".

Таблиця 2.1 – Повторюваність вітру

Місяць	Пн	ПнСх	Сх	ПдСх	Пд	ПдЗ	Зх	ПнЗ
Січень	9	12	16	17	10	12	13	11
Липень	17	14	12	9	4	9	14	21

Як видно з таблиці, домінуючі вітри в:

- січні – північно-східні,

- в липні – північно-західні.

Розташування та орієнтація споруди гарантують інсоляцію житлових кімнат щонайменше 2,5 години на день. Система вулиць, шляхів та маршрутів громадського транспорту інтегрована в загальну міську мережу. Ширина проїжджих частин вулиць, доріг та тротуарів встановлена з огляду на їхні категорії, згідно з ДБН 360-92** "Містобудування. Планування і забудова міських і сільських поселень". Відстані між спорудами відповідають вимогам санітарних і протипожежних стандартів.

Для формування комфортних санітарно-гігієнічних умов та захисту довкілля передбачено озеленення ділянки за допомогою дерев, кущів, клумб та газонів із багаторічних трав.

Стік поверхневих вод спрямовується до системи зливової каналізації. Вертикальне планування території сприяє оперативному відведенню води.

Планування та забудова мікрорайону вирізняється низкою техніко-економічних показників (ТЕП).

2.2 Техніко-економічні показники генплану

Таблиця 2.2 – Техніко-економічні показники генплану

№ з/п	**Назва**	**Один. виміру**	**Підрахунок, кількість**
1.	Загальна площа території $F_{тер}$= **a x b**	$м^2$	20x34= 680
2.	Площа забудови будівлями і спорудами $F_{буд.}= \sum F_{буд.}$	$м^2$	185,67
3.	Площа доріг, доріжок, тротуарів $F_{дор.} = \sum F_{дор.}$	$м^2$	-
4.	Площа озеленення $F_{озел.} = F_{тер} - F_{буд} - F_{дор}$	$м^2$	680-185,67 = 494,33
5.	Коефіцієнт озеленення $К_{озел.} = F_{озел} / F_{тер}$ **x100%**	%	494,33/680x100 = 73%
6.	Щільність житлової забудови $Щ_{заб}= F_{буд} / F_{тер}$ **x 100%**	%	185,67/680x100 = 27%
7.	Коефіцієнт використання території $К_{тер.}=(F_{буд} + F_{дор}) / F_{тер}$ **x100%**	%	185,67/680x100 = 27%

Для зведення стін споруди застосована методика 3D-друку з бетону з використанням крана-маніпулятора моделі Palfinger PK 15500 Performance (або еквівалентного). Під час робіт на генеральному плані відведено тимчасову ділянку для встановлення 3D-принтера, ємності з бетоном та крана-маніпулятора.

Площа зелених насаджень сягає 494,33 м² (73% від загальної території). Заплановано облаштування газону, висадку декоративних і плодових дерев (яблуні, вишні), кущів уздовж західного та південного кордонів, а також клумб біля центрального входу та тераси.

2.3 Призначення об'єкта

Запроектований житловий будинок орієнтований на постійне проживання родини з 3–4 членів.

Згідно зі статтею 32 згаданого Закону, класифікація об'єкта будівництва за категорією складності проводиться проектною організацією та замовником.

Норми чинного ДБН А.2.2-3-2004 «Склад, порядок розроблення, погодження та затвердження проектної документації для будівництва» (зокрема, довідкового додатка П) діють у тій частині, яка не конфліктує з положеннями нормативно-правових актів вищого рівня.

Відповідно до пункту 2 статті 32 Закону, категорія складності об'єкта будівництва встановлюється на основі державних будівельних норм і стандартів, враховуючи клас наслідків (відповідальності) такого об'єкта.

Клас наслідків (відповідальності) для будівлі чи споруди визначається відповідно до пункту 5.1 чинного ДБН В.1.2-14-2009 «Загальні принципи забезпечення надійності та конструктивної безпеки будівель, споруд, будівельних конструкцій та основ».

Клас наслідків (відповідальності) для цього будинку – СС1. (Потенційна загроза здоров'ю та життю людей, кількість осіб: постійно на об'єкті – до 20, періодично – до 50, поза об'єктом – до 100; Масштаб можливих економічних втрат, м.р.з.п. – до 2000; Втрата об'єктів культурної спадщини – відсутня; Зупинка роботи транспортних, комунікаційних, енергетичних та інших інженерних мереж – відсутня.

I та II категорії складності;

Рівень вогнестійкості – III (ДБН В.2.2-9:2018).

2.4 Функціональне призначення приміщень

На відм. ±0,000 (перший поверх):

- гостьова зона (вітальня-їдальня-кухня) – 48,8 м²;

- господарська спальня з гардеробною та санвузлом – 25,4 м²;

- гостьові спальні – 16,8 м²;

- санвузол, тамбур, прихожа, коридор, веранда 49,91 м².

- на відм. +4,500 (другий світловий рівень над гостьовою):

- на відм. –2,700 (техпідпілля):

- топкова 19,60 м², погреб 5,39 м², пральня-постирочна 16,49 м², техприміщення та підвальний коридор.

- Загальна корисна площа будинку – 310,24 м², житлова – 71,8 м², будівельний об'єм – 1261,77м³.

2.5 Обґрунтування необхідності будівництва

Зведення споруди мотивоване необхідністю міста в оперативному та бюджетному відновленні фонду індивідуального житла. Звичайні методи будівництва не здатні підтримувати потрібні швидкості реконструкції. Застосування методики 3D-друку з бетону дає змогу зменшити тривалість робіт до 10–14 днів і скоротити витрати на 40-70% у порівнянні з технологіями цегляного або монолітного будівництва.

2.6 Обґрунтування об'ємно-планувального рішення

Одноповерхова конфігурація з другим світлом над зоною для гостей та технічним підпіллям обрана для оптимального використання можливостей технології 3D-друку.

Висота кімнат на першому поверсі становить 2,650–3,00 м, а другого світла – до 4,50 м, що гарантує ефективну інсоляцію та природну вентиляцію.

Організація простору відповідає нормам ДБН В.2.2-15-2019 «Житлові будинки. Основні положення» та СНіП 2.08.01-89*.

2.7 Обґрунтування конструктивних рішень та матеріалів

Несучі зовнішні й внутрішні стіни виконані як монолітні 3D-друковані конструкції з декоративним фібровим покриттям, товщиною 400 та 600 мм, оснащені вбудованими повітряними пустотами (150 мм) для теплоізоляції та монтажу інженерних мереж. Внутрішні пустоти заповнюються пінобетоном з густиною 400–600 кг/м³ або екологічною ватою. Фундамент – суцільна залізобетонна плита завтовшки 200 мм. Перекриття над технічним підпіллям і зоною для гостей – монолітна плита 220 мм. Дах – плоский експлуатований (над основною частиною) + односхилий над гостьовою зоною з нахилом 3–5°. Покрівельне покриття – мембрана з ПВХ. Вікна та двері – енергоощадні з ПВХ-профілю та двокамерними склопакетами.

2.8 Теплотехнічний розрахунок огороджувальних конструкцій

Розрахунок виконано згідно з ДБН В.2.6-31:2021 «Теплова ізоляція будівель».

Зовнішня стіна (3D-друк):

- друкований бетон GP-1 міцністю на стиск 350 МПа 600 мм;
- повітряна порожнина 150 мм;
- заповнення пінобетоном 150 мм;
- внутрішній друкований шар 50 мм.

2.9 Інсоляція та природне освітлення

Проєкт розроблено для м. Харків (географічна широта φ = 50°00′ пн. ш.). Розрахунки виконано відповідно до вимог: ДБН В.2.2-15:2019 «Житлові будинки. Основні положення» та ДБН В.2.5-28:2018 «Природне і штучне освітлення»

Нормативні вимоги для IIБ світлового кліматичного району (Харків):

- Тривалість інсоляції житлових кімнат і кухонь — не менше 2 годин 00 хвилин. Допускається скорочення до 1 год 30 хв за умови інсоляції не менше ніж у 40 % житлових кімнат будинку.

- Коефіцієнт природного освітлення (КПО) у житлових кімнатах і кухнях при бічному освітленні — не менше 0,5 %.

- Відношення площі світлових прорізів до площі підлоги житлових кімнат і кухонь — не менше 1/8 (0,125) і не більше 1/5,5.

Площа вікон (світлових прорізів) у житлових кімнатах повинна складати від 1/8 до 1/5.5 від площі підлоги.

Таблиця 2.9 – Інсоляції

Приміщення	Площа, м²	Площа вікон м²	Розрахунок	Перевірка формули	Відповідність
Вітальня	34,6	18,73	18,73/34,6= 0,54	0,54 > 0,125	Відповідає
Кухня-їдальня	14,2	3,38	3,38/14,2 = 0,24	0,24 > 0,125	Відповідає
Господарська спальня	20,4	9,7	9,7/20,4 = 0,48	0,48 > 0,125	Відповідає
Спальня	16,8	3,45	3,45/16,8 = 0,21	0,21 > 0,125	Відповідає
Гардеробна	5,8	1,35	1,35/5,8 = 0,23	0,23 > 0,125	Відповідає
Господарський санузел	11,9	2,25	2,25/11,9 = 0,19	0,19 > 0,125	Відповідає
Коридор	10,7	без вікон	-	-	Не потрібне
Прихожая + Тамбур	8,0 + 7,4	26,88	26,88/15,4 = 1,75	1,75 > 0,125	Відповідає

Усі житлові приміщення будинку забезпечені нормативною тривалістю інсоляції та природного освітлення. Світловий коефіцієнт у всіх приміщеннях перевищує мінімально допустиме значення 1/8. Природне освітлення та інсоляція

проєктного рішення повністю відповідають діючим санітарно-гігієнічним нормам України.

2.10 Інженерні мережі

Електропостачання підключена до міської мережі, встановлена потужність – 18–20 кВт (380/220 В). Лічильник електроенергії – зовн. встановлення

Резервне живлення – не передбачено

Водопостачання холодне підключено до міської мережі.

Гаряче водопостачання – автономне, передбачене у технічному приміщенні (газовий котел + бойлер непрямого нагріву)

Каналізація підключена до міської мережі каналізації.

Встановлені локальні дощоприймачі та дренаж навколо будинку. Вода виводиться у існуючу зливову каналізацію або у дренажну канаву.

Опалення та вентиляція встановлене автономне газовею.

Газопостачання підключена до міської мережі.

Слабкострумові мережі – телефонія та інтернет. Домофон та відеоспостереження.

2.11 Об'ємно-планувальне рішення будинку

Основа об'ємно-планувального рішення споруди базується на принципах створення максимального комфорту для помешкань, сформованих відповідно до норм ДБН В 2.2.15-2005 «Житлові будинки. Основні положення».

Кімнати в будинку спроектовані з різноманітними параметрами, зокрема за розмірами житлової площі та висотою. Види кімнат, допустимі загальні площі та

мінімальні житлові площі визначені згідно з ДБН В 2.2.15-2005 «Житлові будинки. Основні положення».

Запроектований одноповерховий цегляний житловий будинок із застосуванням технології 3D-друку в плані нагадує неправильний прямокутник зі сторонами в осях 18,2 × 9,6 м;

- кількість поверхів – 1, плюс підвальне приміщення;

- крок між поперечними осями – 3,9; 2,15 (2,85); 3,55 (2,85) м;

- проліт між поздовжніми осями – 3,0; 2,85; 6,3; 6,05 м;

- висота поверху – 2,65; 3,0; 4,5 м;

Будинок складається з однієї секції.

Підземна частина споруди включає технічне підпілля висотою 2,3 м, де розміщуються котельня, пральна зона, льох та інші приміщення.

За умовну відмітку 0.000 у проекті взято рівень сходового майданчика першого поверху, що відповідає абсолютній позначці на плані.

2.12 Техніко економічні показники об`ємно-планувального рішення будинку

Таблиця 2.12 – Техніко економічні показники ОПР будинку

№ з/п	Назва	Один. виміру	Підрахунок, кількість
1.	Кількість кімнат	шт	17
	Перший поверх	шт	9
	Підвальне приміщення	шт	8
2.	Житлова площа $F_{жил}$	$м^2$	71,8
	Перший поверх	$м^2$	71,8
	Підвальне приміщення	$м^2$	-
3.	Загальна корисна площа $F_{корис}$	$м^2$	310,24

	Перший поверх	$м^2$	145,12
	Підвальне приміщення	$м^2$	165,12
4.	Площа забудови будинку $F_{забуд}$	$м^2$	16,4x10,8 + 3*2,85 = 185,67
5.	Будівельний об'єм $V_{заг}$	$м^3$	834,67+427,1= 1261,77
	Перший поверх $V_{надз}$	$м^3$	(5,3*6,9*7)+(3,45*6,7*12,25)+(3,8*16,2*4,8)= 255,99+283,16+295,88 = 834,67
	Підвальне приміщення $V_{підз}$	$м^3$	185,67x2,3 = 427,1
6.	Площинний коефіцієнт $K_1 = F_{вид} / F_{корис}$	-	71,8/310,24 = 0,23
7.	Об'ємний коефіцієнт $K_2 = V_{надз} / F_{вид}$	-	834,67/71,8 = 11,62

2.13 Архітектурно-конструктивне рішення будинку

У споруді використовується каркасна система з монолітних залізобетонних колон і балок, створених шляхом монтажу металевих каркасів у заздалегідь підготовлені отвори під час 3D-друку в потрібних місцях з подальшим бетонуванням. Ця система є інтегрованою комбінацією вертикальних і горизонтальних несучих елементів, які разом гарантують міцність, жорсткість і стійкість. Горизонтальні елементи – перекриття – приймають на себе навантаження (вертикальні та горизонтальні) та впливи, передаючи їх на залізобетонний каркас будівлі, який, у свою чергу, розподіляє ці навантаження та впливи через фундаменти на грунт.

2.14 Фундаменти

У проекті застосовано збірні стрічкові фундаменти, створені з залізобетонних фундаментних плит відповідно до стандартів ДСТУ Б В.2.6-109:2010. Вибір

обґрунтований об'ємно-планувальним рішенням для підземної частини та умовно визначеною несучою здатністю ґрунту.

Обрані фундаменти монтуються у формі неперервної смуги. Проміжки між фундаментними плитами заповнюються цементно-піщаним розчином. Фундаментні подушки встановлюються на ущільненому ґрунті поверх піщаної основи завтовшки 100 мм.

Таблиця 4.1 – Специфікація елементів блок-подушок

Поз.	Позначення	Найменування	Кільк.	Маса од., кг	Примітка
7	ДСТУ Б В.2.6-109:2010	ФЛ 12.24-2	21	1760	0,703/16,70
8	ДСТУ Б В.2.6-109:2010	ФЛ 12.12-2	10	870	0,347/8,34
9	ДСТУ Б В.2.6-109:2010	ФЛ 12.8-2	23	570	0,228/5,53

2.15 Стіни підвалу

Стіни підвалу будуються із збірних бетонних фундаментних блоків, як передбачено ДСТУ Б В.2.6-108:2010.

Фундаментні блоки розміщуються на блок-подушках із застосуванням цементно-піщаного розчину, з обов'язковою перев'язкою швів. Між стрічковими фундаментами та блоками облаштовується горизонтальна гідроізоляція у вигляді руберойдного покриття.

Зовнішня поверхня стін підвалу, що стикається з ґрунтом, захищається обмазочною гідроізоляцією з бітуму, нанесеного гарячим методом у два шари.

Внутрішня поверхня стін підвалу обробляється штукатуркою.

Таблиця 4.2 – Специфікація елементів фундаментних стінових блоків

Поз.	Позначення	Найменування	Кільк.	Маса од., кг	Примітка
1	ДСТУ Б В.2.6-108:2010	ФБС 24.6.6-Т	58	1960	0,815/2,36
2	ДСТУ Б В.2.6-108:2010	ФБС 12.6.6-Т	35	960	0,398/1,46
3	ДСТУ Б В.2.6-108:2010	ФБС 9.6.6-Т	87	700	0,293/1,46
4	ДСТУ Б В.2.6-108:2010	ФБС 9.4.6-Т	27	1300	0,543/1,46
5	ДСТУ Б В.2.6-108:2010	ФБС 12.4.6-Т	11	640	0,265/1,46
6	ДСТУ Б В.2.6-108:2010	ФБС 24.4.6-Т	21	470	0,195/0,76

2.16 Гідроізоляція

В проєкті передбачається два види гідроізоляції:
вертикальна, яка виконується по зовнішній поверхні фундаментних стінових блоків у вигляді нанесення на поверхню гарячої бітумної мастики за два рази;
горизонтальна, яка виконується по блок-подушкам, у вигляді двох шарів руберойду по цементно-піщаній стяжці.

В цілях захисту основи від зволоження поверхневими водами по всьому периметру будівлі із зовнішнього боку влаштовується вимощення шириною 1 м з ухилом від будівлі 2-3 %, яке виконується з шару асфальту, укладеного по ущільненій щебеневій підготовці.

2.17 Зовнішні стіни

Зовнішні стіни виконуються з бетону для 3Д друку GP-1 міцністю на стиск 350 МПа з передбаченим зовнішнім місцем для утеплювача товщиною 150 мм. Поверхня, фарбується декоративною фарбою.

У проекті зовнішні стіни прийняті товщиною 600 мм з бетону GP-1. В зоні проходження вентиляційних каналів арматурну сітку вирізати по розміру каналів.

2.18 Внутрішні стіни

Внутрішні стіни виконані з використанням 3Д друку, бетоном GP-1 товщиною 400 мм. У місцях примикання санвузлів товщина стіни 400 мм для устрою вентиляційних каналів. Вентиляційні канали влаштовуються розміром 140×140 мм. Поверхні стін підготовлені під штукатурку.

2.19 Перегородки

Об`ємно-планувальне рішення будинку передбачає застосування перегородок із гіпсокартону. Перегородки виконані товщиною 100 мм з армуванням та встановленням металевих кріплень. Опорядження перегородок шпалерами виконується після штукатурення і затирання поверхні.

2.20 Плити перекриття

Проектом заплановано перекриття, створені зі збірних залізобетонних багатопустотних плит, виготовлених із важкого бетону завтовшки 220 мм, відповідно до стандартів ДСТУ Б В.2.6-53:2008.

Опора плит передбачена на залізобетонному поясі з двох боків, пустоти в плитах біля опор заповнюються бетонними вставками для зміцнення кінців і забезпечення додаткової тепло- та звукоізоляції завдяки утворенню закритого об'єму. Плити перекриття виробляються з заглибленнями на бокових поверхнях для посилення адгезії з бетоном після монолітного заповнення.

Нижня (стельова) поверхня плит підготовлена для нанесення фарби. З'єднання плит із зовнішніми стінами та між собою реалізується шляхом зварювання арматурних стрижнів типу «Т» або «Г» діаметром 10 мм класу А 240 С.

Таблиця 2.20 – Специфікація елементів перекриття

Поз.	Позначення	Найменування	Кільк.	Маса од., кг	Примітка
ПП-1	ДСТУ Б В.2.6-53:2008	ПК42.15-3	9	1970	0,79/36,02
ПП-2	ДСТУ Б В.2.6-53:2008	ПК42.10-3	1	1230	0,49/25,51
ПП-3	ДСТУ Б В.2.6-53:2008	ПК57.12-3	1	2000	0,80/52,68
ПП-4	ДСТУ Б В.2.6-53:2008	ПК57.10-3	1	1650	0,66/44,38
ПП-5	ДСТУ Б В.2.6-53:2008	ПК60.15-3	10	2800	1,18/83,28

2.21 Сходові марші та площадки

У проекті передбачено сходи, виконані зі збірних залізобетонних великогабаритних елементів маршів і майданчиків, які виробляються на заводі та доставляються до об'єкта будівництва. Сходові марші та майданчики прийняті відповідно до ДСТУ Б В.2.6-62:2008 для споруди з висотою поверху 2,3 м та 2,8 м (для спуску в підвальне приміщення), з нормативним навантаженням 3,5 кПа. Для забезпечення безпеки та зручності пересування сходові марші оснащуються огорожею з поручнями заввишки 0,9 м. Марші виробляються з гладкою бетонною поверхнею, підготовленою знизу для фарбування.

Таблиця 2.21 – Специфікація елементів сходових маршів та площадок

Поз.	Позначення	Найменування	Кільк.	Маса од., кг	Примітка
ЛМ-1	ДСТУ Б В.2.6-62:2008	1ЛМ 27.11.14-4 (підвал)	1	1330	0,61/38,8
ЛП-1	ДСТУ Б В.2.6-62:2008	2ЛП 25.18.4-к	2	1530	0,503/35,94
ЛМ-2	ДСТУ Б В.2.6-62:2008	1ЛМ 18.11.14-4 (цок.)	3	890	0,41/25,9

2.22 Дах і покрівля

У проекті передбачено промислову плоску покрівлю, де як гідроізоляційний шар застосовуються два шари акваізолу. Основою для рулонного покриття слугують збірні залізобетонні багатопустотні плити товщиною 220 мм, обрані відповідно до ДСТУ Б В.2.6-53:2008. Стяжку з цементно-піщаного розчину на даху розділяють температурно-деформаційними швами шириною 5 мм на ділянки розміром не більше 4,5 × 4,5 м.

Теплоізоляційний шар монтується по горищному перекриттю з пінополістиролу завтовшки 200 мм, укладеного на ПВХ-плівку. Попередньо на плиті перекриття облаштовується цементно-піщана стяжка марки М100 товщиною 20 мм. Поверх пінополістиролу виконується гідроізоляція та захисна цементно-піщана стяжка М150 завтовшки 30 мм, армованої сіткою Ø4Вр-1. Цю стяжку розділяють температурно-деформаційними швами шириною 5 мм на ділянки розміром не більше 6,0 × 6,0 м, з заповненням швів бітумно-полімерним герметиком.

Відведення води з даху запроектовано внутрішнім організованим способом, з випуском атмосферних опадів на вимощення споруди, а далі – у зелену зону. У місцях монтажу водостічних лійок основний гідроізоляційний шар посилюється двома додатковими шарами.

Зовнішні цегляні стіни завершуються парапетом висотою 600 мм. Верх парапету покривається оцинкованою покрівельною сталлю, яка фіксується до костилів, вмурованих у цегляну кладку. У місцях прилягання покрівлі до парапету та вентиляційних шахт передбачено додатковий гідроізоляційний шар.

Таблиця 2.21 – Специфікація елементів плит покриття

Поз.	Позначення	Найменування	Кільк.	Маса од., кг	Примітка
ПР1	ДСТУ Б В.2.6-53:2008	ПК60.15-3	13	2800	1,18/83,28
ПР2	ДСТУ Б В.2.6-53:2008	ПК60.12-3	1	2100	0,84/64,79
ПР3	ДСТУ Б В.2.6-53:2008	ПК57.12-3	2	2000	0,80/52,68
ПР4	ДСТУ Б В.2.6-53:2008	ПК42.15-3	10	1970	0,79/36,02

2.23 Вентиляція

Вентиляція в санвузлах та кухнях організована через вентиляційні канали в цегляних стінах, що виводяться на дах. Розміри каналів – 140 × 140 мм, вони можуть розміщуватися в один чи два ряди. Відстань між каналами становить 120 мм. Вентиляційні канали на кухнях і в санвузлах оснащені вхідними отворами розмірами 120 × 150 мм, на відстані 80

3 Розрахунково-конструктивний розділ.

