

СХІДНОУКРАЇНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІМЕНІ ВОЛОДИМИРА ДАЛЯ

Факультет транспорту і будівництва

(повне найменування інституту, факультету)

Кафедра будівництва, урбаністики та просторового планування

(повна назва кафедри)

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА
до кваліфікаційної випускної роботи

освітній ступінь магістр

(бакалавр, магістр)

спеціальність 192 Будівництво та цивільна інженерія

(шифр і назва спеціальності)

на тему Підвищення енергоефективності цивільних будівель за рахунок
раціоналізації інженерних рішень

Виконав: студент групи МБГ-21дм

(підпис)

Шевердін О.М

(ініціали і прізвище)

Керівник

(підпис)

Білошицька Н.І

(ініціали і прізвище)

Завідувач кафедри

(підпис)

Татарченко Г.О

(ініціали і прізвище)

Рецензент _____

СХІДНОУКРАЇНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІМЕНІ ВОЛОДИМИРА ДАЛЯ

Факультет транспорту і будівництва
(повне найменування інституту, факультету)

Кафедра будівництва, урбаністики та просторового планування
(повна назва кафедри)

Освітній ступінь магістр
(бакалавр, магістр)

спеціальність 192 Будівництво та цивільна інженерія
(шифр і назва спеціальності)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри
проф. Татарченко Г.О

“__” _____ 20__ року

З А В Д А Н Н Я

НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ ВИПУСКНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ

Шевєрдін Олександр Михайлович

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Підвищення енергоефективності цивільних будівель за рахунок раціоналізації інженерних рішень

Керівник роботи Білошицька Наталія Іванівна,
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджений наказом університету від “__” _____ 20__ року №__

2. Строк подання студентом роботи до 15.11

3. Вихідні дані до роботи підвищення енергоефективності цивільних будівель за рахунок раціоналізації інженерних рішень

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) визначити поняття «Пасивний будинок»; позначити технології, що застосовуються при будівництві енергоефективних будівель; виявити специфіку пасивного будинку для міста Северодонецька; розробити проект (об'ємно-планувальні, конструктивні, інженерні рішення пасивного будинку для міста Северодонецьк; визначити можливі проблемні вузли і провести їх розрахунок, на відповідність нормативним вимогам.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслеників) презентація результатів роботи, таблиці споживання енергетичних ресурсів, зображення обладнання для технології «Пасивний будинок», зображення графіків прогнозування енергоспоживання

СХІДНОУКРАЇНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІМЕНІ ВОЛОДИМИРА ДАЛЯ

Факультет транспорту і будівництва

Кафедра будівництва, урбаністики та просторового планування

РЕФЕРАТ

до кваліфікаційної випускної роботи

освітній ступінь магістр

спеціальність 192 Будівництво та цивільна інженерія

на тему Підвищення енергоефективності цивільних будівель за рахунок
раціоналізації інженерних рішень

Виконав: студент групи МБГ-21дм

Шевердін О.М

Керівник

К.т.н: Білошицька Н.І

Структура та обсяг роботи. Кваліфікаційна випускна робота на тему «Підвищення енергоефективності цивільних будівель за рахунок раціоналізації інженерних рішень» складається із вступу, трьох розділів та висновка. Загальний обсяг роботи складає 74 сторінок основного тексту, в тому числі 23 рисунка, 27 таблиць та 43 бібліографічних найменувань за переліком посилань.

В кваліфікаційній роботі розглядається питання підвищення рівня енергоефективності житлових будинків. Дослідження базується на отриманому досвіді у сфері енергозбереження будинку, аналізі та вивченні існуючих систем. В ході вивчення літературних джерел було однозначно виявлено, що в усіх розвинених країнах а також особливо у ЕС питання енергоефективності в даний час є досить актуальним, якщо не першочерговим, особливо для житлових

будинків. Адже паливно-енергетичні ресурси, які є вичерпними, використовуються значною часткою на забезпечення житлових будинків, як приватних так і багатоповерхових. Україна являє собою яскравий приклад тому, де приблизно 40% всіх паливно енергетичних-ресурсів використовується для забезпечення житлових будинків. Саме тому досить важливим, актуальним і перспективним являється підвищення рівня енергоефективності житлових багатоквартирних будинків

Дане дослідження було присвячене розробці проекту будинку для умов міста Северодонецьк, що відповідає вимогам технології «Пасивний будинок». У першій главі визначено поняття Пасивного будинку, основні вимоги до нього та розглянуто технології, що застосовуються при будівництві енергоефективних будинків. У другій главі, позначені природно-кліматичний умови заданої території, розроблені об'ємно-планувальні, конструктивні та інженерні рішення, відповідні технології «Пасивний будинок» і заданої території. У третій главі, вироблено чисельне моделювання і отримані теплові характеристики проблемних вузлів будівлі за допомогою програмного комплексу COMSOL Multiphysics. На підставі цих обчислень, був розрахований енергетичний паспорт будівлі, обчислена вартість зведення будинку та вартість експлуатації протягом 50 років.