3.1 Аналіз забезпечення надійності несучих конструкцій будівлі

У цьому розділі проводиться розрахунковий аналіз забезпечення надійності несучих конструкцій житлового будинку, зведеного з використанням технології 3D-друку в м. Харків. Розрахунки виконуються з урахуванням нормативних вимог ДБН В.1.2-2:2006 "Навантаження і впливи. Норми проектування", ДБН В.2.6-98:2009 "Конструкції будівель і споруд. Бетонні та залізобетонні конструкції" та інших актуальних стандартів. Перевірочні розрахунки враховують уточнення нормативних вказівок, розрахункові передумови, такі як навантаження від власної ваги, тимчасових навантажень, снігового покриву (для м. Харків – 1,4 кПа) та особливості 3D-друкованої опалубки.

Аналіз охоплює ключові несучі елементи: армопояс (армований пояс) та залізобетонні колони. Ці елементи забезпечують жорсткість каркасу, розподіл навантажень та стійкість споруди. Розрахунки базуються на конструктивних параметрах будинку: периметр 54,4 м, висота типового поверху 2,65 м (для колон – 4,5 м у деяких вузлах), перетин колон 400×400 мм, клас бетону С20/25, арматура А400 для поздовжніх елементів та А240/А200 для поперечних.

3.2 Розрахунок залізобетонної колони

Колони є вертикальними несучими елементами, що передають навантаження від перекриттів (плити багатопустотні товщиною 220 мм) на фундамент. Прийнято кутові колони висотою 4,5 м (від +0,000 до +4,500), перетином 400×400 мм, у незйомній 3D-друкованій опалубці. Розрахунок для колони на 1-му поверсі (максимальне навантаження).

Вихідні дані:

- Висота колони: 4,5 м

- Перетин: 400×400 мм.

- Розташування колони — кутова.

- Грузова площа прийнята 6 м × 6 м = 36 м²

- Снігове навантаження м. Харків 1.4 кПа або 1,4 кН /м²

Таб. 3.2 Сбор нагрузок на 1 м² за ДБН В.1.2-2:2006 Навантаження і впливи. Норми проектування

Вид навантаження	Нормативне g_n, кН/м²	Коеф. надійності γ_f	Розрахункове g, кН/м²
Постійне Багатопустотна плита 220 мм (середний)	0,11*25 = 2,75	1,1	3,0
Власна вага колони	0,16*4,5*25 = 18	1,1	19,8
Чистова стяжка + гідроізоляція	1,10	1,2	1,32
Утеплювач кровлі пінополіуретан	0,55	1,1	1,6
Разом	22,4		25,72
Тимчасове:			
Снігове навантаження	1,4	1,4	1,4 кН/м²

Постійне навантаження на колону: G_1 = 25,72 кН/м²

Тимчасове: 1,4 кН/м²

Максимальна площа, з якої збирається навантаження на 1 колону:

3м×3м = 9 м2.

Навантаження на одну колону враховуючі вагу колони:

N = 25,72 *9+0,4×0,4×4,5×25×1,1 = 251,28 кН

Тимчасове навантаження на одну колону:

N_0 = 1,4×9+0,4×0,4×4,5×25×1,1= 32,4 кН

Визначення розрахункової довжини колони.

Враховуючі з'єднання колони із фундаментом та перекриттям розрахункова довжина колон дорівнює:

$l_0 = H$

де H – висота поверху (відстань між центрами вузлів).

l_0 = 4,5 м

Характеристики міцності бетону і арматури.

Клас бетону колон прийнято С20/25 .

Для поздовжньої арматури колон прийнято стержневу арматуру класу А400С. Поперечну арматуру прийнято класу А240.

Характеристики бетону і арматури:

f_{cd} – розрахункове значення міцності бетону на стиск (призмова міцність бетону) 14,5 МПа;

γ_{c2} - коефіцієнт умов роботи бетону, 0,9;

f_{yd}, – розрахункова міцність арматури на границі текучості, 365 МПа.

Підбір перерізу арматури колони.

$N \leq \varphi\ (f_{cd}A_c + f_{yd}A_s)$,

де $A_c = h_c b_c$ - площа поперечного перерізу колони;

A_s - площа перерізу усієї поздовжньої арматури у поперечному перерізі елементу;

f_{yd}, – розрахункова міцність арматури на границі текучості

φ - коефіцієнт поздовжнього згину, що ураховує тривалість завантаження, гнучкість і характер армування елемента

$$\varphi = \varphi_b\ 2 \times (\varphi_r - \varphi_b)\frac{f_{yd}A_s}{\gamma_{c2}f_{cd}A_c} \leq \varphi_r$$

де φ_b , φ_r - коефіцієнти, що приймаються за довідковими таблицями у залежності від $\frac{N_v}{N}$ і $\frac{l_0}{h_c}$;

N - поздовжня сила на колону від повного навантаження;

N_l - поздовжня сила від постійного і тривалого навантаження;

ℓ_0 - розрахункова довжина колони.

Прийнявши значення $\varphi = 1$, $\mu = 0{,}01$ визначають потрібну площу поперечного перерізу колони.

$$A = \frac{N}{\varphi(\gamma_{c2}f_{cd} + \mu f_{yd})}$$

$$A = \frac{251{,}28}{1(0{,}9\times 14500+0{,}01\times 365000)} = 0{,}015\ м^2$$

Призначаємо розміри поперечного перерізу колони 0,4х0,4 м.

У залежності від співвідношення $\frac{32{,}4}{251{,}28} = 0{,}128$ і $\frac{4{,}5}{0{,}4} = 11{,}25$ за таблицями значення φb = 0,90 і φr = 0,90.

Відповідно φ= 0,90

Визначаємо потрібну площу перерізу поздовжньої арматури

$$A_s = \frac{N}{\varphi f_{yd}} - A\frac{\gamma_c f_{cd}}{f_{yd}}$$

$$A_s = \frac{251{,}28}{0{,}90\times 365000} - 0{,}4\times 0{,}4\frac{0{,}9\times 14500}{365000} = -0{,}00495\ м^2$$

За розрахунками арматура не потрібна. Із конструктивних вимог приймаємо армування із 4 стрижнів А400 діаметр16 мм с площею 8,04 см^2.

Відсоток армування залізобетонного сердечника (0,25х0,25 м)

$$\mu = \frac{A_{s1}}{A}100\%$$

$$\mu = \frac{8{,}04}{25\times 25}100\% = 1{,}28\%$$

де As1 - площа перерізу прийнятої поздовжньої арматури.

Для клони 0,4х0,4 приймаємо армування із 4 стрижнів А400 діаметром16 мм с площею 8,04 см^2.

Та арматура хомутів: діаметром 8 А240, з кроком 200 мм

3.3 Розрахунок армопоясу

Армопояс є горизонтальним несучим елементом, що розподіляє навантаження від стін, перекриттів та даху на фундамент, запобігаючи деформаціям. Він виконується в незйомній опалубці, надрукованій методом 3D-друку, з захисним шаром бетону не менше 25 мм з усіх боків. Перетин армопоясу прийнято 600×400 мм.

Для надійного та довговічного армопоясу важливо правильно підібрати тип та діаметр арматури, а також скласти армуючий каркас. Нижче наведено основні параметри:

Вид арматури - А400

Діаметр поздовжньої арматури – діаметр 16 мм

Діаметр поперечної арматури (хомути) – діаметр 8 мм А240

Схема укладання – 4 поздовжньої арматури діаметром 16 мм, хомути діаметром 8 мм з кроком 200 мм

Периметр будинку: 16,4×2 + 10,8×2 = 54,4 м.

Поздовжня арматура: 54,4 м × 4 = 217,6 м арматури Ø16 мм А400,

масой 343,45 кг

Хомути: 54,4 м / 0,2 м (крок) = 272 штук Кожен хомут у середньому = 2 м дроту.

Разом: 544 м арматури Ø8 мм (на хомути), масой 210,36 кг

Захисний шар бетону: мінімум 25 мм з усіх боків

Нахлест прутків при стикуванні:

Поздовжня арматура: 40–50 діаметрів

Поперечні елементи: 20–30 діаметрів

Об'єм бетону: 54,4×0,6×0,4 = 13.056 $м^3$

Армопояс інтегрується з колонами через жорсткі вузли, забезпечуючи монолітність каркасу. Загальний об'єм бетону для армопоясу – 13,056 $м^3$, для колон – близько 0,72 $м^3$ на одиницю. Перевірка на зсув і крутіння виконана за ДБН, з

урахуванням снігового навантаження 1,4 кН/м². Конструкції відповідають вимогам надійності, з запасом 1,1–1,2 на перевантаження.

Розрахунки підтверджують надійність несучих конструкцій: армопояс і колони витримують проектні навантаження з запасом. Використання 3D-друку оптимізує опалубку, зменшуючи витрати на 20–30%.

3.4 Розрахунок об'єму стін

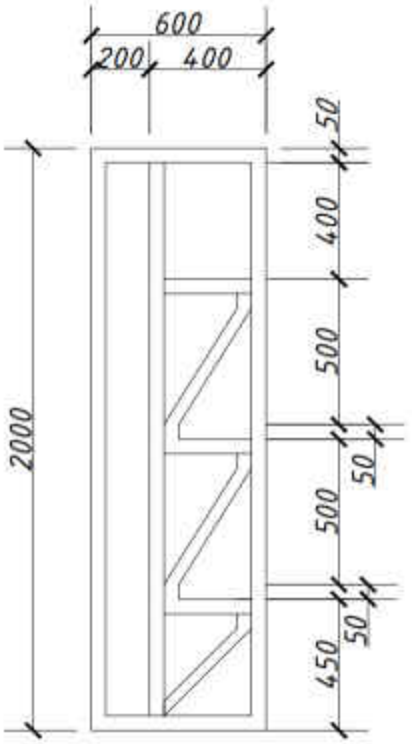


Рис. 3.4 Стіни 600 мм.

При висоті 1 м: 0,517 м³ (517 л). Орієнтовна вага: 1034 кг

Sc – об'єм стіні, Sв – об'єм вікна, S1 – розрахунковій об'єм бетону

Об'єм зовнішніх стін між осямі Б-Д та 1-2, до висоти 3,8.

$Sc1 = 0,6 \times 3,9 \times 3,8 = 8,892$ м³ (1-2, Д)

$Sв1 = 3,1 \times 0,6 \times 2,5 = 4,65$ м³

$S1 = 8,892 - 4,65 = 4,242$ м³

$S_{с2} = 0,6 \times 15,2 \times 3,8 = 34,656$ м^3 (Д-А, 1)

$S_{в2} = 1,5 \times 0,6 \times 1,5 \times 2 + 0,8 \times 0,6 \times 1,5 + 1 \times 0,6 \times 1,5 = 4,32$ м^3

$S2 = 34,656 - 4,32 = 30,336$ м^3

$S_{с3} = 0,6 \times 4,5 \times 3,8 = 10,26$ м^3 (1-2, А)

$S_{в3} = 1,5 \times 0,6 \times 1,5 = 1,35$ м^3

$S3 = 10,26 - 1,35 = 8,91$ м^3

$S3.1 = 0,4 \times 9,4 \times 0,4 = 1,504$ м^3 (Б-Г, 2)

Об'єм зовнішніх стін між осямі Б-Г та 2-4, до висоти 3,45.

$S_{с4} = 0,6 \times 6,3 \times 3,45 = 13,041$ м^3 (2-4, Б)

$S_{д4} = 2,4 \times 0,6 \times 1,5 = 2,16$ м^3

$S4 = 13,041 - 2,16 = 10,881$ м^3

$S_{с5} = 0,6 \times 9,15 \times 3,45 = 18,94$ м^3 (Б-Г, 4)

$S_{дв5} = 0,7 \times 0,6 \times 2,4 + 1,5 \times 0,6 \times 1,5 + 1 \times 0,6 \times 1,5 \times 2 = 4,158$ м^3

$S5 = 18,94 - 4,158 = 14,781$ м^3

Об'єм зовнішніх стін між осямі Г-Д та 2-4, до висоти 5,3.

$S_{с6} = 0,6 \times 6,3 \times 5,3 = 20,034$ м^3 (2-4, Д)

$S_{дв6} = 1,3 \times 0,6 \times 1,5 \times 2 + 1 \times 0,6 \times 2,1 + 4,2 \times 0,6 \times 0,6 = 5,115$ м^3

$S6 = 20,034 - 5,115 = 14,919$ м^3

$S_{с7} = 0,6 \times 6,35 \times 5,3 = 20,193$ м^3 (Г-Д, 4)

$S_{в7} = 1,5 \times 0,6 \times 1,5 \times 2 + 1,5 \times 0,6 \times 0,6 \times 2 = 3,78$ м^3

$S7 = 20,193 - 3,78 = 16,413$ м^3

$S_{с8} = 0,6 \times 6,3 \times 1,85 = 6,993$ м^3 (2-4, Г)

$S_{в8} = 4,2 \times 0,6 \times 0,6 = 1,512$ м^3

$S8 = 6,993 - 1,512 = 5,481$ м^3

$S9 = 0,6 \times 6,4 \times 1,85 = 7,104$ м^3 (Г-Д, 2)

Об'єм зовнішніх стін.

$S1 + S2 + S3 + S4 + S5 + S6 + S7 + S8 + S9 =$

$= 4,242 + 30,336 + 8,91 + 1,504 + 10,881 + 14,781 + 14,919 + 16,413 + 5,481 + 7,104 =$

$= 114,571 \times 0,517 = 59,23$ м^3 (59230 л)

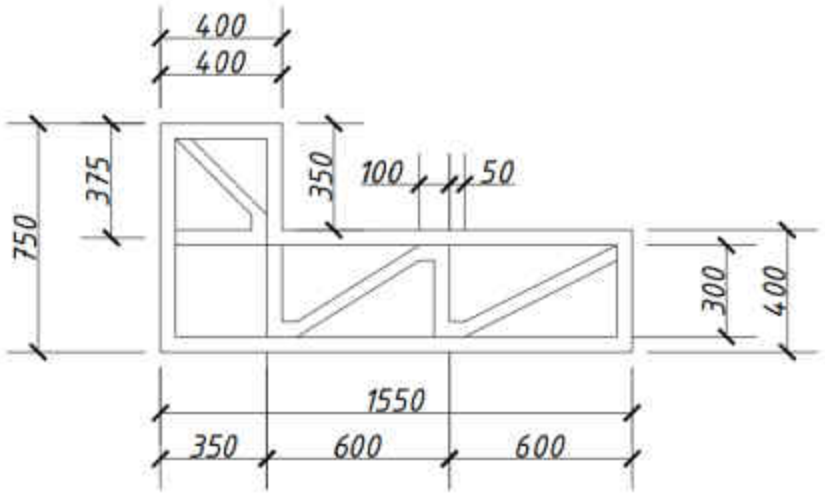


Рис. 3.4.1 Стіни 400 мм

При висоті 1 м: 0,385 м^3 (385 л). Орієнтовна вага: 770 кг

Sc – об'єм стіні, Sв – об'єм вікна, S1 – розрахунковій об'єм бетону

Об'єм внутрішніх стін між осями Г-Д та 2, до висоти 3,0.

Sc1 = 0,4×6,05×3,0 = 7,26 м^3 (Г-Д, 2)

Sд1 = 2,2×0,4×0,8 = 0,705 м^3

S1 = 7,26 - 0,705 = 6,556 м^3

Об'єм внутрішніх стін між осями Б-Г та 2, до висоти 3,0.

Sc2 = 0,4×9,15×3,0 + 0,4×3,5×3,0 = 15,18 м^3 (Г-Д, 2; 1-2)

Sд2 = 2,2×0,4×1,0+0,8×2,2×0,4 = 1,585 м^3

S2 = 15,18 - 1,585 = 13,595 м^3

Об'єм внутрішніх стін між осями 2-4 та В, до висоти 2,65.

Sc3 = 0,4×4,5×2,65 = 4,77 м^3 (В-Г, 3')

Sд3 = 2,2×0,4×0,8 = 0,704 м^3

S3 = 4,77 - 0,704 = 4,066 м^3

Sc4 = 0,4×3,75×2,65 = 3,975 м^3 (В, 3-4)

S4 = 3,975 м^3

Sc5 = 0,4×2,85×2,65 = 3,021 м^3 (3', Б-В)

Sд5 = 2,2×0,4×0,8 = 0,704 м^3

S5 = 3,021 - 0,704 = 2,317 м^3

Об'єм внутрішніх стін.

S1+ S2+ S3+ S4+ S5 = 6,556+13,595+4,066+3,975+2,317 = 30,509 м^3

= 30,509 ×0,385 = 11,74 м^3 (11740 л)

Загальний об'єм бетону:

59,23+11,74 = 70,97 м^3 (70970 л)

3.5 Розрахунок ригелю

Ригель являє собою горизонтальний елемент рамної конструкції.

З'єднання збірних (однопрогонових) елементів ригеля в нерозрізну систему виконується при монтажі зварюванням закладних деталей і замонолічуванням стиків ригеля з колоною. При цьому можливе урахування пластичних деформацій, що приводить до перерозподілу і вирівнювання згинальних моментів між окремими перерізами.

Розрахункові дані

Бетон класу С20/25;

f_{cd}=14,5 МПа = 1,45 кН/см^2; f_{ctd} = 0,75 МПа.

Арматура: зварні каркаси (повздовжня арматура, поперечна і монтажна арматура)

А400 f_{yd} = 365 МПа=36,5 кН/см^2;

А240 f_{ydc} = 225 МПа=22,5 кН/см^2;

А400 f_{ydp} = 365 МПа=36,5 кН/см^2.

Переріз ригеля прямокутний; ширина перерізу b =30 см.

Для підрахунку навантаження від власної ваги ригеля висота його призначається рівною 1=30 см (остаточне значення висоти елемента встановлюється при розрахунку перерізів).

Розрахункові прольоти

lн = 6,2 м.

Розрахунковий проліт рахується від осі опори на стіні до осі колони, у середніх прольотах – відстань між осями колон.

$g^n_{пп}$ - власна вага полиці плити = 5 см та власна вага підлоги

$g_p{}^n$ - власна вага ребра

b'_f – ширина плити зверху

h_p - розміри перерізу ригеля залежно від величини його прольоту і величини навантажень: $h_p = (1/10 \div 1/15) \times l_p$, $b_p = (0,3 \div 0,5) \times h_p$, при цьому hp і bp повинні бути кратними 50 мм.

v^n - Нормативне тимчасове (корисне) навантаження на перекриття, $v^n = 11$ кН/м^2

Таю. 3.5 Нормативні і розрахункові навантаження на 1 пог. м ригеля

Вид навантаження	Розрахунок	Нормативне навантаження, кН/пог. м	Коефіцієнт надійності за навантаженням γf	Розрахункове навантаження, кН/пог. м
Постійна вага плити Власна вага ригеля Власна вага ребра	$(g^n_{пп} \times b'_f + g_o{}^n) \times l_н$ = $(2,35 \times 1,46 + 1) \times 6,2$ = 27,4 $b_o \times h_p \times \rho_{бет}$ = $0,31 \times 0,62 \times 25 = 4,8$ $g_o{}^n = 1,0$	27,4 4,8	1,1 1,1	30,14 5,28
Разом		$g_o = 32,2$		$g = 35,42$
Тимчасове повне	$v^n \times l_н = 11 \times 6,2$	$v_{дит}{}^n = 68,2$	1,2	$v = 81,84$
Повне		$q^n = 100,4$		$q = 117,26$

Визначення зусиль

Згинальні моменти і поперечні сили визначаємо як для нерозрізних балок із рівними прольотами і з рівномірно розподіленим навантаженням. Розрахунок виконувати за формулами:

$M = (\alpha \times g + \beta \times v) \times l^2$

$V_{ED} = (\gamma \times g + \delta \times v) \times l$

де α, β – табличні коефіцієнти при визначенні М від відповідних завантажень постійними і тимчасовими навантаженнями;

$\alpha = 0,25 + 0,025 \times f_{cdp} = 1,0$ Коефіцієнт надійності за матеріалом. Для бетону В25 (= М350) у нормативних розрахунках він береться як 1,0 (за достатньої статистики) або вище, але меньше за 1,2

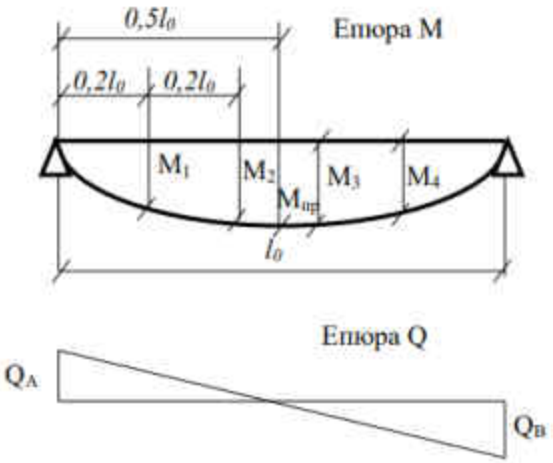
β - Коефіцієнт варіації міцності. Для С20/25 = 0,8-0,95, надійність класу.

γ, δ – табличні коефіцієнти при визначенні V_{ED}.

$M = (1,0 \times 35,42 + 0,8 \times 81,84) \times 5,9^2 = 3512,05$ кНм.

$V_{ED} = (0,4 \times 35,42 + 0,45 \times 81,84) \times 5,9 = 300,86$ кНм

Визначення зусиль, що виникають у ригелі від розрахункових навантажень



Для побудови криволінійної епюри моментів ригель слід поділити на п'ять рівних частин через 0.2ℓ0 (рисунок 3.1) і визначити моменти у середині прольоту і в точках 1-4 за формулами:

$$M_{пр} = \frac{q_p l_0^2}{8}$$

$M_1 = M_4 = 0,08 q_p l^2_0$

$M_2 = M_3 = 0,12 q_p l^2_0$

$M_{пр} = \frac{q_p l_0^2}{8} = \frac{117,26 * 5,9^2}{8} = 510,22$ кНм

$M_1 = M_4 = 0,08 q_p l^2_0 = 0,08 * 117,26 * 5,9^2 = 326,54$ кНм

$M_2 = M_3 = 0,12 q_p l^2_0 = 0,12 * 117,26 * 5,9^2 = 489,81$ кНм

Поперечні сили становлять:

$$Q_A = Q_B = \frac{q_p l_0}{2}$$

$$Q_A = Q_B = \frac{q_p l_0}{2} = \frac{117{,}26 * 5{,}9}{2} = 345{,}917 \text{ кН}$$

Характеристики міцності бетону і арматури

Приймаємо для ригеля поздовжню арматуру (А400, f_{yd} = 36.5 кН/см²)

4 Ø28 мм (A_s = 24.64 см²). Розміщення в один шар: мінімальна відстань між стрижнями = діаметр (2.8 см) або 2 см; з урахуванням захисного шару 3 см з кожного боку, загальна ширина 30 см.

Та 2-гілкові хомути Ø8 мм з кроком 10 см

3.6 Розрахунок термічного опору стіни

Перевірка огороджуючих конструкцій на відповідність вимогам ДБН В.2.6-31

Розрахунок термічного опору стіни 600 мм.

Визначимо термічний опір фрагменту конструкції згідно з вимогами ДСТУ 9191:2022.

Опис конструкції. Загальна товщина конструкції складає 0.600 м. Кількість шарів конструкції - 5. Шар №1 Бетон на гравії або щебені з природного каменю та товщиною 0.060 м. Шар №2 Повітряний прошарок замкнутий та товщиною 0.220 м. Шар №3 Бетон на гравії або щебені з природного каменю та товщиною 0.120 м. Шар №4 Спінений пінополістирол з густиною 15 кг/м3 та товщиною 0.150 м. Шар №5 Бетон на гравії або щебені з природного каменю та товщиною 0.050 м.

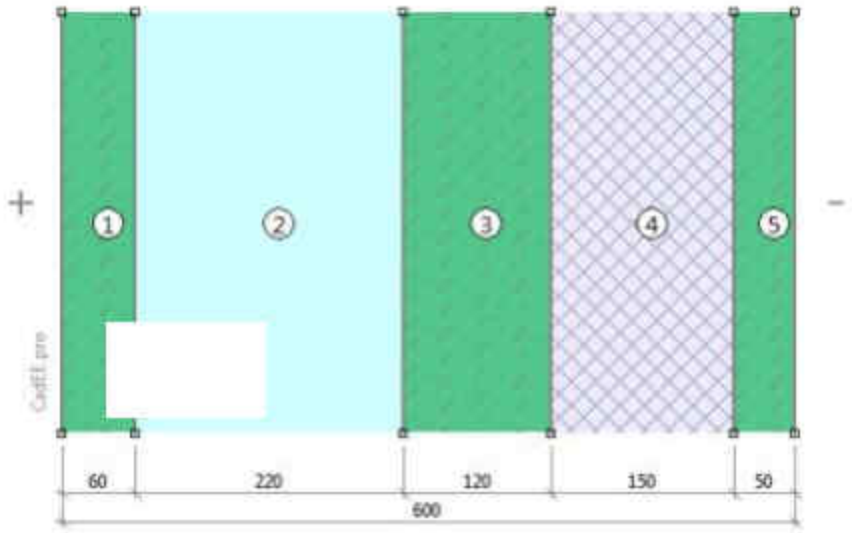


Рисунок 3.6.1. Розріз огороджувальної конструкції

Вологісні умови експлуатації матеріалів огороджувальної конструкції визначанено згідно з додатком Б ДБН В.2.6-31:2021. Призначення будівлі - одноквартирний будинок, для якої згідно з т.Б.2 ДБН В.2.6-31:2021 розрахункові значення температури і вологісті приміщень θ_{int}= 20 °С, φ_{int}= 55 % відповідно. Вологісний режим приміщень приймаємо згідно з т.Б.1 ДБН В.2.6-31:2021 - нормальний,а також враховуючи, що конструкція зовнішня, то умови експлуатації згідно з т.Б.3 ДБН В.2.6-31:2021 - Б.

Розрахункові характеристики матеріалів конструкції визначаємо згідно з додатком А ДСТУ 9191:2022.

Таблиця №3.6.1. Розрахункові характеристики матеріалів шарів конструкції

№	Назва шару	Товщина, (м)	Теплопровідність λ, (м) Вт/(м²К)
1	Бетон на гравії або щебені з природного каменю	0.06	1.86
2	Повітряний прошарок замкнутий	0.22	-
3	Бетон на гравії або щебені з природного каменю	0.12	1.86
4	Спінений пінополістирол	0.15	0.055
5	Бетон на гравії або щебені з природного каменю	0.05	1.86

Коефіцієнти тепловіддачі визначаємо згідно з таблицею Б додатку Б ДСТУ 9191:2022. Для конструкції типу - стіна, розрахункові значення коефіцієнтів тепловіддачі внутрішньої та зовнішньої поверхонь огороджувальних конструкцій прийнято:

$$h_{si} = 8.7 \frac{Вт}{м^2 \cdot к}; h_{st} = 23 \frac{Вт}{м^2 \cdot к}$$

Визначаємо опір теплопередачі замкнутого повітряного прошарку: Тепловий опір замкнутого повітряного прошарку визначаємо згідно з таблицею В.1 ДСТУ 9191:2022 Повітряний прошарок без відбивної ізоляції. Положення повітряного прошарку вертикальне.

$$R_{air2} = 0{,}15 \frac{м^2 \cdot к}{Вт}$$

Визначаємо коефіцієнт теплопередачі повітряного прошарку для зручності подальших розрахунків

$$\lambda_{p2} = \frac{d_2}{R_{air2}} = \frac{0.22}{0.15} = 1{,}467 \frac{Вт}{м \cdot К}$$

Визначаємо опір теплопередачі конструкції згідно з формулою 2 ДСТУ 9191:2022:

$$R_S = \frac{1}{h_{si}} + \frac{d_1}{\lambda_{p1}} + R_{air2} + \frac{d_3}{\lambda_{p3}} + \frac{d_4}{\lambda_{p4}} + \frac{d_5}{\lambda_{p5}} + \frac{1}{h_{se}}$$

$$= \frac{1}{8.7} + \frac{0.06}{1.86} + 0.15 + \frac{0{,}12}{1.86} + \frac{0.15}{0.055} + \frac{0.05}{1.86} + \frac{1}{23} = 3.159 \frac{м^2 \cdot К}{Вт}$$

Загальна площа огороджувальної конструкції, обчислена за внутрішнім виміром із додаванням площ внутрішніх укосів прорізів та відніманням площ прорізів та площа термічно однорідної частини непрозорої конструкції, що не містить площі внутрішніх укосів прорізів дорівнють відповіно:

$A_\Sigma = 1\ м^2$; $A1 = 1\ м^2$

На фрагменті, що розглядається, відсутні теплопровідні включення, що відносяться до непрозорої огороджувальної конструкції.

Визначаємо приведений опір теплопередачі конструкції згідно з формулою 1 ДСТУ 9191:2022:

$$R_{\Sigma np} = \frac{A_\Sigma}{\frac{A_1}{R_S}} = \frac{1}{\frac{1}{3.159}} = 3.159 \frac{м^2 \cdot K}{Вт}$$

Визначемо мінімально допустиме значення приведеного опору теплопередачі згідо з ДБН В.2.6-31:2021. Температурна зона згідно з додатком А ДБН В.2.6-31:2021 - I (м. Харків). Допустиме значення опору теплопередачі визначаємо з таблиці 1 ДБН В.2.6-31:2021 (як для типу конструкції - стіна, та типу будівлі - одноквартирний будинок):

$$R_{qmin} = 4 \frac{м^2 \cdot K}{Вт}$$

Оскільки:

$$R_{\Sigma np} = 3.159 \frac{м^2 \cdot K}{Вт} < R_{qmin} = 4 \frac{м^2 \cdot K}{Вт}$$

то умова (4) ДБН В.2.6-31:2021 не виконується.

Визначення розподілу температури в товщині конструкції згідно з формулою (5) ДСТУ Б В.2.6-192:2013:

$$R_1 = \frac{d_1}{\lambda_{p1}} = \frac{0.06}{1.86} = 0.03226 \frac{м^2 \cdot K}{Вт}$$

$$R_2 = \frac{d_1}{\lambda_{p1}} + \frac{d_2}{\lambda_{p2}} = \frac{0.06}{1.86} + \frac{0.22}{1.467} = 0.1823 \frac{м^2 \cdot K}{Вт}$$

$$R_3 = \frac{d_1}{\lambda_{p1}} + \frac{d_2}{\lambda_{p2}} + \frac{d_3}{\lambda_{p3}} = \frac{0.06}{1.86} + \frac{0.22}{1.467} + \frac{0.12}{1.86} = 0.2468 \frac{м^2 \cdot K}{Вт}$$

$$R_4 = \frac{d_1}{\lambda_{p1}} + \frac{d_2}{\lambda_{p2}} + \frac{d_3}{\lambda_{p3}} + \frac{d_4}{\lambda_{p4}} = \frac{0.06}{1.86} + \frac{0.22}{1.467} + \frac{0.12}{1.86} + \frac{0.15}{0.055} = 2.974 \frac{м^2 \cdot K}{Вт}$$

$$R_5 = \frac{d_1}{\lambda_{p1}} + \frac{d_2}{\lambda_{p2}} + \frac{d_3}{\lambda_{p3}} + \frac{d_4}{\lambda_{p4}} + \frac{d_5}{\lambda_{p5}} = \frac{0.06}{1.86} + \frac{0.22}{1.467} + \frac{0.12}{1.86} + \frac{0.15}{0.055} + \frac{0.05}{1.86}$$

$$= 3.001 \frac{м^2 \cdot K}{Вт}$$

$\theta_{ext} = -22°C$;

Температура в площинах на межі шарів:

$$\theta_0 = \theta_{int} - \frac{\theta_{int} - \theta_{ext}}{R_S} \cdot \frac{1}{h_{si}} = 20 - \frac{20 - (-22)}{3.159} \cdot \frac{1}{8.7} = 18.472\,°C$$

$$\theta_1 = \theta_{int} - \frac{\theta_{int} - \theta_{ext}}{R_S} \cdot (\frac{1}{h_{si}} + R_1) = 20 - \frac{20 - (-22)}{3.159} \cdot (\frac{1}{8.7} + 0.03226) = 18.043\,°C$$

$$\theta_2 = \theta_{int} - \frac{\theta_{int} - \theta_{ext}}{R_S} \cdot (\frac{1}{h_{si}} + R_2) = 20 - \frac{20 - (-22)}{3.159} \cdot (\frac{1}{8.7} + 0.1823) = 16.049\,°C$$

$$\theta_3 = \theta_{int} - \frac{\theta_{int} - \theta_{ext}}{R_S} \cdot (\frac{1}{h_{si}} + R_3) = 20 - \frac{20 - (-22)}{3.159} \cdot (\frac{1}{8.7} + 0.2468) = 15.191\,°C$$

$$\theta_4 = \theta_{int} - \frac{\theta_{int} - \theta_{ext}}{R_S} \cdot (\frac{1}{h_{si}} + R_4) = 20 - \frac{20 - (-22)}{3.159} \cdot (\frac{1}{8.7} + 2.974) = -21.065\,°C$$

$$\theta_S = \theta_{int} - \frac{\theta_{int} - \theta_{ext}}{R_S} \cdot (\frac{1}{h_{si}} + R_S) = 20 - \frac{20 - (-22)}{3.159} \cdot (\frac{1}{8.7} + 3.001) = -21.422\,°C$$

Температурний перепад між температурою внутрішнього повітря та приведеною температурою внутрішньої поверхні огороджувальної конструкції:

$\Delta\,\theta_{int\text{-}si} = \theta_{int} - \theta_0 = 20 - 18.472 = 1.528\,°C$

Температура точки роси дорівнює:

$$\theta_0 = \frac{237.7 \cdot (\frac{17.27 \cdot \theta_{int}}{237.7 + \theta_{int}} + ln\frac{\varphi_{int}}{100})}{17.27 - (\frac{\theta_{int}}{237.7 + \theta_{int}} + ln\frac{\varphi_{int}}{100})} = 9.92°C$$

Визначення допустимого значення різниці між температурою внутрішнього повітря та та приведеною температурою внутрішньої поверхні огороджувальної конструкції визначаємо згідно з п. 5.4 ДБН В.2.6-31:2021:

$\Delta\theta_{int\text{-}si,max} = 4°C$

Оскільки:

$\Delta\theta_{int\text{-}si} = 1.53°C < \Delta\theta_{int\text{-}si,max} = 4°C$

то умова (5) ДБН В.2.6-31:2021 виконується.

Перевріка виконання вимог п. 5.5.1 ДБН В.2.6-31:2021

Оскількі:

$\theta_0 = 18.47°C > \theta_D = 9.92°C$

то умова п. 5.5.1 ДБН В.2.6-31:2021 виконується.

Оцінка тепловологісного стану конструкції. стіна №1.

Оцінку тепловологісного стану конструкції виконуємо згідно з вимогами ДСТУ Б В.2.6-192:2013.

Розподіл температур по товщині конструкції виконуємо згідно з ф. (5) ДСТУ Б В.2.6-192:2013.Розрахункові значення температури та відносної вологості внутрішнього повітря визначаємо згідно з додатком Б ДБН В.2.6-31:2021

θ_{int} =20°C; φ_{int} = 55%

Розрахункові значення температури та відносної вологості зовнішнього повітря визначаємо згідно з табл. 2 та табл. 24 ДСТУ-Н Б В.1.1-27:2010, як для середньої місячної температури повітря в січні для міста Харків (п.4.2.4.4 та п.4.2.4.3 ДСТУ Б В.2.6-192:2013):

Таблиця №3.6.2. Середньомісячні значення температури та відносної вологості зовнішнього повітря для м. Харків

Місяць	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Температура, °C	-5.9	-5.1	0	9	15.5	18.9	20.7	19.7	14.1	7.5	1	-3.7
Відносна вологість, %	84	83	79	67	60	64	66	64	70	77	86	87

Опір теплопередачі Rs огороджуючої конструкції визначано згідно з формулою (4). Коефіцієнти тепловіддачі визначано згідно з формулою (1)

Визначемо опір теплопередачі в площинах на межі шарів:

x_1 = 0.06 м; $\lambda_{p1} = 1.86 \frac{Вт}{м \cdot К}$

$$R_1 = \frac{d_1}{\lambda_{p1}} = \frac{0.06}{1.86} = 0.03226 \frac{м^2 \cdot К}{Вт}$$

x_2 = 0.28 м; λ_{p2} =$1.47 \frac{Вт}{м \cdot К}$

$$R_2 = \frac{d_1}{\lambda_{p1}} + \frac{d_2}{\lambda_{p2}} = \frac{0.06}{1.86} + \frac{0.22}{1.467} = 0.1823 \frac{м^2 \cdot К}{Вт}$$

x_3 = 0.4 м; $\lambda_{p3} = 1.86 \frac{Вт}{м \cdot К}$

$$R_3 = \frac{d_1}{\lambda_{p1}} + \frac{d_2}{\lambda_{p2}} + \frac{d_3}{\lambda_{p3}} = \frac{0.06}{1.86} + \frac{0.22}{1.467} + \frac{0.12}{1.86} = 0.2468 \frac{м^2 \cdot К}{Вт}$$

x_4 = 0.55 м; $\lambda_{p4} = 0.05 \frac{Вт}{м \cdot К}$

$$R_4 = \frac{d_1}{\lambda_{p1}} + \frac{d_2}{\lambda_{p2}} + \frac{d_3}{\lambda_{p3}} + \frac{d_4}{\lambda_{p4}} = \frac{0.06}{1.86} + \frac{0.22}{1.467} + \frac{0.12}{1.86} + \frac{0.15}{0.055} = 2.974 \frac{м^2 \cdot K}{Вт}$$

$x_5 = 0.6$ м; $\lambda_{p5} = 1.86 \frac{Вт}{м \cdot K}$

$$R_5 = \frac{d_1}{\lambda_{p1}} + \frac{d_2}{\lambda_{p2}} + \frac{d_3}{\lambda_{p3}} + \frac{d_4}{\lambda_{p4}} + \frac{d_5}{\lambda_{p5}} = \frac{0.06}{1.86} + \frac{0.22}{1.467} + \frac{0.12}{1.86} + \frac{0.15}{0.055} + \frac{0.05}{1.86} = 3.001 \frac{м^2 \cdot K}{Вт}$$

Визначемо опори паропроникненю кожного шару і конструкції в цілому згідно з формулами 3, 4 ДСТУ Б В.2.6-192:2013. При цьому коефіцієнт паропроникності визначаємо згідно з табл. А.1 ДСТУ 9191:2022

При $x_1 = 0.06$ м

$$R_{e1} = \frac{d_1}{\delta_1} = \frac{0.06}{0.03} = 2 \frac{м^2 \cdot год \cdot Па}{мг}$$

При $x_2 = 0.28$ м

$$R_{e2} = \frac{d_1}{\delta_1} + \frac{d_2}{\delta_2} = \frac{0.06}{0.03} + \frac{0.22}{10000} = 2 \frac{м^2 \cdot год \cdot Па}{мг}$$

При $x_3 = 0.4$ м

$$R_{e3} = \frac{d_1}{\delta_1} + \frac{d_2}{\delta_2} + \frac{d_3}{\delta_3} = \frac{0.06}{0.03} + \frac{0.22}{10000} + \frac{0.12}{0.03} = 6 \frac{м^2 \cdot год \cdot Па}{мг}$$

При $x_4 = 0.55$ м

$$R_{e4} = \frac{d_1}{\delta_1} + \frac{d_2}{\delta_2} + \frac{d_3}{\delta_3} + \frac{d_4}{\delta_4} = \frac{0.06}{0.03} + \frac{0.22}{10000} + \frac{0.12}{0.03} + \frac{0.15}{0.05} = 9 \frac{м^2 \cdot год \cdot Па}{мг}$$

При $x_5 = 0.6$ м

$$R_{e5} = \frac{d_1}{\delta_1} + \frac{d_2}{\delta_2} + \frac{d_3}{\delta_3} + \frac{d_4}{\delta_4} + \frac{d_5}{\delta_5} = \frac{0.06}{0.03} + \frac{0.22}{10000} + \frac{0.12}{0.03} + \frac{0.15}{0.05} + \frac{0.05}{0.03}$$

$$= 10.667 \frac{м^2 \cdot год \cdot Па}{мг}$$

Таблиця 3.6.3. Характеристики матеріалів шарів конструкції

№	Назва шару	Товщина, (м)	Теплопровідність λ, Вт/(м*К)	Тепловий опір R (м²К)/Вт	Коеф. паропроникності δ мг/(м*год*Па)	Опір паропроникненю Re м²*год*Па/мг
1	Бетон на гравії або щебені з природного каменю	0.06	1.86	0.03226	0.03	2
2	Повітряний прошарок замкнутий	0.22	1.467	0.1823	10000	2
3	Бетон на гравії або щебені з природного каменю	0.12	1.86	0.2468	0.03	6
4	Спінений пінополістирол ρ=15 кг/м³	0.15	0.055	2.974	0.05	9
5	Бетон на гравії або щебені з природного каменю	0.15	1.86	3.001	0.03	10.667

Опір паропроникненю конструкції вцілому:

$$R_{es} = \frac{d_1}{\delta_1} + \frac{d_2}{\delta_2} + \frac{d_3}{\delta_3} + \frac{d_4}{\delta_4} + \frac{d_5}{\delta_5} = \frac{0.06}{0.03} + \frac{0.22}{10000} + \frac{0.12}{0.03} + \frac{0.15}{0.05} + \frac{0.05}{0.03} = 10.667 \frac{м^2 \cdot год \cdot Па}{мг}$$

Розрахунок вологонакопичення в місяці січень:

Розрахункові значення температури та відносної вологості зовнішнього повітря визначаємо згідно з табл. 2 та табл. 24 ДСТУ-Н Б В.1.1-27:2010, як для середньої місячної температури повітря для міста Харків (п.4.2.4.4 та п.4.2.4.3 ДСТУ Б В.2.6-192:2013):

$\varphi_{ext} = 84\%$; $\tau = 744$ год

$\theta_{ext} = -5.9°C$;

Температура в площинах на межі шарів :

$$\theta_0 = \theta_{int} - \frac{\theta_{int} - \theta_{ext}}{R_S} \cdot \frac{1}{h_{si}} = 20 - \frac{20 - (-5.9)}{3.159} \cdot \frac{1}{8.7} = 19.058\ °C$$

$$\theta_1 = \theta_{int} - \frac{\theta_{int} - \theta_{ext}}{R_S} \cdot (\frac{1}{h_{si}} + R_1) = 20 - \frac{20 - (-5.9)}{3.159} \cdot (\frac{1}{8.7} + 0.03226)$$

$$= 18.793\ °C$$

$$\theta_2 = \theta_{int} - \frac{\theta_{int} - \theta_{ext}}{R_S} \cdot (\frac{1}{h_{si}} + R_2) = 20 - \frac{20 - (-5.9)}{3.159} \cdot (\frac{1}{8.7} + 0.1823) = 17.564\ °C$$

$$\theta_3 = \theta_{int} - \frac{\theta_{int} - \theta_{ext}}{R_S} \cdot \left(\frac{1}{h_{si}} + R_3\right) = 20 - \frac{20 - (-5.9)}{3.159} \cdot \left(\frac{1}{8.7} + 0.2468\right) = 17.035\ °C$$

$$\theta_4 = \theta_{int} - \frac{\theta_{int} - \theta_{ext}}{R_S} \cdot \left(\frac{1}{h_{si}} + R_4\right) = 20 - \frac{20 - (-5.9)}{3.159} \cdot \left(\frac{1}{8.7} + 2.974\right) = -5.323\ °C$$

$$\theta_5 = \theta_{int} - \frac{\theta_{int} - \theta_{ext}}{R_S} \cdot \left(\frac{1}{h_{si}} + R_5\right) = 20 - \frac{20 - (-5.9)}{3.159} \cdot \left(\frac{1}{8.7} + 3.001\right) = -5.544\ °C$$

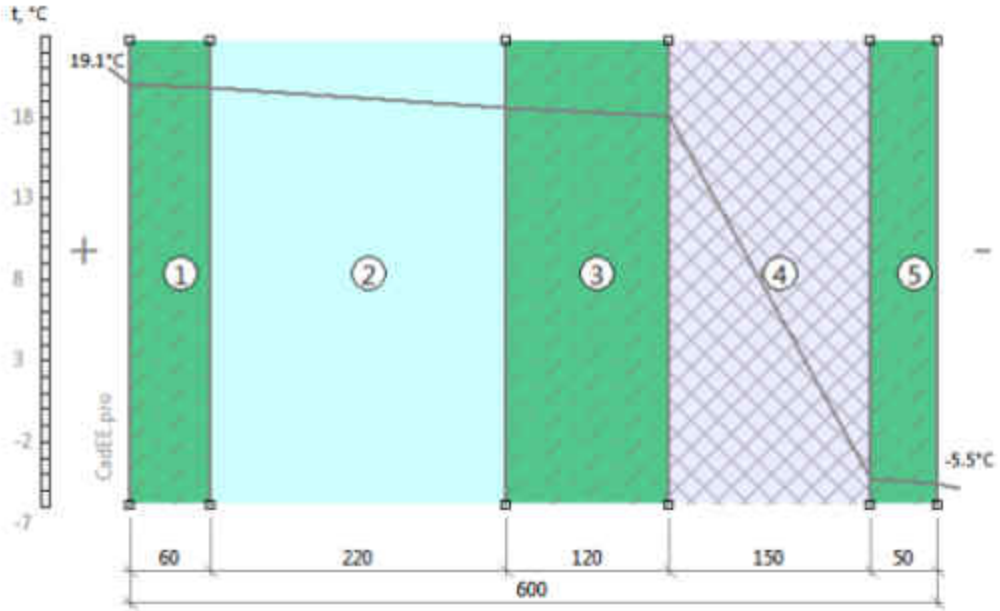


Рисунок 3.6.2. Розподіл температур у товщині огороджуючої конструкції (січень).

Графік розподілу температур див. рис. 3.6.2

Визначемо парціальний тиск насиченої водяної пари згідно з таблицею Б.1 ДСТУ Б В.2.6-192:2013 Для Внутрішньої та зовнішньої поверхні конструкції парціальний тиск насиченої водяної пари дорівнює:

$E_в = 2204.71$ Па

$E_з = 383.47$ Па

Визначемо парціальний тиск водяної пари згідно з формулами (6) та (7) ДСТУ Б В.2.6-192:2013:

$e_в = 0.01\varphi_{int} \cdot E_в = 55 \cdot 2204.712 \cdot 0.01 = 1212.591$ Па

$e_з = 0.01\varphi \cdot E_з = 84 \cdot 383.467 \cdot 0.01 = 322.113$ Па

Визначемо парціальний тиск насиченої водяної пари в товщині конструкції з розрахунку 11 точок на 1°С перепаду температур (п. 4.2.4.7 ДСТУ Б В.2.6-192:2013).