Виходячи з цих даних видно, що в перспективі на 50 років, вартість будинку побудованого по традиційній технології і технології «Пасивний будинок» має не велику різницю, при тому, що ціни на тарифи були застосовані на поточний момент часу.

ПАСИВНИЙ БУДИНОК, РЕКУПЕРАТИВНИЙ ТЕПЛООБМІННИК, ГЕОТЕРМАЛЬНИЙ ТЕПЛОВИЙ НАСОС, РУХОМІ ДЕФЛЕКТОРИ, ТЕПЛОВТРАТИ, РОЗА ВІТРІВ, УТЕПЛЕНА ШВЕДСЬКА ПЛИТА, ОПІР ТЕПЛОПЕРЕДАЧІ, КЛАС ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ.

PASSIVE HOUSE, REGENERATIVE HEAT EXCHANGER, GEOTHERMAL HEAT PUMP, MOVABLE DEFLECTORS, HEAT LOSS, WIND ROSE, HEATED SWEDISH PLATE, HEAT RESISTANCE.

ЗМІСТ

ВСТУП	9
1. Аналіз енергоефективних технологій цивільних будівель	11
1.1 Визначення та специфіка поняття «Пасивний будинок».....	11
1.2 Технології пасивного будинку. Ефективність системи.....	16
1.2.1 Теплоізоляція.....	16
1.2.2 Вентиляція.....	19
1.2.3 Опалення.....	21
1.2.4 Гаряче водопостачання.....	23
1.2.5 Електрика.....	23
1.2.6 Скління.....	24
2. Розробка проєктних рішень енергоефективного будинку	27
2.1 Вихідні дані для розробки енергоефективного будинку.....	27
2.1.1 Характеристика природно-кліматичних умов будівництва.....	27
2.1.2 Потрібні параметри проєктованої будівлі.....	28
2.1.3 Межа вогнестійкості будівельних конструкцій.....	29
2.1.4 Санітарно-гігієнічні вимоги.....	29
2.1.5 Протипожежні вимоги до будівлі та окремих конструкцій.....	29
2.1.6 Функціональний процес будівлі.....	30
2.2 Об'ємно-планувальні рішення.....	30
2.3 Конструктивні рішення.....	30
2.4 Інженерні рішення.....	31
3. Чисельне моделювання та техніко-економічне обґрунтування проєкту енергоефективного будинку	32
3.1 Розрахунок вузлових сполук.....	32
3.2 Розрахунок теплоенергетичних параметрів об'єкта.....	38
3.2.1 Загальні характеристики будівлі.....	38
3.2.2 Кліматичні показники.....	39
3.2.3 Опис огороджувальних конструкцій будівлі.....	41
3.2.4 Розрахунки теплотехнічних показників.....	41

3.2.4.1 Стіна.....	42
3.2.4.2 Покриття поєднане.....	49
3.2.4.3 Підлога по ґрунту.....	50
3.2.4.4 Світлопрозорі конструкції.....	51
3.2.4.5 Вхідні двері.....	51
3.2.5 Розрахунок питомої витрати теплової енергії на опалення будівлі.....	51
3.2.5.1. Питома теплозахисна характеристика будівлі.....	51
3.2.5.2.Питома вентиляційна характеристика будівлі.....	54
3.2.5.3.Питома характеристика побутових тепловиділень будівлі.....	57
3.2.5.4.Питома характеристика теплонадходжень до будівлі від сонячної радіації.....	58
3.2.5.5.Розрахункова питома характеристика витрати теплової енергії на опалення та вентиляцію будівлі за опалювальний період.....	60
3.2.5.6.Витрата теплової енергії на опалення та вентиляцію будівлі за опалювальний період.....	63
3.2.5.7.Загальні тепловтрати будівлі за опалювальний період.....	63
3.2.5.8.Питома витрата теплової енергії на опалення та вентиляцію будівлі за опалювальний період.....	63
3.3 Енергетичний паспорт.....	64
3.4 Техніко-економічне порівняння проектів, кошторисний розрахунок.....	67
3.4.1 Опис проектів.....	68
3.4.2 Кошторисний розрахунок проектів.....	70
3.4.3 Техніко-економічні показники проектів.....	71
3.4.4 Розрахунок витрат на експлуатацію будівель.....	72
Висновок.....	74
Список використаних джерел.....	76
Додаток А Проект малоповерхового «пасивного будинку» в місті Сєвєродонецьк.....	80

ВСТУП

Відомо, що половина споживання енергії припадає на житлові будинки і споруди, велика частина якої витрачається на опалення. З цього регулярно зростання тарифів на енергоресурси змушує шукати нові шляхи зниження витрат на опалення, електропостачання, гаряче/холодне водопостачання та інші аспекти.