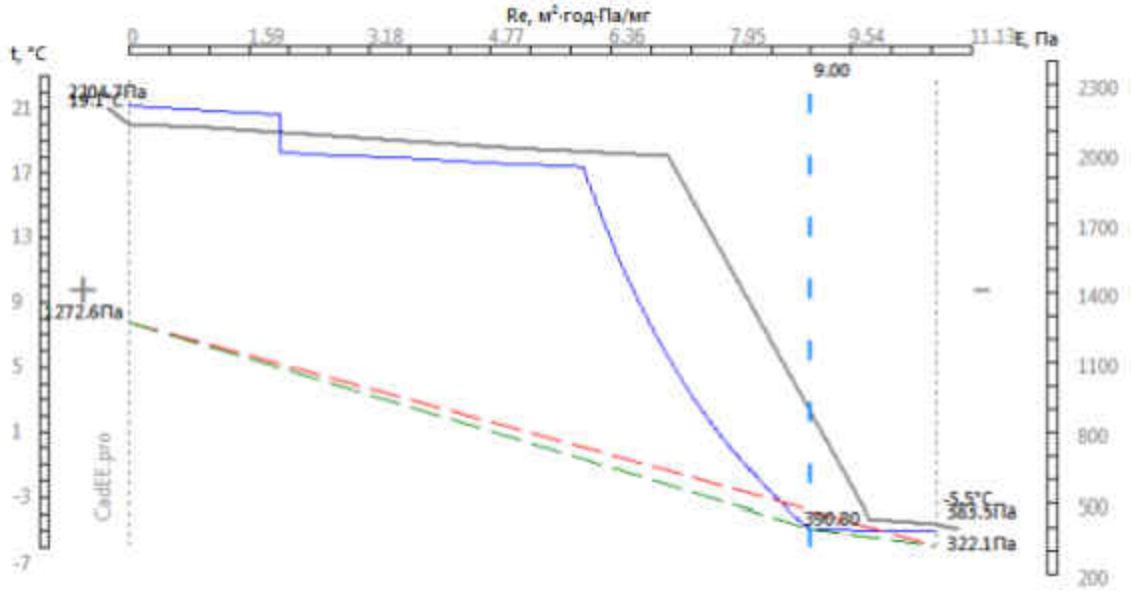


Рисунок 3.6.3. Розподіл парціальних тисків у товщині огороджуючої конструкції (січень). На графіку лінія сіра - розподіл температури (t), синя - графік розподілу парціального тиску насиченої водої пари (Е), червона - допоміжна лінія для оцінки наявності кондинсанції пари (е), зелена - допоміжна лінія для оцінки кількості вологи що надходить/випаровується з конструкції.

Оскільки лінії Е та е перетинаються то це свідчить про конденсацію вологи в товщі огороджуючої конструкції (п.4.2.6 та п.4.3.4 ДСТУ Б В.2.6-192:2013). Визначимо місця конденсації згідно з п.4.3.5 ДСТУ Б В.2.6-192:2013. Побудуємо дотичні до графіку Е з точок ев та ез (рис. 3.6.3).

Лінія розрахункового розподілу парціального тиску водяної пари в товщині конструкції:

$$pk0 = ев = 1212.59\ Па \quad R_{ek0} = 0 \frac{м^2 \cdot год \cdot Па}{мг}$$

$$pk1 = 390.8\ Па \quad R_{ek1} = 9 \frac{м^2 \cdot год \cdot Па}{мг}$$

$$pk2 = e3 = 1212.59\ Па \quad R_{ek2} = 10.67 \frac{м^2 \cdot год \cdot Па}{мг}$$

Кількість зон конденсації - 0 шт. Кількість площин конденсації - 1 шт

Кількість водяної пари, що надходить до першої зони(площини) конденсації з сторони приміщення визначаємо згідно з табл.3 ДСТУ Б В.2.6-192:2013:

Кількість водяної пари, що надходить до зони(площини) №1 конденсації визначаємо згідно з табл.3 ДСТУ Б В.2.6-192:2013:

$$i_1 = \frac{p_{K0} - p_{K1}}{R_{ek1} - R_{ek0}} = \frac{1212.591 - 390.797}{9.000022 - 0} = 91.31 \frac{м^2 \cdot год \cdot Па}{мг}$$

Кількість водяної пари, що виводиться із зони(площини) №1 назовні

$$i_2 = \frac{p_{K1} - p_{K2}}{R_{ek2} - R_{ek1}} = \frac{390.797 - 322.113}{10.666689 - 9.000022} = 41.211 \frac{м^2 \cdot год \cdot Па}{мг}$$

Отже кількість вологи, що конденсується в зоні/площині №1 за січень дорівнює:

$W_{зп11} = 10\text{-}6\ \tau(i1 - i2) = 744 \cdot (91.31 - 41.211) \cdot 10\text{-}6 = 0.03727 \frac{кг}{м^2}$

Кількість вологи, що конденсується в конструкції за січень складає:

$W_{зп1} = W_{зп11} = 0.03727 = 0.03727 \frac{кг}{м^2}$

Проводимо розрахунок для наступного місяця вологонакопичення.

Розрахунок вологонакопичення в місяці лютий:

Розрахункові значення температури та відносної вологості зовнішнього повітря визначаємо згідно з табл. 2 та табл. 24 ДСТУ-Н Б В.1.1-27:2010, як для середньої місячної температури повітря для міста Харків (п.4.2.4.4 та п.4.2.4.3 ДСТУ Б В.2.6-192:2013):

$\varphi_{ext} = 83\%$ $\tau = 672$ год

$\theta_{ext} = -5.1°C$;

Температура в площинах на межі шарів :

$$\theta_0 = \theta_{int} - \frac{\theta_{int} - \theta_{ext}}{R_S} \cdot \frac{1}{h_{si}} = 20 - \frac{20 - (-5.1)}{3.159} \cdot \frac{1}{8.7} = 19.087\ °C$$

$$\theta_1 = \theta_{int} - \frac{\theta_{int} - \theta_{ext}}{R_S} \cdot (\frac{1}{h_{si}} + R_1) = 20 - \frac{20 - (-5.1)}{3.159} \cdot (\frac{1}{8.7} + 0.03226)$$
$$= 18.831\ °C$$

$$\theta_2 = \theta_{int} - \frac{\theta_{int} - \theta_{ext}}{R_S} \cdot (\frac{1}{h_{si}} + R_2) = 20 - \frac{20 - (-5.1)}{3.159} \cdot (\frac{1}{8.7} + 0.1823) = 17.639\ °C$$

$$\theta_3 = \theta_{int} - \frac{\theta_{int} - \theta_{ext}}{R_S} \cdot (\frac{1}{h_{si}} + R_3) = 20 - \frac{20 - (-5.1)}{3.159} \cdot (\frac{1}{8.7} + 0.2468) = 17.126\ °C$$

$$\theta_4 = \theta_{int} - \frac{\theta_{int} - \theta_{ext}}{R_S} \cdot (\frac{1}{h_{si}} + R_4) = 20 - \frac{20 - (-5.1)}{3.159} \cdot (\frac{1}{8.7} + 2.974) = -4.541\ °C$$

$$\theta_S = \theta_{int} - \frac{\theta_{int} - \theta_{ext}}{R_S} \cdot \left(\frac{1}{h_{si}} + R_S\right) = 20 - \frac{20 - (-5.1)}{3.159} \cdot \left(\frac{1}{8.7} + 3.001\right) = -4.755\ °C$$

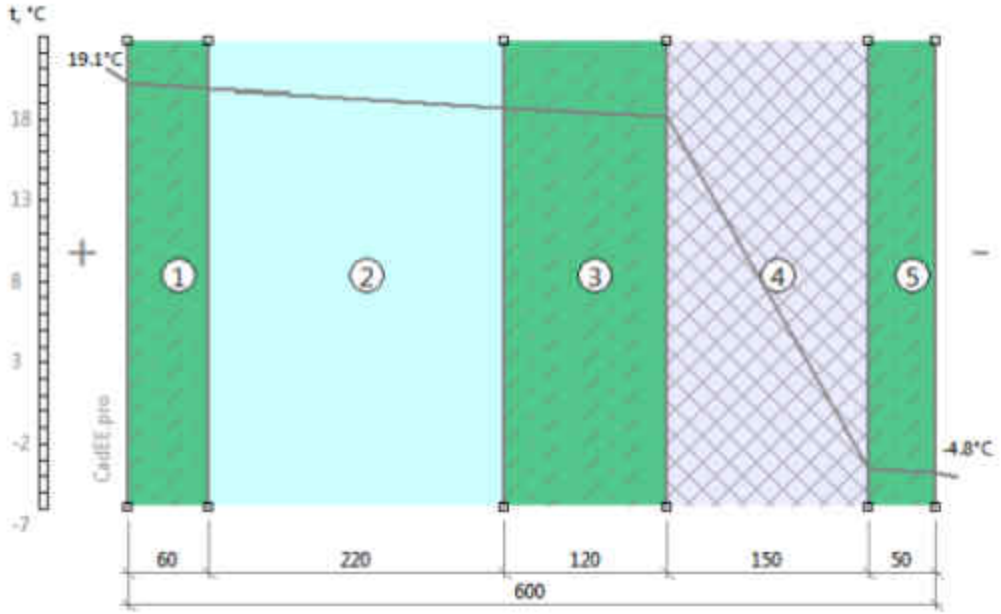


Рисунок 3.6.4. Розподіл температур у товщині огороджуючої конструкції (лютий).

Графік розподілу температур див. рис. 3.6.4

Визначемо парціальний тиск насиченої водяної пари згідно з таблицею Б.1 ДСТУ Б В.2.6-192:2013 Для Внутрішньої та зовнішньої поверхні конструкції парціальний тиск насиченої водяної пари дорівнює:

$E_в = 2208.71$ Па

$E = 410.31$ Па

Визначемо парціальний тиск водяної пари згідно з формулами (6) та (7) ДСТУ Б В.2.6-192:2013:

$e_в = 0.01 \varphi_{int} E_в = 55 \cdot 2208.709 \cdot 0.01 = 1214.79$ Па

$e_з = 0.01 \varphi_{ext} E_з = 83 \cdot 410.307 \cdot 0.01 = 340.555$ Па

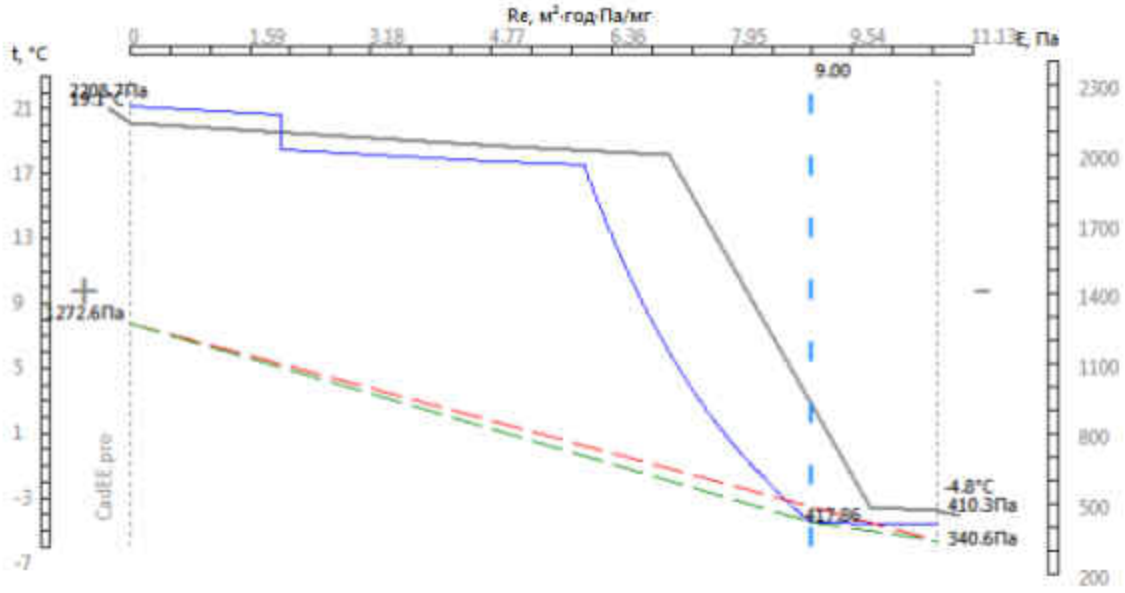


Рисунок 3.6.5. Розподіл парціальних тисків у товщині огороджуючої конструкції (лютий). На графіку лінія сіра - розподіл температури (t), синя - графік розподілу парціального тиску насиченої водої пари (E), червона - допоміжна лінія для оцінки наявності кондинсанції пари (e), зелена - допоміжна лінія для оцінки кількості вологи що надходить/випаровується з конструкції.

Оскільки лінії E та e перетинаються то це свідчить про конденсацію вологи в товщі огороджуючої конструкції (п.4.2.6 та п.4.3.4 ДСТУ Б В.2.6-192:2013). Визначимо місця конденсації згідно з п.4.3.5 ДСТУ Б В.2.6-192:2013. Побудуємо дотичні до графіку E з точок ев та ез (рис.3.6.5.). Лінія розрахункового розподілу парціального тиску водяної пари в товщині конструкції:

$$p_{k0} = e_в = 1214.79 \text{ Па} \quad R_{ek0} = 0 \frac{м^2 \cdot год \cdot Па}{мг}$$

$$p_{k1} = 417.86 \text{ Па} \quad R_{ek1} = 9 \frac{м^2 \cdot год \cdot Па}{мг}$$

$$p_{k2} = e_з = 1214.79 \text{ Па} \quad R_{ek2} = 10.67 \frac{м^2 \cdot год \cdot Па}{мг}$$

Кількість зон конденсації - 0 шт. Кількість площин конденсації - 1 шт

Кількість водяної пари, що надходить до першої зони(площини) конденсації з сторони приміщення визначаємо згідно з табл.3 ДСТУ Б В.2.6-192:2013:

Кількість водяної пари, що надходить до зони(площини) №1 конденсації визначаємо згідно з табл.3 ДСТУ Б В.2.6-192:2013:

$$i_1 = \frac{p_{K0} - p_{K1}}{R_{ek1} - R_{ek0}} = \frac{1214.79 - 417.863}{9.000022 - 0} = 88.547 \frac{мг}{м^2 \cdot год}$$

Кількість водяної пари, що виводиться із зони(площини) №1 назовні

$$i_z = \frac{p_{K1} - p_{K2}}{R_{ek2} - R_{ek1}} = \frac{1214.79 - 417.863}{10.666689 - 9.000022} = 46.385 \frac{\text{мг}}{\text{м}^2 \cdot \text{год}}$$

Отже кількість вологи, що конденсується в зоні/площині №1 за лютий дорівнює:

$$W_{зп11} = 10^{-6}\,\tau(i_1 - i_2) = 672 \cdot (88.547 - 46.385) \cdot 10^{-6} = 0.02833 \frac{\text{кг}}{\text{м}^2}$$

Кількість вологи, що конденсується в конструкції за лютий складає:

$$W_{зп2} = W_{зп21} = 0.02833 = 0.02833 \frac{\text{кг}}{\text{м}^2}$$

Проводимо розрахунок для наступного місяця вологонакопичення.

Розрахунок вологонакопичення в місяці березень:

Розрахункові значення температури та відносної вологості зовнішнього повітря визначаємо згідно з табл. 2 та табл. 24 ДСТУ-Н Б В.1.1-27:2010, як для середньої місячної температури повітря для міста Харків (п.4.2.4.4 та п.4.2.4.3 ДСТУ Б В.2.6-192:2013):

$\varphi_{ext} = 79\%$ $\tau = 774$ год

$\theta_{ext} = 0°C$;

Температура в площинах на межі шарів :

$$\theta_0 = \theta_{int} - \frac{\theta_{int} - \theta_{ext}}{R_S} \cdot \frac{1}{h_{si}} = 20 - \frac{20 - 0}{3.159} \cdot \frac{1}{8.7} = 19.272°C$$

$$\theta_1 = \theta_{int} - \frac{\theta_{int} - \theta_{ext}}{R_S} \cdot \left(\frac{1}{h_{si}} + R_1\right) = 20 - \frac{20 - 0}{3.159} \cdot \left(\frac{1}{8.7} + 0.03226\right) = 19.068\ °C$$

$$\theta_2 = \theta_{int} - \frac{\theta_{int} - \theta_{ext}}{R_S} \cdot \left(\frac{1}{h_{si}} + R_2\right) = 20 - \frac{20 - 0}{3.159} \cdot \left(\frac{1}{8.7} + 0.1823\right) = 18.119\ °C$$

$$\theta_3 = \theta_{int} - \frac{\theta_{int} - \theta_{ext}}{R_S} \cdot \left(\frac{1}{h_{si}} + R_3\right) = 20 - \frac{20 - 0}{3.159} \cdot \left(\frac{1}{8.7} + 0.2468\right) = 17.71°C$$

$$\theta_4 = \theta_{int} - \frac{\theta_{int} - \theta_{ext}}{R_S} \cdot \left(\frac{1}{h_{si}} + R_4\right) = 20 - \frac{20 - 0}{3.159} \cdot \left(\frac{1}{8.7} + 2.974\right) = 0.4454\ °C$$

$$\theta_5 = \theta_{int} - \frac{\theta_{int} - \theta_{ext}}{R_S} \cdot \left(\frac{1}{h_{si}} + R_5\right) = 20 - \frac{20 - 0}{3.159} \cdot \left(\frac{1}{8.7} + 3.001\right) = 0.2752\ °C$$

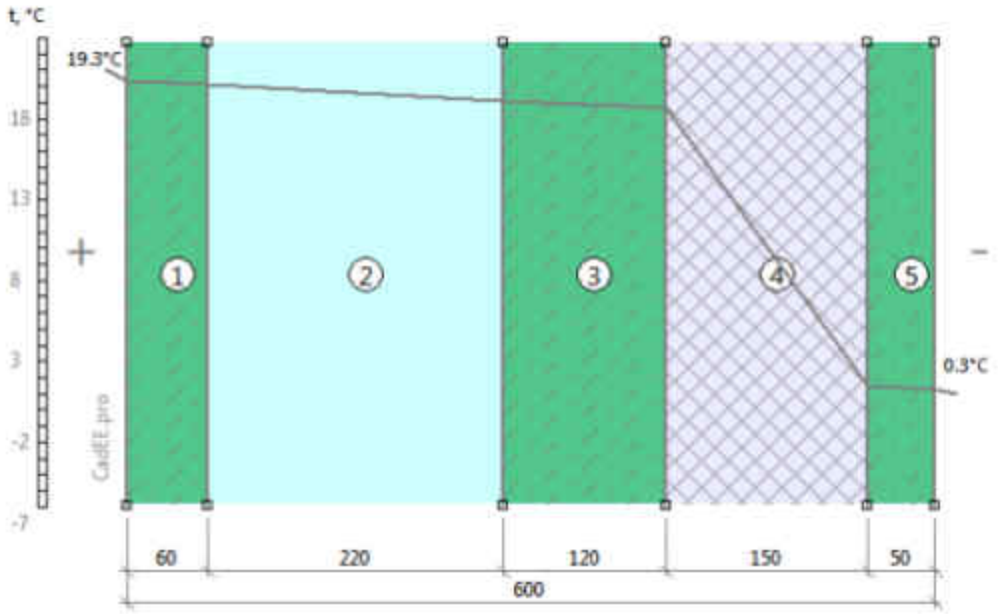


Рисунок 3.6.6. Розподіл температур у товщині огороджуючої конструкції (березень).

Графік розподілу температур див. рис. 3.6.6

Визначемо парціальний тиск насиченої водяної пари згідно з таблицею Б.1 ДСТУ Б В.2.6-192:2013 Для Внутрішньої та зовнішньої поверхні конструкції парціальний тиск насиченої водяної пари дорівнює:

$E_в$ =2234.34Па

$E_з$ =623.19Па

Визначемо парціальний тиск водяної пари згідно з формулами (6) та (7) ДСТУ Б В.2.6-192:2013:

$e_в = 0.01 \varphi_{int} E_в = 55 \cdot 2234.339 \cdot 0.01 = 1228.886$ Па

$e_з = 0.01 \varphi_{ext} E_з = 79 \cdot 623.185 \cdot 0.01 = 492.316$ Па

Визначемо парціальний тиск насиченої водяної пари в товщині конструкції з розрахунку 11 точок на 1°С перепаду температур (п. 4.2.4.7 ДСТУ Б В.2.6-192:2013).

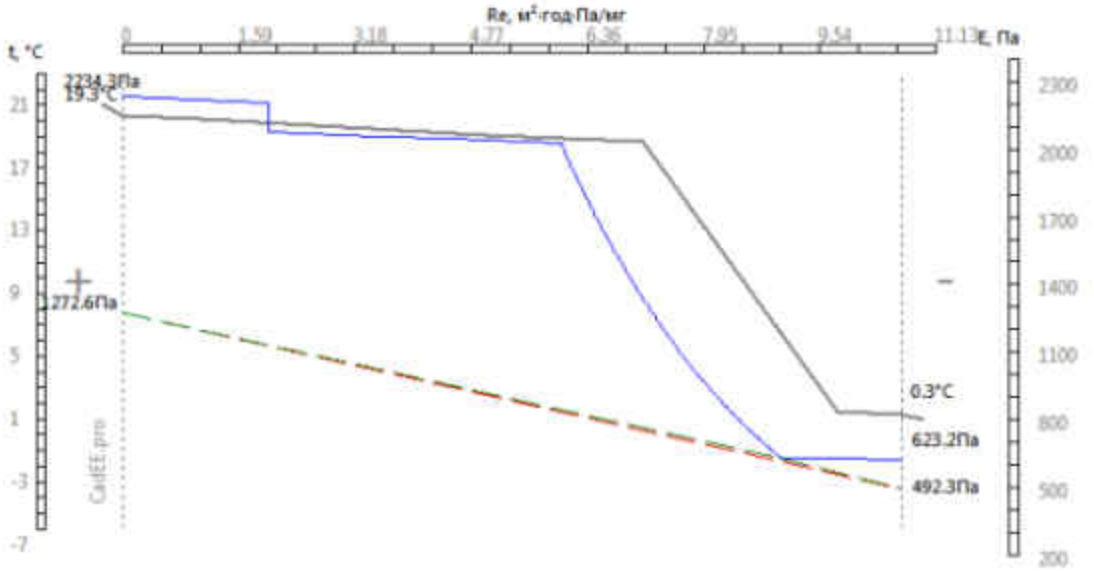


Рисунок 3.6.7. Розподіл парціальних тисків у товщині огороджуючої конструкції (березень). На графіку лінія сіра - розподіл температури (t), синя - графік розподілу парціального тиску насиченої водої пари (E), червона - допоміжна лінія для оцінки наявності кондинсанції пари (e), зелена - допоміжна лінія для оцінки кількості вологи що надходить/випаровується з конструкції.

Оскільки лінії E та e не перетинаються то згідно з п.4.2.5 та п.4.3.3 ДСТУ Б В.2.6-192:2013, конденсація водяної пари в товщині конструкції не відбувається.

Знайдемо місяць початку вологонакопичення

Розрахунок вологонакопичення в місяці грудень:

Розрахункові значення температури та відносної вологості зовнішнього повітря визначаємо згідно з табл. 2 та табл. 24 ДСТУ-Н Б В.1.1-27:2010, як для середньої місячної температури повітря для міста Харків (п.4.2.4.4 та п.4.2.4.3 ДСТУ Б В.2.6-192:2013):

φ_{ext} =87% τ =744 год

$\theta_{ext} = -3.7°C$;

Температура в площинах на межі шарів :

$$\theta_0 = \theta_{int} - \frac{\theta_{int} - \theta_{ext}}{R_S} \cdot \frac{1}{h_{si}} = 20 - \frac{20 - (-3.7)}{3.159} \cdot \frac{1}{8.7} = 19.138°C$$

$$\theta_1 = \theta_{int} - \frac{\theta_{int} - \theta_{ext}}{R_S} \cdot (\frac{1}{h_{si}} + R_1) = 20 - \frac{20 - (-3.7)}{3.159} \cdot (\frac{1}{8.7} + 0.03226)$$

$$= 18.896\ °C$$

$$\theta_2 = \theta_{int} - \frac{\theta_{int} - \theta_{ext}}{R_S} \cdot \left(\frac{1}{h_{si}} + R_2\right) = 20 - \frac{20 - (-3.7)}{3.159} \cdot \left(\frac{1}{8.7} + 0.1823\right) = 17.771\ °C$$

$$\theta_3 = \theta_{int} - \frac{\theta_{int} - \theta_{ext}}{R_S} \cdot \left(\frac{1}{h_{si}} + R_3\right) = 20 - \frac{20 - (-3.7)}{3.159} \cdot \left(\frac{1}{8.7} + 0.2468\right) = 17.287°C$$

$$\theta_4 = \theta_{int} - \frac{\theta_{int} - \theta_{ext}}{R_S} \cdot \left(\frac{1}{h_{si}} + R_4\right) = 20 - \frac{20 - (-3.7)}{3.159} \cdot \left(\frac{1}{8.7} + 2.974\right) = -3.172\ °C$$

$$\theta_5 = \theta_{int} - \frac{\theta_{int} - \theta_{ext}}{R_S} \cdot \left(\frac{1}{h_{si}} + R_5\right) = 20 - \frac{20 - (-3.7)}{3.159} \cdot \left(\frac{1}{8.7} + 3.001\right) = -3.374\ °C$$

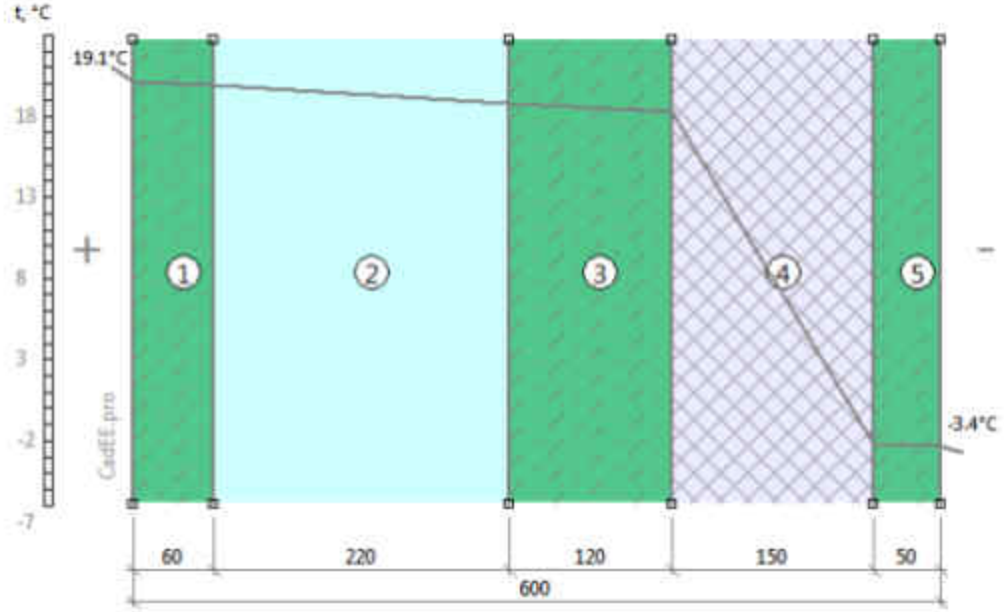


Рисунок 3.6.8. Розподіл температур у товщині огороджуючої конструкції (грудень).

Графік розподілу температур див. рис. 3.6.8

Визначемо парціальний тиск насиченої водяної пари згідно з таблицею Б.1 ДСТУ Б В.2.6-192:2013 Для Внутрішньої та зовнішньої поверхні конструкції парціальний тиск насиченої водяної пари дорівнює:

$E_в = 2215.72$ Па

$E_з = 461.47$ Па

Визначемо парціальний тиск водяної пари згідно з формулами (6) та (7) ДСТУ Б В.2.6-192:2013:

$e_в = 0.01 \varphi_{int} E_в = 55 \cdot 2215.719 \cdot 0.01 = = 1218.645$ Па

$e_з = 0.01 \varphi_{ext} E_з = 87 \cdot 461.465 \cdot 0.01 = 401.475$ Па

Визначемо парціальний тиск насиченої водяної пари в товщині конструкції з розрахунку 11 точок на 1°С перепаду температур (п. 4.2.4.7 ДСТУ Б В.2.6-192:2013).

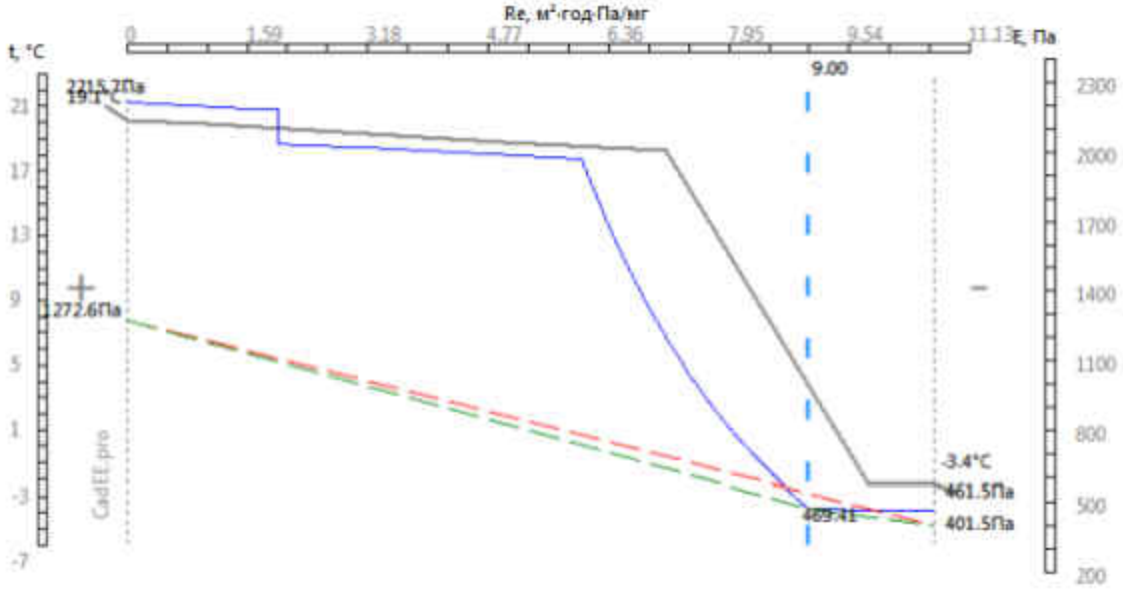


Рисунок 3.6.9. Розподіл парціальних тисків у товщині огороджуючої конструкції (грудень). На графіку лінія сіра - розподіл температури (t), синя - графік розподілу парціального тиску насиченої водої пари (Е), червона - допоміжна лінія для оцінки наявності кондинсанції пари (е), зелена - допоміжна лінія для оцінки кількості вологи що надходить/випаровується з конструкції.

Оскільки лінії Е та е перетинаються то це свідчить про конденсацію вологи в товщі огороджуючої конструкції (п.4.2.6 та п.4.3.4 ДСТУ Б В.2.6-192:2013). Визначимо місця конденсації згідно з п.4.3.5 ДСТУ Б В.2.6-192:2013. Побудуємо дотичні до графіку Е з точок ев та ез (рис.3.6.9).

Лінія розрахункового розподілу парціального тиску водяної пари в товщині конструкції:

$p_{k0} = e_в = 1218.65$ Па $R_{ek0} = 0 \frac{м^2 \cdot год \cdot Па}{мг}$

$p_{k1} = 469.41$Па $R_{ek1} = 9 \frac{м^2 \cdot год \cdot Па}{мг}$

$p_{k2} = e_з = 1218.65$ Па $R_{ek2} = 10.67 \frac{м^2 \cdot год \cdot Па}{мг}$

Кількість зон конденсації - 0 шт. Кількість площин конденсації - 1 шт 1.2.11.7 Кількість водяної пари, що надходить до першої зони(площини) конденсації з сторони приміщення визначаємо згідно з табл.3 ДСТУ Б В.2.6-192:2013:

Кількість водяної пари, що надходить до зони(площини) №1 конденсації визначаємо згідно з табл.3 ДСТУ Б В.2.6-192:2013:

$$i_1 = \frac{p_{K0} - p_{K1}}{R_{ek1} - R_{ek0}} = \frac{1218.645 - 469.409}{9.000022 - 0} = 83.248 \frac{мг}{м^2 \cdot год}$$

Кількість водяної пари, що виводиться із зони(площини) №1 назовні

$$i_2 = \frac{p_{K1} - p_{K2}}{R_{ek2} - R_{ek1}} = \frac{469.409 - 401.475}{10.666689 - 9.000022} = 40.76 \frac{мг}{м^2 \cdot год}$$

Отже кількість вологи, що конденсується в зоні/площині №1 за грудень дорівнює:

$$W_{зп1} = 10^{-6} \tau (i_1 - i_2) = 744 \cdot (83.248 - 40.76) \cdot 10^{-6} = 0.03161 \frac{кг}{м^2}$$

Кількість вологи, що конденсується в конструкції за грудень складає:

$$W_{зп2} = W_{зп21} = 0.03161 = 0.03161 \frac{кг}{м^2}$$

Проводимо розрахунок для наступного місяця вологонакопичення.

Розрахунок вологонакопичення в місяці листопад:

Розрахункові значення температури та відносної вологості зовнішнього повітря визначаємо згідно з табл. 2 та табл. 24 ДСТУ-Н Б В.1.1-27:2010, як для середньої місячної температури повітря для міста Харків (п.4.2.4.4 та п.4.2.4.3 ДСТУ Б В.2.6-192:2013):

$\varphi_{ext} = 86\%$ $\tau = 724$ год

$\theta_{ext} = 1°C$;

Температура в площинах на межі шарів :

$$\theta_0 = \theta_{int} - \frac{\theta_{int} - \theta_{ext}}{R_S} \cdot \frac{1}{h_{si}} = 20 - \frac{20 - 1}{3.159} \cdot \frac{1}{8.7} = 19.309°C$$

$$\theta_1 = \theta_{int} - \frac{\theta_{int} - \theta_{ext}}{R_S} \cdot (\frac{1}{h_{si}} + R_1) = 20 - \frac{20 - 1}{3.159} \cdot (\frac{1}{8.7} + 0.03226) = 19.115\ °C$$

$$\theta_2 = \theta_{int} - \frac{\theta_{int} - \theta_{ext}}{R_S} \cdot (\frac{1}{h_{si}} + R_2) = 20 - \frac{20 - 1}{3.159} \cdot (\frac{1}{8.7} + 0.1823) = 18.213\ °C$$

$$\theta_3 = \theta_{int} - \frac{\theta_{int} - \theta_{ext}}{R_S} \cdot (\frac{1}{h_{si}} + R_3) = 20 - \frac{20 - 1}{3.159} \cdot (\frac{1}{8.7} + 0.2468) = 17.825°C$$

$$\theta_4 = \theta_{int} - \frac{\theta_{int} - \theta_{ext}}{R_S} \cdot (\frac{1}{h_{si}} + R_4) = 20 - \frac{20 - 1}{3.159} \cdot (\frac{1}{8.7} + 2.974) = 1.423\ °C$$

$$\theta_S = \theta_{int} - \frac{\theta_{int} - \theta_{ext}}{R_S} \cdot \left(\frac{1}{h_{si}} + R_S\right) = 20 - \frac{20-1}{3.159} \cdot \left(\frac{1}{8.7} + 3.001\right) = 1.261\ ^\circ C$$

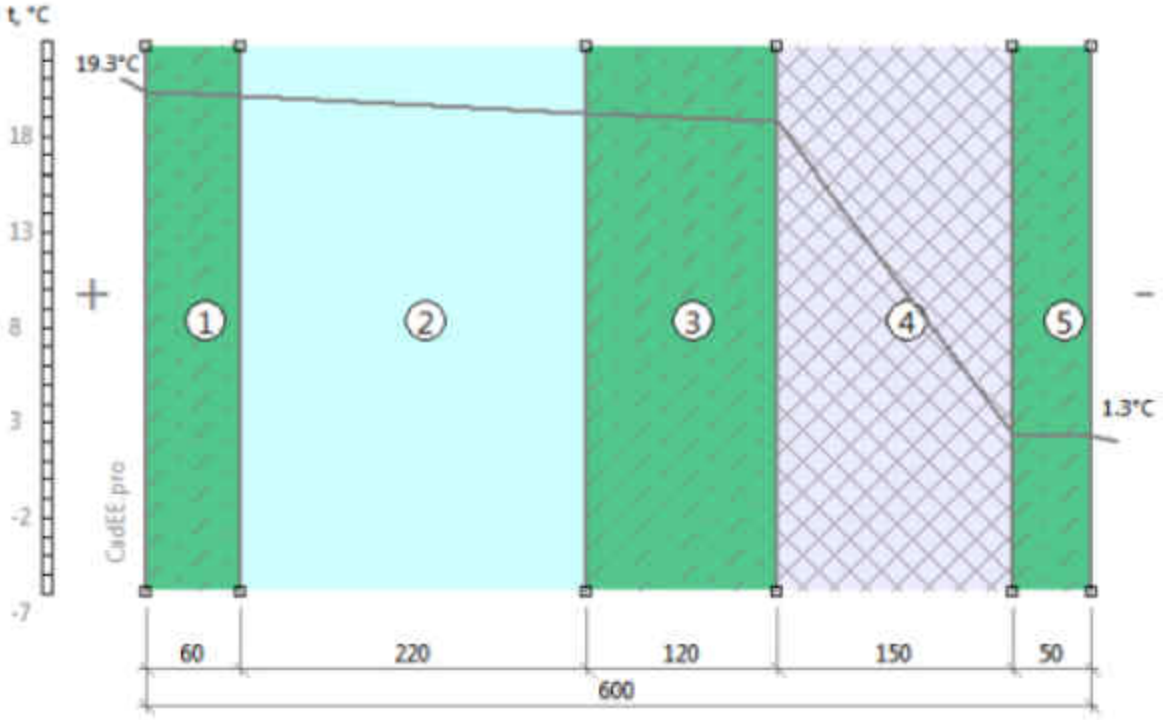


Рисунок 3.6.10. Розподіл температур у товщині огороджуючої конструкції (листопад).

Графік розподілу температур див. рис. 3.6.10

Визначемо парціальний тиск насиченої водяної пари згідно з таблицею Б.1 ДСТУ Б В.2.6-192:2013 Для Внутрішньої та зовнішньої поверхні конструкції парціальний тиск насиченої водяної пари дорівнює:

$E_в = 2239.39$ Па

$E_з = 669.4$Па

Визначемо парціальний тиск водяної пари згідно з формулами (6) та (7) ДСТУ Б В.2.6-192:2013:

$e_в = 0.01 \varphi_{int} E_в = 55 \cdot 2239.395 \cdot 0.01 = 1231.667$ Па

$e_з = 0.01 \varphi_{ext} E_з = 86 \cdot 669.399 \cdot 0.01 = 575.683$ Па

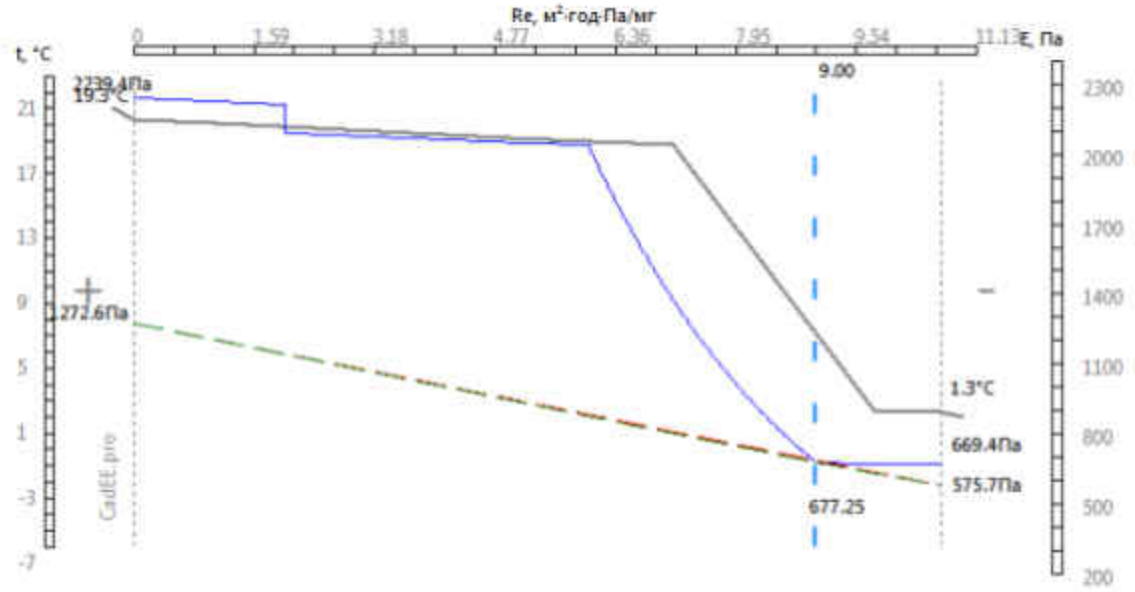


Рисунок 3.6.11. Розподіл парціальних тисків у товщині огороджуючої конструкції (листопад). На графіку лінія сіра - розподіл температури (t), синя - графік розподілу парціального тиску насиченої водої пари (E), червона - допоміжна лінія для оцінки наявності кондинсанції пари (e), зелена - допоміжна лінія для оцінки кількості вологи що надходить/випаровується з конструкції.

Оскільки лінії E та e перетинаються то це свідчить про конденсацію вологи в товщі огороджуючої конструкції (п.4.2.6 та п.4.3.4 ДСТУ Б В.2.6-192:2013). Визначимо місця конденсації згідно з п.4.3.5 ДСТУ Б В.2.6-192:2013. Побудуємо дотичні до графіку E з точок ев та ез (рис.3.6.11). Лінія розрахункового розподілу парціального тиску водяної пари в товщині конструкції:

$p_{k0} = e_в = 1231.67$Па $R_{ek0} = 0 \frac{м^2 \cdot год \cdot Па}{мг}$

$p_{k1} = 677.25$ Па $R_{ek1} = 9 \frac{м^2 \cdot год \cdot Па}{мг}$

$p_{k2} = e_з = 1231.67$ Па $R_{ek2} = 10.67 \frac{м^2 \cdot год \cdot Па}{мг}$

Кількість зон конденсації - 0 шт. Кількість площин конденсації - 1 шт

Кількість водяної пари, що надходить до першої зони(площини) конденсації з сторони приміщення визначаємо згідно з табл.3 ДСТУ Б В.2.6-192:2013:

Кількість водяної пари, що надходить до зони(площини) №1 конденсації визначаємо згідно з табл.3 ДСТУ Б В.2.6-192:2013:

$$i_1 = \frac{p_{K0} - p_{K1}}{R_{ek1} - R_{ek0}} = \frac{1231.667 - 677.254}{9.000022 - 0} = 61.601 \frac{мг}{м^2 \cdot год}$$

Кількість водяної пари, що виводиться із зони(площини) №1 назовні

$$i_2 = \frac{p_{K1} - p_{K2}}{R_{ek2} - R_{ek1}} = \frac{677.254 - 575.683}{10.666689 - 9.000022} = 60.942 \frac{мг}{м^2 \cdot год}$$

Отже кількість вологи, що конденсується в зоні/площині №1 за листопад дорівнює:

$W_{зп11} = 10^{-6} \tau(i_1 - i_2) = 724 \cdot (61.601 - 60.942) \cdot 10^{-6} = 0.0004772 \frac{кг}{м^2}$

Кількість вологи, що конденсується в конструкції за листопад складає:

$W_{зп2} = W_{зп21} = 0.0004772 = 0.0004772 \frac{кг}{м^2}$

Проводимо розрахунок для наступного місяця вологонакопичення.

Розрахунок вологонакопичення в місяці жовтень:

Розрахункові значення температури та відносної вологості зовнішнього повітря визначаємо згідно з табл. 2 та табл. 24 ДСТУ-Н Б В.1.1-27:2010, як для середньої місячної температури повітря для міста Харків (п.4.2.4.4 та п.4.2.4.3 ДСТУ Б В.2.6-192:2013):

$\varphi_{ext} = 77\%$ $\tau = 744$ год

$\theta_{ext} = 7.5°C$;

Температура в площинах на межі шарів :

$$\theta_0 = \theta_{int} - \frac{\theta_{int} - \theta_{ext}}{R_S} \cdot \frac{1}{h_{si}} = 20 - \frac{20 - 7.5}{3.159} \cdot \frac{1}{8.7} = 19.545°C$$

$$\theta_1 = \theta_{int} - \frac{\theta_{int} - \theta_{ext}}{R_S} \cdot \left(\frac{1}{h_{si}} + R_1\right) = 20 - \frac{20 - 7.5}{3.159} \cdot \left(\frac{1}{8.7} + 0.03226\right) = 19.418\ °C$$

$$\theta_2 = \theta_{int} - \frac{\theta_{int} - \theta_{ext}}{R_S} \cdot \left(\frac{1}{h_{si}} + R_2\right) = 20 - \frac{20 - 7.5}{3.159} \cdot \left(\frac{1}{8.7} + 0.1823\right) = 18.824°C$$

$$\theta_3 = \theta_{int} - \frac{\theta_{int} - \theta_{ext}}{R_S} \cdot \left(\frac{1}{h_{si}} + R_3\right) = 20 - \frac{20 - 7.5}{3.159} \cdot \left(\frac{1}{8.7} + 0.2468\right) = 18.569°C$$

$$\theta_4 = \theta_{int} - \frac{\theta_{int} - \theta_{ext}}{R_S} \cdot \left(\frac{1}{h_{si}} + R_4\right) = 20 - \frac{20 - 7.5}{3.159} \cdot \left(\frac{1}{8.7} + 2.974\right) = 7.778\ °C$$

$$\theta_5 = \theta_{int} - \frac{\theta_{int} - \theta_{ext}}{R_S} \cdot \left(\frac{1}{h_{si}} + R_5\right) = 20 - \frac{20 - 7.5}{3.159} \cdot \left(\frac{1}{8.7} + 3.001\right) = 7.672\ °C$$

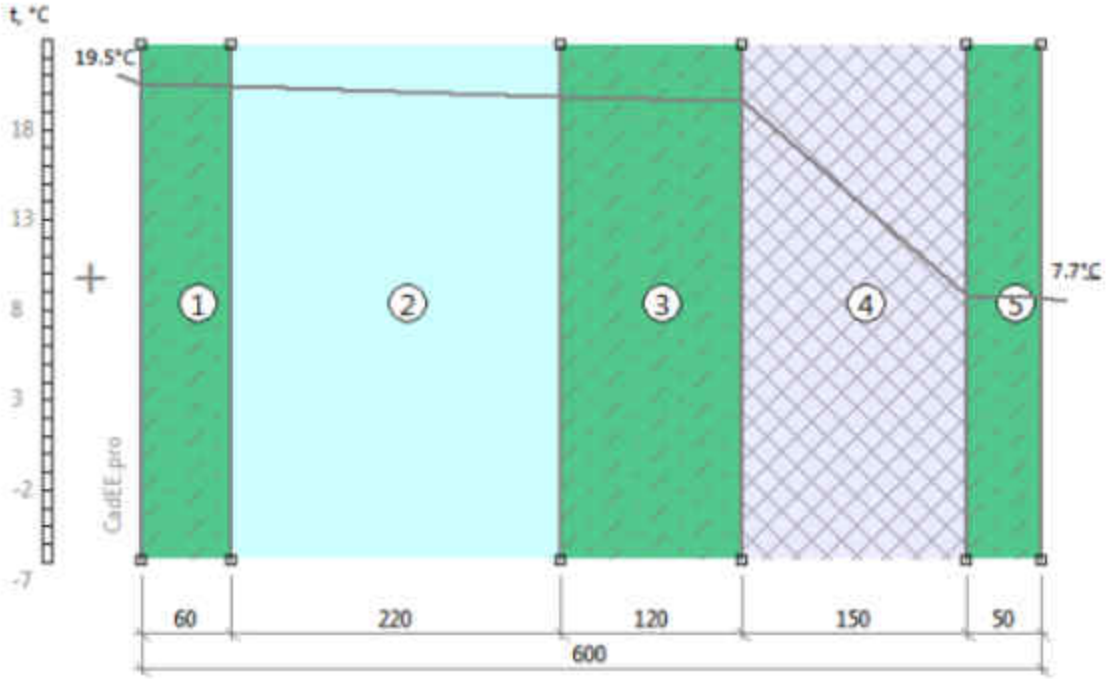


Рисунок 3.6.12. Розподіл температур у товщині огороджуючої конструкції (жовтень).

Графік розподілу температур див. рис. 3.6.12

Визначемо парціальний тиск насиченої водяної пари згідно з таблицею Б.1 ДСТУ Б В.2.6-192:2013 Для Внутрішньої та зовнішньої поверхні конструкції парціальний тиск насиченої водяної пари дорівнює:

$E_в = 2272.5$ Па

$E_з = 1049.88$ Па

Визначемо парціальний тиск водяної пари згідно з формулами (6) та (7) ДСТУ Б В.2.6-192:2013:

$e_в = 0.01 \varphi_{int} E_в = 55 \cdot 2272.503 \cdot 0.01 = 1249.877$ Па

$e_з = 0.01 \varphi_{ext} E_з = 77 \cdot 1049.882 \cdot 0.01 = 808.409$ Па

Визначемо парціальний тиск насиченої водяної пари в товщині конструкції з розрахунку 11 точок на 1°С перепаду температур (п. 4.2.4.7 ДСТУ Б В.2.6-192:2013).

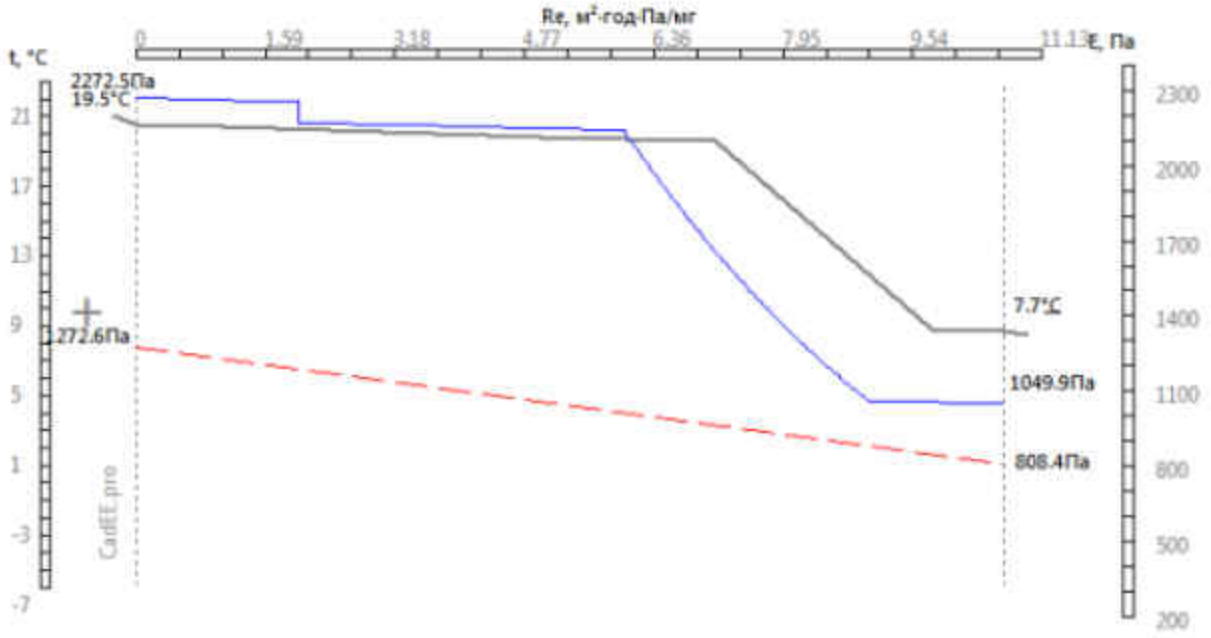


Рисунок 3.6.13. Розподіл парціальних тисків у товщині огороджуючої конструкції (жовтень). На графіку лінія сіра - розподіл температури (t), синя - графік розподілу парціального тиску насиченої водої пари (E), червона - допоміжна лінія для оцінки наявності кондинсанції пари (e), зелена - допоміжна лінія для оцінки кількості вологи що надходить/випаровується з конструкції.

Оскільки лінії E та e не перетинаються то згідно з п.4.2.5 та п.4.3.3 ДСТУ Б В.2.6-192:2013, конденсація водяної пари в товщині конструкції не відбувається.

За провединими розрахунками встановлено, що в даній конструкції процес конденсації водяної пари відбувається з місяця листопад до місяця лютий. В інші місяці відбувається випаровування вологи, що сконденсувалась.

Розрахунок вологовіддачі в місяці березень:

Розрахункові значення температури та відносної вологості зовнішнього повітря визначаємо згідно з табл. 2 та табл. 24 ДСТУ-Н Б В.1.1-27:2010, як для середньої місячної температури повітря для міста Харків (п.4.2.4.4 та п.4.2.4.3 ДСТУ Б В.2.6-192:2013)

$\varphi_{ext} = 79\%$ $\tau = 774$ год

$\theta_{ext} = 0°C$;

Температура в площинах на межі шарів :

$$\theta_0 = \theta_{int} - \frac{\theta_{int} - \theta_{ext}}{R_S} \cdot \frac{1}{h_{si}} = 20 - \frac{20 - 0}{3.159} \cdot \frac{1}{8.7} = 19.272°C$$

$$\theta_1 = \theta_{int} - \frac{\theta_{int} - \theta_{ext}}{R_S} \cdot \left(\frac{1}{h_{si}} + R_1\right) = 20 - \frac{20-0}{3.159} \cdot \left(\frac{1}{8.7} + 0.03226\right) = 19.068\ °C$$

$$\theta_2 = \theta_{int} - \frac{\theta_{int} - \theta_{ext}}{R_S} \cdot \left(\frac{1}{h_{si}} + R_2\right) = 20 - \frac{20-0}{3.159} \cdot \left(\frac{1}{8.7} + 0.1823\right) = 18.119\ °C$$

$$\theta_3 = \theta_{int} - \frac{\theta_{int} - \theta_{ext}}{R_S} \cdot \left(\frac{1}{h_{si}} + R_3\right) = 20 - \frac{20-0}{3.159} \cdot \left(\frac{1}{8.7} + 0.2468\right) = 17.71°C$$

$$\theta_4 = \theta_{int} - \frac{\theta_{int} - \theta_{ext}}{R_S} \cdot \left(\frac{1}{h_{si}} + R_4\right) = 20 - \frac{20-0}{3.159} \cdot \left(\frac{1}{8.7} + 2.974\right) = 0.4454\ °C$$

$$\theta_5 = \theta_{int} - \frac{\theta_{int} - \theta_{ext}}{R_S} \cdot \left(\frac{1}{h_{si}} + R_5\right) = 20 - \frac{20-0}{3.159} \cdot \left(\frac{1}{8.7} + 3.001\right) = 0.2752\ °C$$

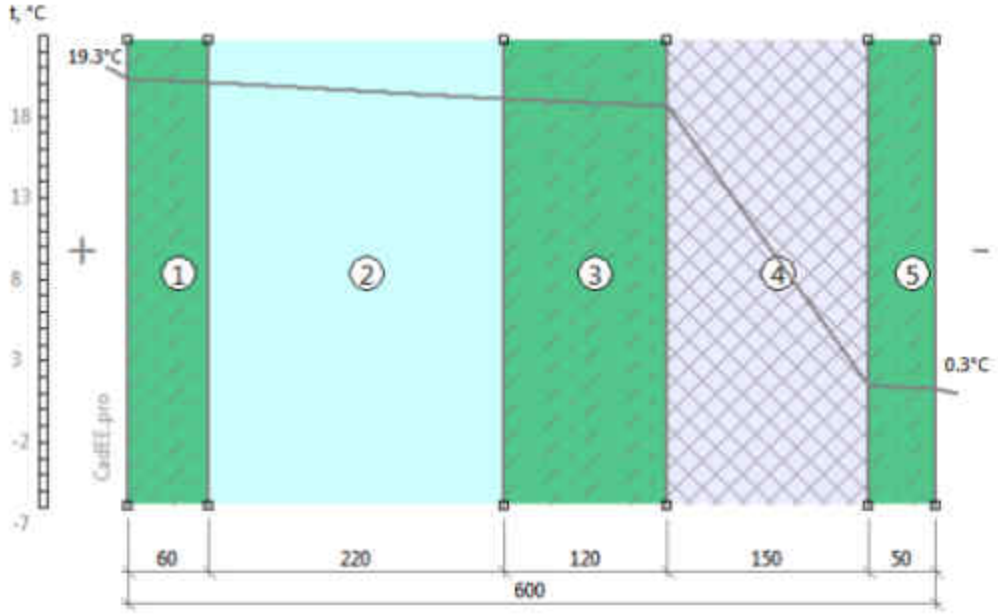


Рисунок 3.6.14. Розподіл температур у товщині огороджуючої конструкції (березень).

Графік розподілу температур див. рис. 3.6.14

Визначемо парціальний тиск насиченої водяної пари згідно з таблицею Б.1 ДСТУ Б В.2.6-192:2013 Для Внутрішньої та зовнішньої поверхні конструкції парціальний тиск насиченої водяної пари дорівнює:

$E_в = 2234.34$ Па

$E_з = 623.19$ Па

Визначемо парціальний тиск водяної пари згідно з формулами (6) та (7) ДСТУ Б В.2.6-192:2013:

$e_в = 0.01 \varphi_{int} E_в = 55 \cdot 2234.339 \cdot 0.01 = 1228.886$ Па

$e_з = 0.01 \varphi_{ext} E_з = 79 \cdot 623.185 \cdot 0.01 = 492.316$ Па

Визначемо парціальний тиск насиченої водяної пари в товщині конструкції з розрахунку 11 точок на 1°С перепаду температур (п. 4.2.4.7 ДСТУ Б В.2.6-192:2013).

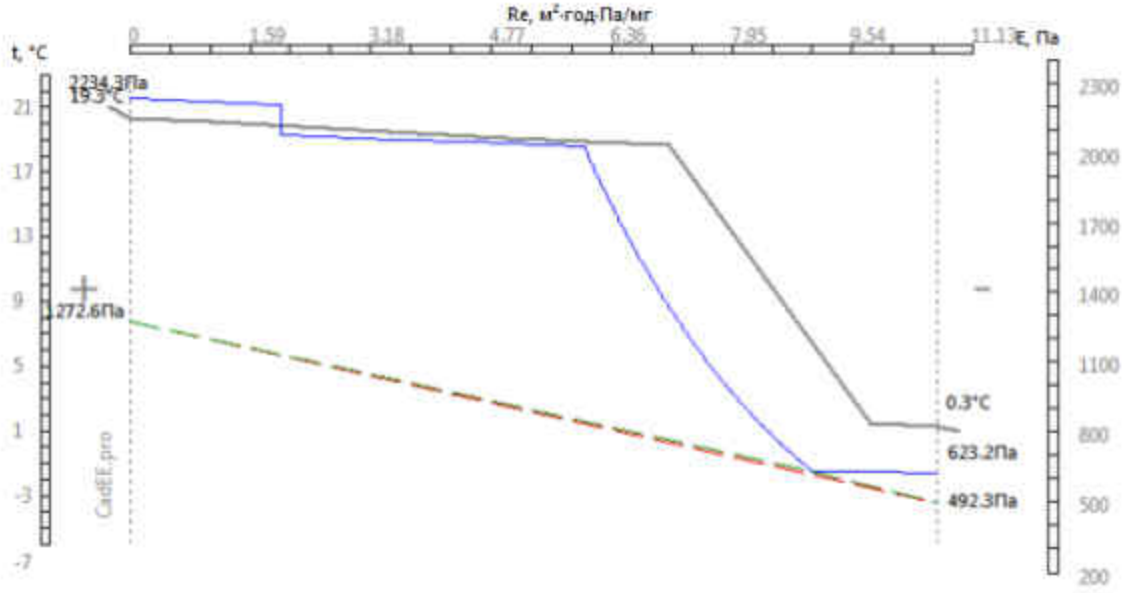


Рисунок 3.6.15. Розподіл парціальних тисків у товщині огороджуючої конструкції (березень)

Лінія падіння парціального тиску водяної пари в товщині конструкції (п. 4.3.12 ДСТУ Б В.2.6-192:2013):

$p_{k0} = e_в = 1228.89$ Па $R_{eko} = 0 \frac{м^2 \cdot год \cdot Па}{мг}$

$p_{k1} = 630.95$ Па $R_{ek1} = 9 \frac{м^2 \cdot год \cdot Па}{мг}$

$p_{k2} = e_з = 492.32$ Па $R_{ek2} = 10.67 \frac{м^2 \cdot год \cdot Па}{мг}$

Кількість зон конденсації - 0 шт. Кількість площин конденсації - 1 шт

Кількість водяної пари, що надходить до першої зони(площини) конденсації з сторони приміщення визначаємо згідно з табл.3 ДСТУ Б В.2.6-192:2013:

Кількість водяної пари, що надходить до зони(площини) №1 конденсації визначаємо згідно з табл.3 ДСТУ Б В.2.6-192:2013:

$$i_1 = \frac{p_{K0} - p_{K1}}{R_{ek1} - R_{eko}} = \frac{1228.886 - 630.954}{9.000022 - 0} = 66.437 \frac{мг}{м^2 \cdot год}$$

Кількість водяної пари, що виводиться із зони(площини) №1 назовні

$$i_2 = \frac{p_{K1} - p_{K2}}{R_{ek2} - R_{ek1}} = \frac{630.954 - 492.316}{10.666689 - 9.000022} = 83.183 \frac{мг}{м^2 \cdot год}$$

Отже кількість вологи, що конденсується в зоні/площині №1 за березень дорівнює:

$$W_{зп1} = 10^{-6}\,\tau(i_1 - i_2) = 744 \cdot (66.437 - 83.183) \cdot 10^{-6} = -0.01246\ \frac{кг}{м^2}$$

Розрахунок вологовіддачі в місяці квітень:

Розрахункові значення температури та відносної вологості зовнішнього повітря визначаємо згідно з табл. 2 та табл. 24 ДСТУ-Н Б В.1.1-27:2010, як для середньої місячної температури повітря для міста Харків (п.4.2.4.4 та п.4.2.4.3 ДСТУ Б В.2.6-192:2013)

$\varphi_{ext} = 67\%$ $\tau = 720$ год

$\theta_{ext} = 9°C$;

Температура в площинах на межі шарів :

$$\theta_0 = \theta_{int} - \frac{\theta_{int} - \theta_{ext}}{R_S} \cdot \frac{1}{h_{si}} = 20 - \frac{20-9}{3.159} \cdot \frac{1}{8.7} = 19.6\ °°C$$

$$\theta_1 = \theta_{int} - \frac{\theta_{int} - \theta_{ext}}{R_S} \cdot \left(\frac{1}{h_{si}} + R_1\right) = 20 - \frac{20-9}{3.159} \cdot \left(\frac{1}{8.7} + 0.03226\right) = 19.487\ °C$$

$$\theta_2 = \theta_{int} - \frac{\theta_{int} - \theta_{ext}}{R_S} \cdot \left(\frac{1}{h_{si}} + R_2\right) = 20 - \frac{20-9}{3.159} \cdot \left(\frac{1}{8.7} + 0.1823\right) = 18.965\ °C$$

$$\theta_3 = \theta_{int} - \frac{\theta_{int} - \theta_{ext}}{R_S} \cdot \left(\frac{1}{h_{si}} + R_3\right) = 20 - \frac{20-9}{3.159} \cdot \left(\frac{1}{8.7} + 0.2468\right) = 18.741°C$$

$$\theta_4 = \theta_{int} - \frac{\theta_{int} - \theta_{ext}}{R_S} \cdot \left(\frac{1}{h_{si}} + R_4\right) = 20 - \frac{20-9}{3.159} \cdot \left(\frac{1}{8.7} + 2.974\right) = 9.245°C$$

$$\theta_5 = \theta_{int} - \frac{\theta_{int} - \theta_{ext}}{R_S} \cdot \left(\frac{1}{h_{si}} + R_5\right) = 20 - \frac{20-9}{3.159} \cdot \left(\frac{1}{8.7} + 3.001\right) = 9.151\ °C$$

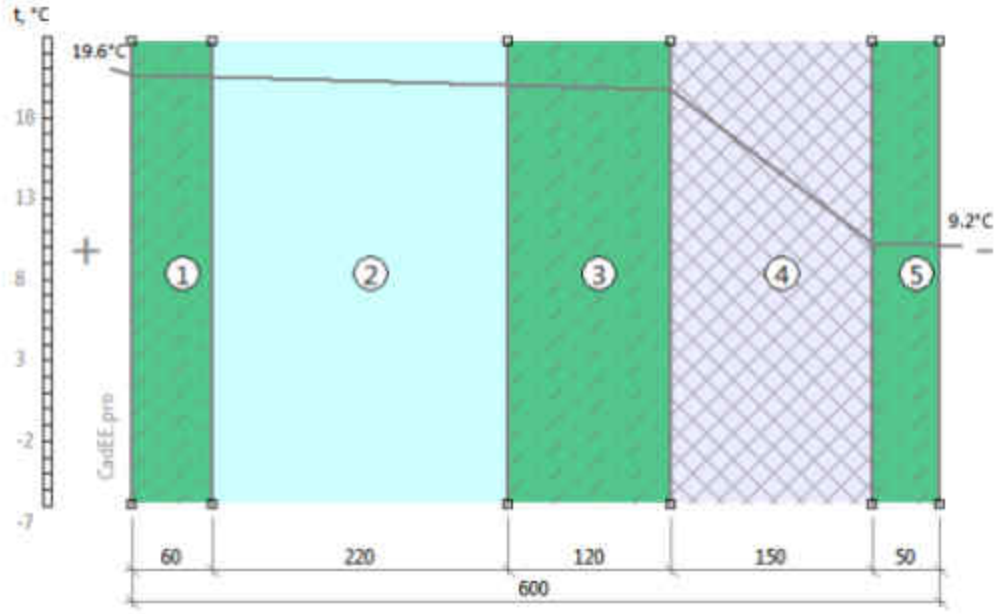


Рисунок 3.6.16. Розподіл температур у товщині огороджуючої конструкції (квітень).

Графік розподілу температур див. рисунок 3.6.16

Визначемо парціальний тиск насиченої водяної пари згідно з таблицею Б.1 ДСТУ Б В.2.6-192:2013 Для Внутрішньої та зовнішньої поверхні конструкції парціальний тиск насиченої водяної пари дорівнює:

$E_в = 2280.2$ Па

$E_з = 1160.73$ Па

Визначемо парціальний тиск водяної пари згідно з формулами (6) та (7) ДСТУ Б В.2.6-192:2013:

$e_в = 0.01 \varphi_{int} E_в = 55 \cdot 2280.204 \cdot 0.01 = 1254.112$ Па

$e_з = 0.01 \varphi_{ext} E_з = 67 \cdot 1160.725 \cdot 0.01 = 777.686$ Па

Визначемо парціальний тиск насиченої водяної пари в товщині конструкції з розрахунку 11 точок на 1°С перепаду температур (п. 4.2.4.7 ДСТУ Б В.2.6-192:2013).

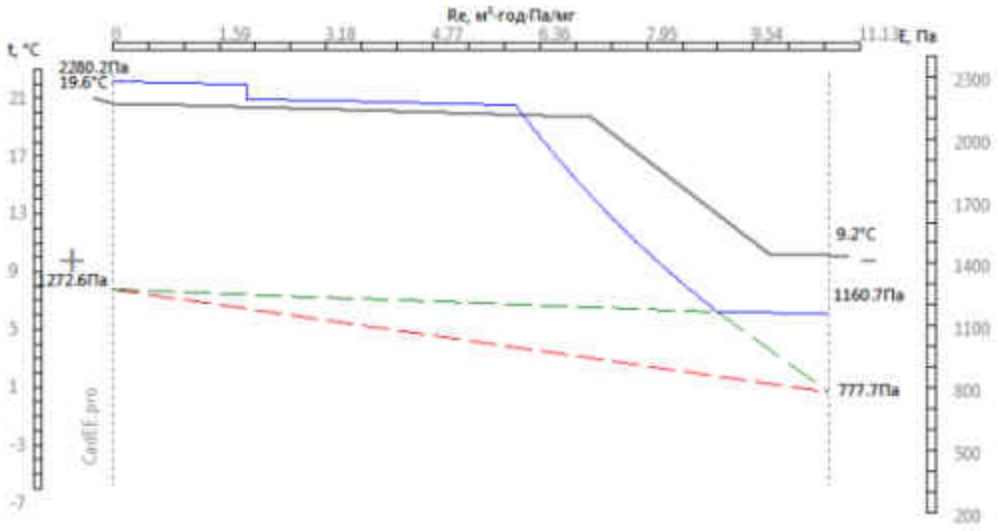


Рисунок 3.6.17. Розподіл парціальних тисків у товщині огороджуючої конструкції (квітень)

Лінія падіння парціального тиску водяної пари в товщині конструкції (п. 4.3.12 ДСТУ Б В.2.6-192:2013):

$$i_1 = \frac{p_{K0} - p_{K1}}{R_{ek1} - R_{ek0}} = \frac{1254.112 - 1168.07}{9.000022 - 0} = 9.56 \frac{мг}{м^2 \cdot год}$$

Кількість водяної пари, що виводиться із зони(площини) №1 назовні

$$i_2 = \frac{p_{K1} - p_{K2}}{R_{ek2} - R_{ek1}} = \frac{1168.07 - 777.686}{10.666689 - 9.000022} = 234.231 \frac{мг}{м^2 \cdot год}$$

Отже кількість вологи, що конденсується в зоні/площині №1 за квітень дорівнює:

$$W_{зп1} = 10^{-6}\,\tau(i_1 - i_2) = 720 \cdot (9.56 - 234.231) \cdot 10^{-6} = -0.1618 \frac{кг}{м^2}$$

Розрахунок вологовіддачі в місяці травень:

Розрахункові значення температури та відносної вологості зовнішнього повітря визначаємо згідно з табл. 2 та табл. 24 ДСТУ-Н Б В.1.1-27:2010, як для середньої місячної температури повітря для міста Харків (п.4.2.4.4 та п.4.2.4.3 ДСТУ Б В.2.6-192:2013):

$\varphi_{ext} = 60\%$ $\tau = 744$ год

$\theta_{ext} = 15.5$ °С;

Температура в площинах на межі шарів :

$$\theta_0 = \theta_{int} - \frac{\theta_{int} - \theta_{ext}}{R_S} \cdot \frac{1}{h_{si}} = 20 - \frac{20 - 15.5}{3.159} \cdot \frac{1}{8.7} = 19.836\ °C$$

$$\theta_1 = \theta_{int} - \frac{\theta_{int} - \theta_{ext}}{R_S} \cdot \left(\frac{1}{h_{si}} + R_1\right) = 20 - \frac{20 - 15.5}{3.159} \cdot \left(\frac{1}{8.7} + 0.03226\right) = 19.79\ °C$$

$$\theta_2 = \theta_{int} - \frac{\theta_{int} - \theta_{ext}}{R_S} \cdot \left(\frac{1}{h_{si}} + R_2\right) = 20 - \frac{20 - 15.5}{3.159} \cdot \left(\frac{1}{8.7} + 0.1823\right) = 19.577\ °C$$

$$\theta_3 = \theta_{int} - \frac{\theta_{int} - \theta_{ext}}{R_S} \cdot \left(\frac{1}{h_{si}} + R_3\right) = 20 - \frac{20 - 15.5}{3.159} \cdot \left(\frac{1}{8.7} + 0.2468\right) = 19.485\ °C$$

$$\theta_4 = \theta_{int} - \frac{\theta_{int} - \theta_{ext}}{R_S} \cdot \left(\frac{1}{h_{si}} + R_4\right) = 20 - \frac{20 - 15.5}{3.159} \cdot \left(\frac{1}{8.7} + 2.974\right) = 15.6\ °C$$

$$\theta_5 = \theta_{int} - \frac{\theta_{int} - \theta_{ext}}{R_S} \cdot \left(\frac{1}{h_{si}} + R_5\right) = 20 - \frac{20 - 15.5}{3.159} \cdot \left(\frac{1}{8.7} + 3.001\right) = 15.562\ °C$$

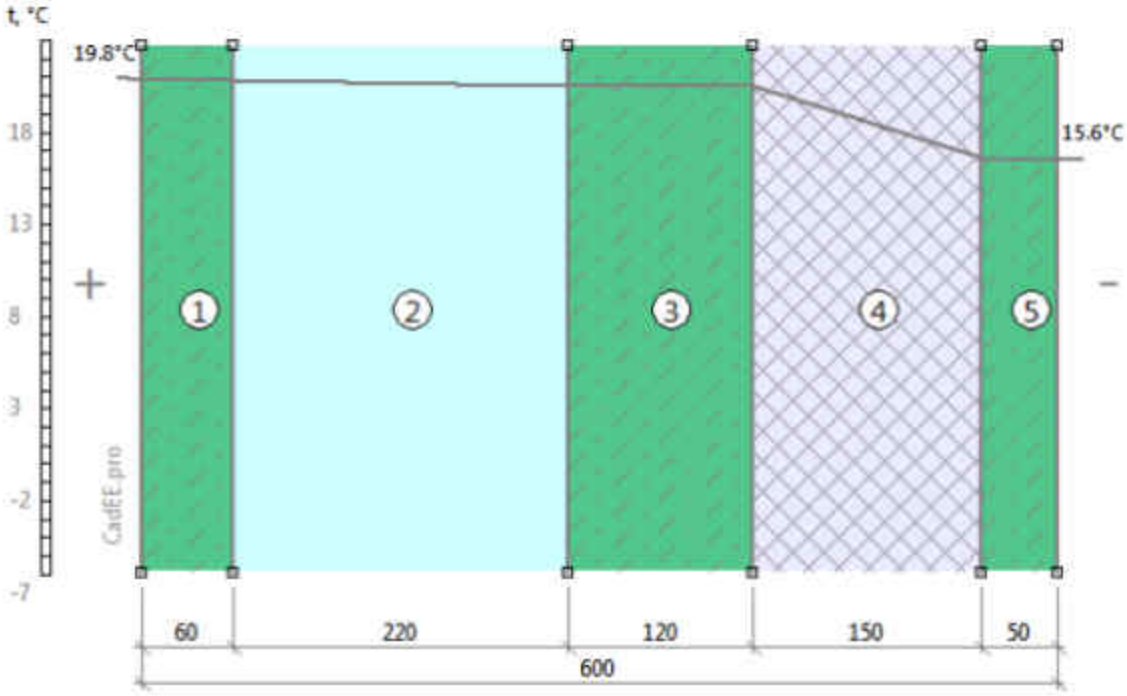


Рисунок 3.6.18. Розподіл температур у товщині огороджуючої конструкції (травень)

Графік розподілу температур див. рис. 3.6.18

Визначемо парціальний тиск насиченої водяної пари згідно з таблицею Б.1 ДСТУ Б В.2.6-192:2013 Для Внутрішньої та зовнішньої поверхні конструкції парціальний тиск насиченої водяної пари дорівнює:

$E_в = 2313.84$ Па

$E_з = 1768.3$ Па

Визначемо парціальний тиск водяної пари згідно з формулами (6) та (7) ДСТУ Б В.2.6-192:2013:

$e_в = 0.01 \varphi_{int} E_в = 55 \cdot 2313.84 \cdot 0.01 = 1272.612$ Па

$e_з = 0.01 \varphi_{ext} E_з = 60 \cdot 1768.296 \cdot 0.01 = 1060.977$ Па

Визначемо парціальний тиск насиченої водяної пари в товщині конструкції з розрахунку 11 точок на 1°С перепаду температур (п. 4.2.4.7 ДСТУ Б В.2.6-192:2013).

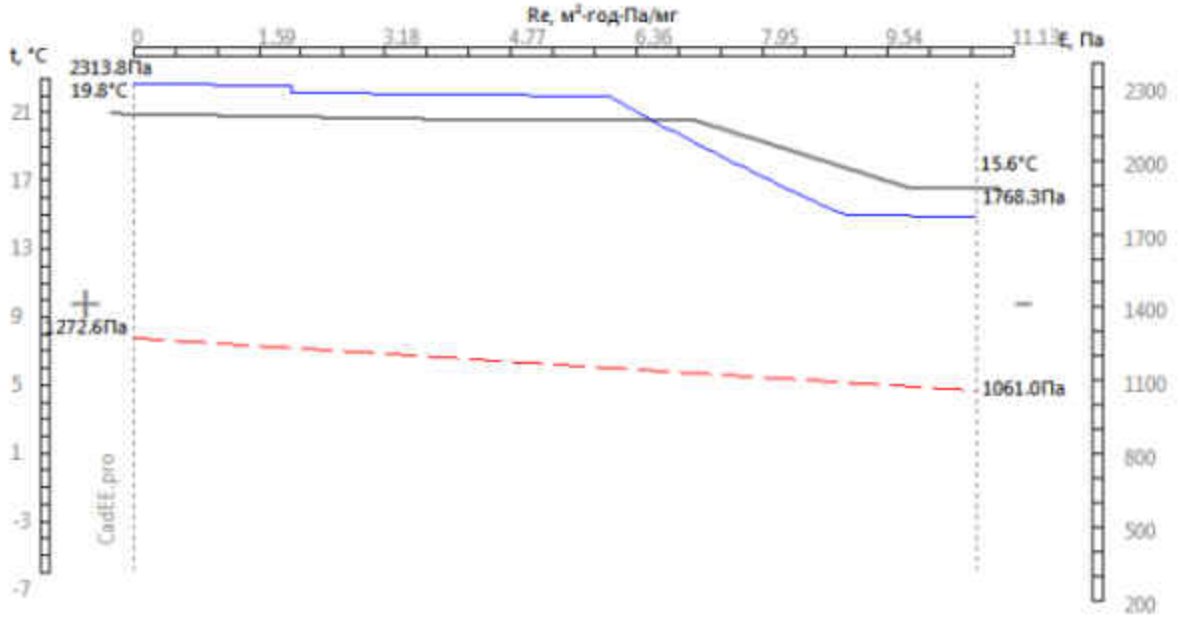


Рисунок 3.6.19. Розподіл парціальних тисків у товщині огороджуючої конструкції (травень)

Лінія падіння парціального тиску водяної пари в товщині конструкції (п. 4.3.12 ДСТУ Б В.2.6-192:2013):

$p_{k0} = e_в = 1272.61$ Па $R_{eko} = 0 \frac{м^2 \cdot год \cdot Па}{мг}$

$p_{k1} = e_з = 1060.98$ Па $R_{ek1} = 10.67 \frac{м^2 \cdot год \cdot Па}{мг}$

Кількість зон конденсації - 0 шт. Кількість площин конденсації - 0 шт

Кількість водяної пари, що надходить до першої зони(площини) конденсації з сторони приміщення визначаємо згідно з табл.3 ДСТУ Б В.2.6-192:2013:

Зведемо результати розрахунку вологонакопичення та випаровування вологи з товщі конструкції на протязі року у таблицю:

Таблиця №3.6.4. Річний баланс вологи в товщі огороджуючої конструкції будинку

Місяць	К-ть вологи, що сконденсувалася, кг/м^2	К-ть вологи, що випарувалась, кг/м^2
	В зоні конденсації І	В зоні конденсації І
листопад	0.0005	0
грудень	0.0316	0
січень	0.0373	0
лютий	0.0283	0
березень	0	-0.0125
квітень	0	-0.1618

Оцінемо збільшення вологості матеріалу у товщі шару конструкції у якому може відбуватися конденсація вологи за холодний період року.

Зволоження відбувається в шарі №4 (Бетон на гравії або щебені з природного каменю)

$W_{зп1} = W_{зп1[1]} + W_{зп1[2]} + W_{зп1[1]} + W_{зп2]} = 0.0004771585 + 0.03161094 + 0.03727424 + 0.02833302 = 0.0977 \frac{кг}{м^2}$

Випаровування з шару №4 (Бетон на гравії або щебені з природного каменю)

$W_{лп1} = W_{лп3]} + W_{лп4]} = 0.01245882 + 0.1617627 = 0.1742 \frac{кг}{м^2}$

Приріст вологи в шарі №4 (Бетон на гравії або щебені з природного каменю) визначаємо відповідно до п. 4.2.11 та п. 4.3.9 ДСТУ Б В.2.6-192:2013:

$$\Delta w_1 = \frac{100 W_{ЗП1}}{\delta_S \rho_S} = \frac{0.0977 \cdot 100}{0.03 \cdot 2400} = 0.1357\ \%$$

Допустиме за теплоізоляційними характеристиками збільшення вологості матеріалу визначаємо згідно з табл. 5 ДБН В.2.6-31:2021:

$\Delta w_д = 2\%$

Оскільки:

$\Delta w_1 = 0.14\% < \Delta w_д = 2\%$

то умова (1) ДСТУ Б В.2.6-192:2013 - виконується.

Кількість накопиченої в товщі огороджувальної конструкції вологи, що сконденсувалася за зимовий період:

$W_{зп} = W_{зп1} = 0.0977 = 0.0977 \frac{кг}{м^2}$

Кількість вологи, що випарувалась з огороджувальної конструкції за період вологовіддачі року:

$$W_{лп} = W_{лп1} = 0.1742 = 0.1742 \frac{кг}{м^2}$$

Оскільки:

$$W_{зп} = 0.1 \frac{кг}{м^2} < W_{лп} = 0.17 \frac{кг}{м^2}$$

то умова (2) ДСТУ Б В.2.6-192:2013 - виконується.

Оцінка теплостійкості в літній період. стіна №1.

Оцінку теплостійкості в літній період виконуємо згідно з вимогами ДСТУ-Н Б В.2.6-190:2013.

Вихідні дані Параметри клімату району будіництва наведені в таблиці:

Таблиця №3.6.5. Розрахункові параметри клімату м. Харків

Назва параметра	Значення
Середня температура липня, °С (табл. 2 ДСТУ -Н Б В.1.1-27:2010)	20.70
Середня амплітуда добових коливань температури зовнішнього повітря в липні Ats, °С (табл. 2 ДСТУ -Н Б В.1.1-27:2010)	10.40
Максимальне значення сумарної сонячної радіації, що надходить на вертикальну поверхню західної орієнтації в липні Imax, Вт/м^2 (табл. 17 ДСТУ-Н Б В.1.1-27:2010)	658
Середнє значення сумарної сонячної радіації, що надходить на вертикальну поверхню в липні Iсер, Вт/м^2 (табл. 17 ДСТУ-Н Б В.1.1-27:2010)	162
Мінімільна з середніх швидкостей вітру по румбах за липень, повторюваністб яких становить 16% і більше υ, м/с(табл. 6 ДСТУ-Н Б В.1.1-27:2010)	3.60

Параметри мікроклімату приміщення наведені в таблиці:

Таблиця №3.6.6. Розрахункові параметри мікроклімату в приміщенні (Харків)

Назва параметра	Значення
Температура внутрішнього повітря tвн, °С (згідно з таблицею Б.2 ДБН В.2.6-31:2021)	20.00
Вологість внутрішнього повітря φвн, % (згідно з таблицею Б.2 ДБН В.2.6-31:2021)	55.00
Вологісний режим приміщення нормальний	нормальний

При розрахунках враховується основні шари конструкції, їхні теплофізичні характеристики приймаються згідно з Додатком А ДСТУ 9191:2022 Теплофізичні характеристики матеріалів шарів конструкції наведені в таблиці:

Таблиця №3.6.7. Характеристики матеріалів шарів конструкції

№	Назва шару	Товщина	Густина ρ,	Теплопровідність λ	Коефіцієнт теплозасвоєння s
		(м)	кг/м³	Вт/(м*К). Умови експл. А	Вт/(м²К). Умови експл. А
1	Бетон на гравії або щебені з природного каменю	0.06	2400	1.74	16.77
2	Повітряний прошарок замкнутий	0.22	1.22	1.467	0
3	Бетон на гравії або щебені з природного каменю	0.12	2400	1.74	16.77
4	Спінений пінополістирол ρ=15 кг/м³	0.15	15	0.045	0.28
5	Бетон на гравії або щебені з природного каменю	0.05	2400	1.74	16.77

Визначення теплових характеристик шарів непрозорої огороджувальної конструкції Теплові опори теплопередачі шарів непрозорої огороджувальної конструкціїрозрахвуємо згідно з формулою (7) ДСТУ-Н Б.2.6-190:2013

Визначення теплових характеристик шарів непрозорої огороджувальної конструкції Теплові опори теплопередачі шарів непрозорої огороджувальної конструкціїрозрахвуємо згідно з формулою (7) ДСТУ-Н Б.2.6-190:2013

$$R_1 = \frac{d_1}{\lambda_{p1}} = \frac{0.06}{1.74} = 0.03448 \frac{м^2 \cdot K}{Вт}$$

Тепловий опір замкнутого повітряного прошарку визначаємо згідно з таблицею В.1 ДСТУ 9191:2022 Повітряний прошарок без відбивної ізоляції. Положення повітряного прошарку вертикальне.

$$R_2 = 0.15 \frac{м^2 \cdot K}{Вт}$$

$$R_3 = \frac{d_3}{\lambda_{p3}} = \frac{0.12}{1.74} = 0.069 \frac{м^2 \cdot K}{Вт}$$

$$R_4 = \frac{d_4}{\lambda_{p4}} = \frac{0.15}{0.045} = 3.333 \frac{м^2 \cdot K}{Вт}$$

$$R_5 = \frac{d_5}{\lambda_{p5}} = \frac{0.05}{1.74} = 0.02874 \frac{м^2 \cdot K}{Вт}$$

Визначення теплових інерцій кожного шару непрозорої огороджувальної конструкції

Теплові інерції шарів непрозорої огороджувальної конструкціїрозрахвуємо згідно з формулами (5) та (6) ДСТУ-Н Б.2.6-190:2013:

$D_1 = R_1 s_1 = 0.03448 \cdot 16.77 = 0.578$

$D_2 = R_2 s_2 = 0.15 \cdot 0 = 0$

$D_3 = R_3 s_3 = 0.069 \cdot 16.77 = 1.157$

$D_4 = R_4 s_4 = 3.333 \cdot 0.28 = 0.933$

$D_5 = R_5 s_5 = 0.02874 \cdot 16.77 = 0.4819$

$D = D_1 + D_2 + D_3 + D_4 + D_5 = 0.578 + 0 + 1.157 + 0.933 + 0.4819 = 3.15$

Вачення розрахункової амплітуди коливань зовнішнього повітря згідно з п. 4.3 ДСТУ-Н Б.2.6-190:2013 Коефіцієнт тепловіддачі зовнішньої поверхні огороджувальної конструкції в літній період визначаємо згідно з п. 4.4 ДСТУ-Н Б.2.6-190:2013:

$$\alpha_{зп} = 1.16 (5 + 10\upsilon^{0.5}) = 1.16 \cdot (5 + 10 \cdot 3.6^{0.5}) = 27.809 \frac{Вт}{м^2 \cdot K}$$

Коефіцієнт поглинання сонячної радіації матеріалом зовнішньоїповерхні огороджувальної конструкції прийнято χ=0.52, як для алюміній матовий, згідно з табл. Б.1 ДСТУ-Н Б.2.6-190:2013. Розрахункова амплітуда коливань температури зовнішнього повітря в липні визначаємо згідно з ф. (2) ДСТУ-Н Б.2.6-190:2013:

$$Y_1 = \frac{R_1 S_1^2 + h_{si}}{1 + R_1 h_{si}} = \frac{0.03448 \cdot 16.77^2 + 8.7}{1 + 0.03448 \cdot 8.7} = 14.152 \frac{Вт}{м^2 \cdot °C}$$

$$Y_2 = \frac{R_2 S_2^2 + Y_1}{1 + R_2 Y_1} = \frac{0.15 \cdot 0^2 + 14.152}{1 + 0.15 \cdot 14.152} = 4.532 \frac{Вт}{м^2 \cdot °C}$$

$$Y_3 = s_3 = 16.77 = 16.77 \frac{Вт}{м^2 \cdot °C}$$

$$Y_4 = \frac{R_4 S_4^2 + Y_3}{1 + R_4 Y_3} = \frac{3.333 \cdot 0{,}28^2 + 16.77}{1 + 3.333 \cdot 16.77} = 0.2993 \frac{Вт}{м^2 \cdot °C}$$

$$Y_5 = \frac{R_5 S_5^2 + Y_4}{1 + R_5 Y_4} = \frac{0.02874 \cdot 16{,}77^2 + 0.2993}{1 + 0.02874 \cdot 0.2993} = 8.309 \frac{Вт}{м^2 \cdot °C}$$

Визначення величини затухання розрахункової амплітуди коливань температури зовнішнього повітря в огороджувальній конструкції. Величина затухання розрахункової амплітуди коливань температури зовнішнього повітря в огороджувальній конструкції визначається згідно з ф. (3) ДСТУ-Н Б.2.6-190:2013:

$$\nu = 0.9 \cdot e^{\frac{D}{2 0.5}} = \frac{(S_1 + h_{si}) \cdot (S_2 + Y_1) \cdot (S_3 + Y_2) \cdot (\alpha_{зл} + Y_5)}{(S_1 + Y_1)(S_2 + Y_2)(S_3 + Y_3)(S_4 + Y_4)\alpha_{зл}} = 688.22$$

Визначення амплітуди коливань температури внутрішньої поверхні огороджувальних конструкцій Амплітуда коливань температури внутрішньої поверхні огороджувальних конструкцій визначається згідно з ф. (1) ДСТУ-Н Б.2.6-190:2013:

$$A_{\theta,si} = \frac{A_{t\,зроз}}{\nu} = \frac{19.675}{688.219651} = 0.02859\ °C$$

Оскільки:

$A_{\theta,si} = 0.03°C < 1.5°C$

то умова (7) ДБН В.2.6-31:2021 – виконується

4 Технологія та організація будівельних робіт

4.1 Вибір монтажного обладнання

Найважчою залізобетонною конструкцією, що підлягає монтажу, є багатопустотна плита перекриття масою 2950 кг (2,95 т)

Підйом конструкції здійснюється на висоту 5 м від рівня стоянки транспортного засобу (з урахуванням висоти елемента в монтажному положенні та необхідного запасу для заведення на місце установки – приблизно 1-1,5 м).

Монтаж передбачає використання мобільного монтажного обладнання, яке забезпечує не тільки підйом, але й транспортування конструкцій до об'єкта, а також точне позиціонування на майданчику.

З урахуванням характеру робіт (монтаж збірних залізобетонних елементів на невеликій висоті, необхідність маневреності на будівельному майданчику та економічної доцільності) прийнято використовувати кран-маніпулятор (КМУ) серії Performance виробництва компанії Palfinger.



Рис. 6.1 PK 15500 Performance

Кран-маніпулятор PK 15500 серії Performance обрано з таких міркувань:

Вантажопідйомність і вантажний момент: Максимальний вантажний момент становить 14,6 т·м, максимальна вантажопідйомність – до 6200 кг на мінімальному вильоті (близько 2,3 м).

Для маси 2950 кг при типовому робочому вильоті 4-6 м (залежно від конфігурації майданчика та висоти підйому 5 м) вантажопідйомність становить 2800-3500 кг, що забезпечує необхідний запас (коефіцієнт запасу ~1,2-1,3). Це підтверджується діаграмами вантажопідйомності моделі (аналогічні серії Performance)

Висота підйому та виліт стріли: Гідравлічний виліт стріли до 14,5 м (з механічними подовженнями – до 18,7 м), що значно перевищує необхідні 5 м висоти підйому. Кут повороту – 420°, що забезпечує маневреність.

Мобільність і універсальність: КМУ монтується на вантажному шасі (наприклад, КамАЗ, MAN або аналог), що дозволяє транспортувати конструкції безпосередньо до місця монтажу без додаткової техніки. Це особливо важливо для об'єктів з обмеженим простором.

Безпека та сучасні системи: Модель відповідає стандарту EN 12999 (включаючи майбутні вимоги), оснащена системою PALTRONIC (контроль навантаження), HPSC (контроль стійкості), можливістю дистанційного керування. Внутрішнє розміщення гідравлічних магістралей підвищує надійність.

Економічна доцільність: Використання КМУ замість окремого автокрана та вантажівки зменшує витрати на техніку, паливо та персонал. Серія Performance оптимальна для монтажу збірних ЗБВ елементів вагою до 3-4 т на невеликих висотах.

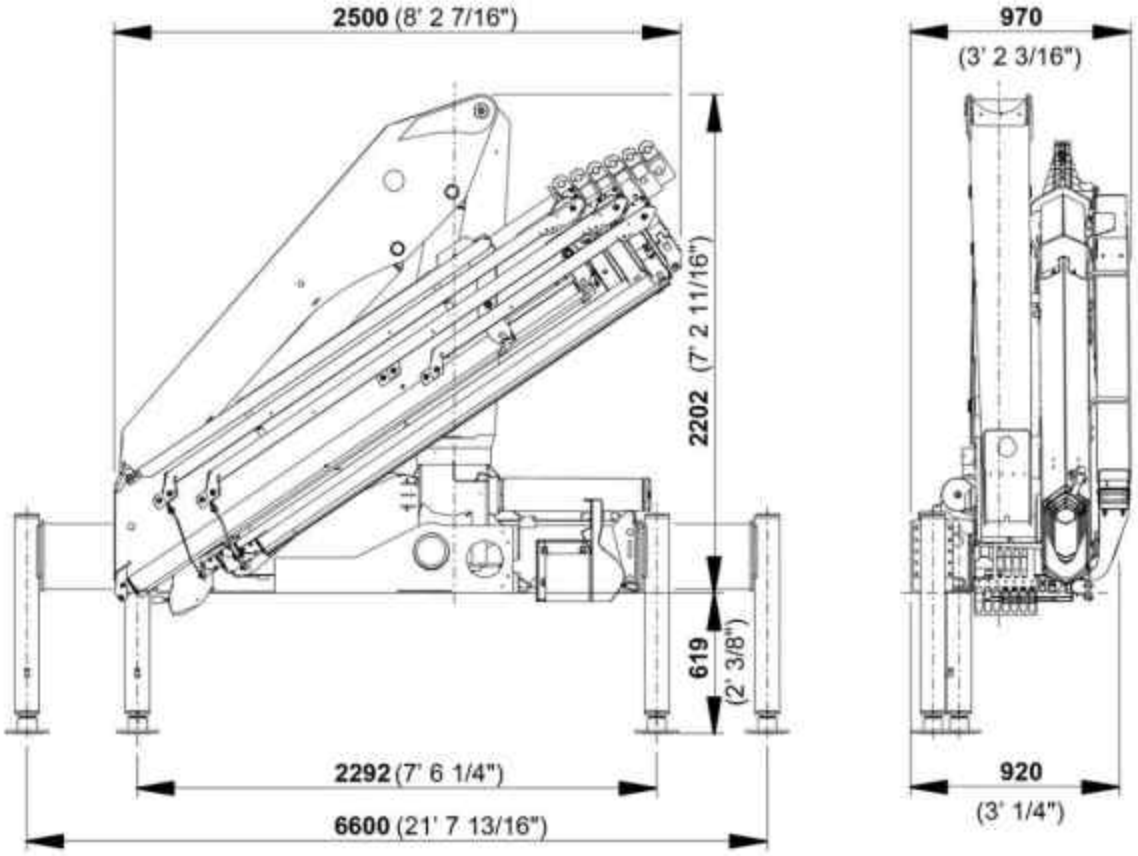


Рис. 6.2 Кран-маніпулятор PK 15500

Технічні характеристики обраного крана-маніпулятора PK 15500 Performance

Параметр	Значення
Максимальний вантажний момент	14,4 т·м (143,2 кН·м)
Максимальна вантажопідйомність	6200 кг
Гідравлічний виліт стріли	до 14,3 м
Максимальний виліт (з подовженнями)	до 18,4 м
Кут повороту	420°
Робочий тиск	до 300 бар
Рекомендована продуктивність насоса	40-60 л/хв
Стандартний розмах аутригерів	4.6 м
Маса крана (без шасі)	1619 кг

Кран-маніпулятор Palfinger PK 15500 серії Performance повністю відповідає вимогам монтажу багатопустотних плит перекриття масою 2950 кг на висоту 5 м. Він забезпечує необхідну вантажопідйомність із запасом, високу маневреність та безпеку робіт. Використання цієї моделі є технічно обґрунтованим та економічно ефективним рішенням для даного об'єкта.

4.2 Критерії якості друку

Існує кілька важливих критеріїв якості 3D-друку будівель, що базуються на різних технічних стандартах. До основних вимог відносяться:

- вертикальність стін, максимальне відхилення від вертикалі не повинне перевищувати 1/200 висоти стіни (наприклад; для стіни висотою 3 м допустиме відхилення становить приблизно 15 мм);

- горизонтальність поверхонь, максимальне відхилення від горизонталі становить 1/300 довжини (для ділянки 6 м припустиме відхилення становить приблизно 20 мм);

- товщина стінок, допустиме відхилення становить ±5…10 мм від проектної товщини (важливо забезпечити рівномірність по всій висоті);

- прямолінійність (по поверхні шару), на довільній ділянці 2 метри максимальне відхилення становить не більше 10-12 мм, загальна кривизна по довжині стіни не повинна перевищувати 20 мм;

- кутові з'єднання, відхилення кутів від проектного положення не повинно перевищувати 5-7 мм;

- мінімальна міцність бетону 20-40 МПа;

- повинна дотримуватись міцність зв'язку між шарами щонайменше 1,5–2 МПа;

- відсутність розшарування;

- однорідність бетонної суміші (суміш має бути без пор і порожнеч, щільність матеріалу не менше 97%, та рівномірний розподіл армуючих елементів).

5 Охорона праці та захист навколишнього середовища

Охорона праці – це система законодавчих соціально-економічних, організаційних, технічних, санітарно-гігієнічних заходів по створенню умов, які б забезпечували безпеку, збереження здоров'я та працездатності людини в процесі праці.

Охорона праці необхідна для покращення продуктивності праці робітників і для попередження виникнення небезпечних факторів, вплив яких в певних умовах призводить до травм або інших несподіваних погіршень здоров'я.

5.1 Загальна характеристика умов праці

Охорона праці та захист навколишнього середовища в проекті будівництва житлового будинку з використанням 3D-друку в м. Харків

Умови праці під час будівництва житлового будинку з використанням технології 3D-друку в м. Харків визначаються специфікою будівельної галузі, інноваційними методами зведення конструкцій та локальними кліматичними факторами. Згідно з ДБН А.3.2-2-2009 "Охорона праці і промислова безпека у будівництві" та Законом України "Про охорону праці", умови праці в будівництві належать до категорії з підвищеним ризиком через вплив шкідливих і небезпечних виробничих факторів. Загальна характеристика умов праці базується на аналізі технологічного процесу, організації робочих місць та оцінці гігієнічних нормативів.

Будівництво з 3D-друком зменшує деякі традиційні ризики (наприклад, ручну працю на висоті), але вводить нові, пов'язані з обладнанням, матеріалами та процесами. Основні небезпеки: викиди ультрадрібних частинок, хімічні випари від бетону чи полімерів, механічні травми від принтера, електричні ризики.

Будівництво житлового будинку з використанням 3D-друку передбачає автоматизований процес пошарового нанесення будівельних матеріалів (переважно цементно-бетонних сумішей) за допомогою великогабаритного 3D-принтера (наприклад, портального або роботизованого типу). Основні етапи робіт включають:

Підготовку майданчика: земляні роботи, розмітку фундаментів та позиціонування принтера (ручна та механізована праця).

Налаштування обладнання: монтаж 3D-принтера, підготовку сумішей, програмування моделі будинку.

Процес друку: автоматизоване нанесення шарів матеріалу, що триває від кількох годин до днів залежно від об'єму (за даними досліджень, 3D-друк дозволяє зводити стіни на 70% швидше та на 30% дешевше порівняно з традиційними методами).

Оздоблювальні роботи: монтаж інженерних систем, покрівлі, фасадів, внутрішнє оздоблення (частково ручна праця).

Характеристика робочих місць

Робочі місця мобільні та тимчасові, розташовані на відкритому повітрі або в напівзакритих зонах (під час друку). Кліматичні умови Харкова: помірно-континентальний клімат з холодними зимами (середня температура січня – -5...-7°C) та теплим літом (+20...+25°C), що впливає на мікроклімат (перегрівання або переохолодження). Роботи на висоті (до +5,3 м за фасадами) вимагають використання риштувань або підйомників. Освітлення – природне вдень, штучне (прожектори) вночі. Вентиляція – природна, але під час друку можливе накопичення пилу.

Класифікація робочих місць за гігієнічними нормативами (згідно з ДСТУ 3.3.6.042-99 "Гігієнічна класифікація праці за показниками шкідливості та небезпечності факторів виробничого середовища"):

Для операторів 3D-принтера: клас 3 (шкідливі умови) через вплив шуму та вібрації.

Для монтажників: клас 3-4 (шкідливі або небезпечні) через фізичні навантаження та ризик падінь.

Загальна оцінка: умови праці в будівництві з 3D-друком кращі за традиційне будівництво завдяки автоматизації, але все одно належать до шкідливих через зовнішні фактори.

Шкідливі та небезпечні виробничі фактори

Таб. 5.1 Основні ризики та заходи

Ризик	Опис	Заходи з охорони праці
Викиди частинок та випарів	3D-принтер виділяє ультрадрібні частинки (<100 нм) та леткі органічні сполуки від матеріалів (бетон, пластик). Може спричинити подразнення дихальних шляхів.	Вентиляція приміщення, використання закритих корпусів для принтера. Фільтри. Моніторинг повітря, респіратори FFP2/3, захисні окуляри.
Механічні травми	Рухомі частини принтера (головка, крани), ризик защемлення чи падіння конструкцій.	Захисні бар'єри навколо зони друку. Автоматичні стоп-системи. Навчання операторів (мінімум 8 годин). Заборона доступу стороннім.
Електричні та пожежні ризики	Висока потужність обладнання, горючі матеріали.	Заземлення, вогнегасники CO2. Регулярні перевірки (щомісяця). Заборона роботи в вологих умовах.
Ергономічні	Тривалий моніторинг процесу, шум (>80 дБ).	Перерви кожні 2 години, шумозахист (навушники).
Загальні будівельні ризики	Роботи в підвалі (-2,6 м), на даху (+5,3 м), з матеріалами (бетон, арматура).	Сходи з поручнями, каски, пояси безпеки. Медичний контроль для робіт на висоті.

За даними досліджень (наприклад, монографії ПДАБА та публікацій ResearchGate), 3D-друк зменшує ризики порівняно з традиційним будівництвом за рахунок зниження ручної праці, але вводить нові фактори, як токсичні викиди та автоматизовані механічні загрози. Травматизм у будівництві України становить близько 10-15% від загального, з основними причинами – порушення техніки безпеки.

Для забезпечення безпечних умов рекомендується:

Використання засобів індивідуального захисту (ЗІЗ): респіратори, рукавиці, захисні окуляри, каски.

Організація медичних оглядів та навчання працівників.

Моніторинг факторів (вимірювання шуму, пилу) з періодичністю 1 раз на квартал.

Автоматизація для мінімізації контакту з шкідливими речовинами.

Дотримання мінімальних вимог з охорони праці на тимчасових майданчиках (Наказ МОЗ № 1111-17).

Умови праці при будівництві з 3D-друком у Харкові належать до шкідливих (клас 3), але інноваційна технологія дозволяє оптимізувати процеси та знизити ризики порівняно з класичним будівництвом. Подальша оцінка вимагає атестації робочих місць за гігієнічними нормативами.

5.2 Охорона праці та пожежна профілактика

Розділ "Охорона праці та пожежна профілактика" є невід'ємною частиною проекту будівництва житлового будинку з використанням технології 3D-друку в м. Харків. Відповідно до Закону України "Про охорону праці" (стаття 4) та Державних будівельних норм (ДБН А.3.2-2-2009 "Охорона праці і промислової безпеки у будівництві"), охорона праці спрямована на створення безпечних умов для працівників, запобігання нещасним випадкам та професійним захворюванням.

Пожежна профілактика регулюється ДБН В.1.2-7:2021 "Основні вимоги до будівель і споруд. Пожежна безпека" (який є оновленою версією ДБН В.1.1-7:2016), з метою обмеження поширення вогню, забезпечення евакуації та захисту майна.

Проект передбачає будівництво одноповерхового житлового будинку з підвальним приміщенням та мансардою (план кровлі на відм. +5,300), загальною площею приміщень близько 155,7 м² (згідно з таблицею площ у проектній документації). Технологія 3D-друку бетоном дозволяє звести стіни швидко, але вводить специфічні ризики, такі як робота з рухомим обладнанням та бетонними сумішами. У розділі розглянуто небезпеки під час будівництва та заходи пожежної безпеки для готового об'єкта.

Охорона праці під час будівництва

Будівництво з використанням 3D-принтера вимагає врахування унікальних ризиків, пов'язаних з автоматизованою технікою. Аналіз умов праці базується на ДБН А.3.1-5:2016 "Організація будівельного виробництва" та рекомендаціях з адитивного виробництва. Роботи проводяться на земельній ділянці з чіткими межами (згідно з генпланом), з урахуванням клімату Харківської області (температури до -31°C взимку, що впливає на стабільність матеріалів).

Пожежна профілактика

Житловий будинок класифікується як об'єкт з низьким ступенем пожежної небезпеки (за ДБН В.1.2-7:2021, для малоповерхових будівель). Конструкції з 3D-друкованого бетону мають високу вогнестійкість (бетон не горить, межа вогнестійкості R >60 хв). Планування (коридори, виходи на рівні ±0,000 та -2,600) забезпечує швидку евакуацію.

Класифікація та вимоги до конструкцій

Вогнестійкість: Несучі стіни та перекриття – клас R 30-60 (втрата несучої здатності не менше 30 хв); огорожі – E 30 (цілісність); матеріали фасадів та покрівлі – з низькою займистістю (група Г1-Г2).

Протипожежні перешкоди: Поділ на відсіки для обмеження поширення вогню; протипожежні двері в санвузлах та кухні (межа вогнестійкості EI 15).

Матеріали: Бетонні стіни з добавками для морозостійкості; утеплення пінополістиролом з вогнезахисним покриттям; оздоблення з матеріалів, що не сприяють утворенню диму (клас Д1).

Заходи протипожежного захисту

Запобігання виникненню пожежі: Електропроводка з вогнезахистом; блискавкозахист; заборона розміщення горючих матеріалів ближче 50 м від будинку під час будівництва.

Обмеження поширення вогню: Системи пожежогасіння (вогнегасники в кухні та коридорі); протидимова вентиляція; спринклерні системи в підвалі (якщо передбачено проектом).

Евакуація: Шляхи евакуації (основний вихід через тамбур 7,4 м^2, альтернативний – через вікна); час евакуації <5 хв для малого будинку; знаки безпеки, освітлення шляхів; доступ для пожежних машин (проїзд шириною 6 м з розширенням 12 м).

Системи виявлення: Автоматична пожежна сигналізація з датчиками диму в житлових приміщеннях (гостинна 34,6 м^2, кухня 14,2 м^2); оповіщення звукове та світлове.

Доступ для рятувальників: Зовнішні пожежні драбини (якщо висота >3 м); гідранти на відстані не більше 150 м; план порятунку з урахуванням підвалу (-2,600).

Пожежне навантаження низьке (меблі, побутова техніка). Рекомендується щорічний огляд систем.

Застосування заходів охорони праці та пожежної профілактики забезпечує безпеку на всіх етапах проекту. Економічний ефект: зниження витрат на нещасні випадки на 20-30%. Соціальний аспект: захист здоров'я працівників та мешканців. Проект відповідає українському законодавству та сприяє впровадженню інноваційних технологій у будівництві.

5.3 Захист навколишнього середовища

У сучасних умовах будівництва, коли екологічні проблеми набувають глобального масштабу, захист навколишнього середовища є невід'ємною частиною будь-якого проекту. Особливо це стосується інноваційних технологій, таких як 3D-друк, який застосовується в цьому дипломному проекті для зведення житлового будинку в м. Харків. Використання 3D-друку дозволяє мінімізувати негативний вплив на довкілля порівняно з традиційними методами будівництва, сприяючи зменшенню відходів, емісій CO_2 та витрат ресурсів. Метою цього розділу є аналіз екологічних аспектів проекту, оцінка потенційних впливів на навколишнє середовище та пропозиція заходів для їх мінімізації.

Проект передбачає будівництво одноповерхового житлового будинку з підвальним приміщенням та мансардою, загальною площею приміщень близько 155,7 $м^2$ (згідно з планом першого поверху та таблицею площ). Будинок розташований на земельній ділянці в м. Харків, де враховуються місцеві екологічні фактори, такі як урбанізоване середовище, потенційне забруднення повітря та ґрунту через промислову діяльність регіону. Застосування 3D-друку дозволяє інтегрувати принципи сталого розвитку, зменшуючи екологічне навантаження на етапах будівництва та експлуатації.

Екологічні переваги використання 3D-друку в будівництві

Технологія 3D-друку в будівництві має низку екологічних переваг, які безпосередньо стосуються цього проекту:

Зменшення відходів будівництва. Традиційне будівництво генерує до 30% відходів від матеріалів, тоді як 3D-друк використовує точне дозування суміші (наприклад, бетону з добавками), що знижує відходи до мінімуму – часто менше 5%. У цьому проекті, де стіни та конструкції друкуються шар за шаром, це дозволяє заощадити ресурси та зменшити забруднення сміттям на будівельному майданчику.

Зниження емісій CO_2. Дослідження показують, що 3D-друк може зменшити викиди вуглекислого газу на 50-70% порівняно з класичними методами завдяки

скороченню транспортування матеріалів, меншій кількості техніки на майданчику та швидшому будівництву (від кількох днів до тижнів). Для будинку в Харкові це означає менший внесок у забруднення повітря.

Енергоефективність матеріалів. У проекті передбачено використання екологічних сумішей для 3D-друку, таких як бетон з перероблеными добавками або низьковуглецевими компонентами, що знижує втілений вуглець (embodied carbon) на 20-40% порівняно з традиційними будинками. Аналіз кейсів показує, що 3D-друковані будинки мають нижчий екологічний вплив протягом життєвого циклу.

Мінімальний вплив на ділянку. 3D-друк вимагає меншої площі для обладнання (лише принтер та мішалка), що зменшує порушення ґрунту та рослинності. У генплані проекту (див. аркуш Л10) межі земельної ділянки чітко визначені, а будівництво не передбачає значних земляних робіт, що зберігає локальну екосистему.

Сталість експлуатації. Дизайн будинку включає енергоефективні елементи, такі як ізоляція стін (завдяки монолітній структурі 3D-друку), що знижує споживання енергії на опалення на 15-25%. Це сприяє зменшенню емісій під час використання будинку.

Однак, слід враховувати потенційні недоліки: обмеження в матеріалах (наприклад, залежність від цементу, який має високий вуглецевий слід) та необхідність контролю за енергією принтера. У цьому проекті ці ризики мінімізовані шляхом вибору сертифікованих матеріалів.

Оцінка впливу на навколишнє середовище

Для оцінки екологічного впливу проекту використано якісний аналіз на основі норм ДБН А.2.2-1-2003 "Склад і зміст матеріалів оцінки впливів на навколишнє середовище (ОВНС)" та міжнародних стандартів (наприклад, LCA – Life Cycle Assessment).

Вплив на повітря: Будівництво триватиме коротко (орієнтовно 1-2 тижні для основних конструкцій), що зменшить пил та емісії від техніки. Очікуване зменшення CO_2 – до 50% від традиційного аналога.

Вплив на ґрунт та воду: Мінімальні земляні роботи (підвал на відмітці -2,600 м) та відсутність стоків шкідливих речовин. Ділянка в Харкові не розташована в зонах особливого захисту, але передбачено дренаж для запобігання ерозії.

Вплив на біорізноманіття: Будинок на урбанізоваій території, без значного втручання в природні ареали.

Шум та вібрація: 3D-принтер працює тихо, порівняно з традиційною технікою, що зменшує дискомфорт для сусідів.

Загальний екологічний вплив оцінюється як низький, з позитивним балансом завдяки інноваціям.

Заходи щодо захисту довкілля

Для забезпечення екологічної безпеки в проекті передбачено такі заходи:

Використання екологічно чистих матеріалів для 3D-друку (наприклад, суміші з низьким вмістом цементу або з добавками з переробленого пластику).

Організація збору та переробки мінімальних відходів на майданчику.

Інтеграція "зелених" елементів: сонячні панелі на даху (план кровлі на відмітці +5,300 м), система збору дощової води для поливу.

Моніторинг емісій під час будівництва з використанням датчиків.

Відновлення ландшафту після завершення робіт (озеленення ділянки).

Ці заходи відповідають вимогам Закону України "Про охорону навколишнього природного середовища" та сприяють досягненню цілей сталого розвитку ООН.

6 Джерела

1. ДБН В.1.1-12:2014. Будівництво в сейсмічних районах України. – Київ: Мінрегіон України, 2014.
2. ДБН В.2.2-15:2019. Житлові будинки. Основні положення. – Київ: Мінрегіон України, 2019.
3. ДБН В.2.6-31:2016. Теплова ізоляція будівель. – Київ: Мінрегіон України, 2016.
4. ДБН А.3.1-5:2016. Організація будівельного виробництва. – Київ: Мінрегіон України, 2016.
5. ДБН В.1.2-2:2006*. Навантаження і впливи. Норми проектування. – Чинний від 2007-01-01. – Київ : Мінбуд України, 2006.
6. ДБН А.3.2-2-2009. Охорона праці і промислова безпека в будівництві. Основні положення. – Київ: Мінрегіон України, 2009.
7. ДБН В.2.1-10:2018 Основи і фундаменти будівель та споруд. Основні положення – Чинний від 2019-01-01. – Київ: Мінрегіонбуд України, 2018.
8. ДСТУ-Н Б В.1.2-16:2013. Визначення класу наслідків (відповідальності) та категорії складності об'єктів будівництва. – Київ: Мінрегіон України, 2013.
9. ДСТУ 9243.7:2023 Система проєктної документації для будівництва. Правила виконання архітектурно-будівельних робочих креслень – Чинний від 2024–04–01. – Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2023.
10. ДБН В.1.2-14:2018 Система забезпечення надійності та безпеки будівельних об’єктів. Загальні принципи забезпечення надійності та конструктивної безпеки будівель і споруд. – Чинний від 2022-09-01. – Київ : Мінрегіонбуд України, 2019
11. Тривимірний друк будинків [Електронний ресурс] // Вікіпедія.
12. В Україні побудували перший житловий будинок за допомогою 3D-принтера // Forbes.ua. – 2024.
13. 3D-друк будинків: як зміниться архітектура // PRAGMATIKA.MEDIA. – 2023.
14. Будинки, надруковані на 3D-принтері. Як це працює? // Forbes.ua. – 2023. –
15. Офіційний сайт компанії 3D UTU [Електронний ресурс].

16. НПАОП 45.2-7.02-12. Охорона праці і промислова безпека в будівництві. – Київ: Мінрегіон України, 2012.
17. Закон України «Про охорону праці» від 14.10.1992 № 2694-XII (зі змінами). Закон України «Про охорону навколишнього
18. Організація будівництва : підручник / [С.А. Ушацький, Ю.П. Шейко, Г.М. Тригер та ін.]; за ред. С. А. Ушацького. – Київ : Кондор, 2007.
19. ДСТУ-Н Б В.1.1-27:2010 Захист від небезпечних геологічних процесів, шкідливих експлуатаційних впливів, від пожежі. Будівельна кліматологія [Дата введения 2011-11-01]. / Мінрегіонбуд України. – К.: Укрархбудінформ, 2011.
20. ДСТУ Б В.2.6-109:2010 Конструкції будинків і споруд. Плити залізобетонні стрічкових фундаментів. Технічні умови (ГОСТ 13580-85, MOD). Скасований з 01.01.2026 згідно з Наказом від 29.08.2025 № 195

АКТ

перевірки кваліфікаційної роботи магістра на наявність ознак академічного плагіату

Відповідно до даних сервісу системи Strikeplagiarism.com® кваліфікаційна робота «Проект будівництва житлового будинку з використанням 3D-друку у м. Харків.»

автора: Рябченко Софія
(ПІБ автора повністю)

містить 17,57% запозичень. Ознаки академічного плагіату – відсутні.

Перевірку виконав
доцент кафедри
будівельних матеріалів,
конструкцій та споруд _____ Олег ГЕРАСИМЕНКО
(підпис)

31.12.2025 р.