На опалення приватного будинку, площею 200 кв.м, витрачається 42000 кВт·год/рік за опалювальний сезон, вартість опалення становить 54 тис.грн. Тому для зниження витрат на експлуатацію будівлі необхідні заходи, що знижують тепловтрати. Тобто будівництво максимально енергозберігаючих будинків і у європейському досвіді є такі технології: наприклад, «пасивний будинок» – це будинок де на опалення йде максимум 3000 кВт·год/рік (15 кВт·год/кв.м·рік).

Зарубіжний досвід показав можливість застосування технології «Пасивний будинок», для побудови практично беззатратних житлових будівель, які б відповідали всім екологічним нормам та, з іншого боку, забезпечували високий рівень життя людини.

Актуальність роботи підвищення рівня енергоефективності шляхом застосування технологій енергоефективного будівництва малоповерхових будинків.

Об'єкт дослідження: технології енергоефективності будівель.

Предмет дослідження: енергоефективний малоповерховий будинок.

Метою дослідження є розробка проекту малоповерхового житлового будинку в місті Северодонецьку, теплові втрати якого не перевищуватимуть 15 кВт·год/кв. м·рік.

Для досягнення поставленої мети були сформульовані наступні завдання:

- визначити поняття «Пасивний будинок»;
- позначити технології, що застосовуються при будівництві енергоефективних будівель;
- виявити специфіку пасивного будинку для міста Северодонецька;
- розробити проект (об'ємно-планувальні, конструктивні, інженерні рішення) пасивного будинку для міста Северодонецьк;

- визначити можливі проблемні вузли і провести їх розрахунок, на відповідність нормативним вимогам.

Наукова новизна роботи полягає в наступному:

1. Провели аналіз найбільш відповідних технологій пасивного будинку для заданої території;
2. Аналіз умов, що впливають на конструктивні особливості пасивних будинків
3. Розрахунок параметрів теплопостачання пасивного будинку для умов міста Сєвєродонецьк;
4. Розроблення креслень малоповерхового «Пасивного будинку».

1. Аналіз енергоефективних технологій цивільних будівель

1.1 Визначення та специфіка поняття «Пасивний будинок»

Пасивний будинок (нім. *passivhaus*, англ. *passive house*) – споруда, основною особливістю якої є відсутність необхідності опалення або мале енергоспоживання - в середньому близько 10% від питомої енергії на одиницю обсягу, що споживається більшістю сучасних будівель. У багатьох розвинених країнах існують власні вимоги до стандарту пасивного будинку.

Показником енергоефективності об'єкта служать втрати теплової енергії з квадратного метра ($\text{кВт}\cdot\text{год}/\text{м}^2$) на рік або в опалювальний період. В середньому становить 100 – 120 $\text{кВт}\cdot\text{год}/\text{м}^2$. Енергозберігаючою вважається будівля, де цей показник нижче 40 $\text{кВт}\cdot\text{год}/\text{м}^2$. Для європейських країн цей показник ще нижчий – близько 10 $\text{кВт}\cdot\text{год}/\text{м}^2$.

Зниження споживання енергії в першу чергу досягається за рахунок зменшення тепловтрат будівлі.

Принципи, на яких базується архітектурна концепція Пасивного будинку:

- компактність;
- якісне та ефективне утеплення;
- відсутність містків холоду в матеріалах і вузлах примикань;
- правильна геометрія будівлі;
- зонування;
- орієнтація по сторонах світла.

Так само до пасивних методів енергозбереження відносяться:

- ландшафтно-містобудівні, об'ємно-планувальні та конструктивні засоби, що забезпечують приплив найбільшої кількості енергії до «вловлюючих» її частин будівлі, а також найкоротші шляхи її розподілу.
- комбіновані системи - наприклад, стіна-вітраж, що забезпечує нагрів внутрішніх огорож приміщення, виконаних у вигляді термічних ємностей, а також засклені атріуми, що є квінтесенцією пасивних засобів використання енергії природного середовища: енергетична структура атріуму, що з'єднує властивості термічних ємностей, буферного простору, «сонячної труби» і

навіть світловода, визначає його значення як ключового інструменту регулювання мікрокліматичних параметрів будівлі, розумне використання якого дозволяє забезпечити приміщення природним освітленням.

Ідеальний пасивний будинок повинен бути незалежною енергосистемою, що не потребує витрат на підтримку комфортної температури.

Активним методом енергозбереження є відновлювана енергетика. Найбільш важливою проблемою при проектуванні будівель, що використовують енергію природного середовища, є пошук шляхів і засобів ефективного управління процесами розподілу енергетичних (повітряних, теплових, світлових та ін.) потоків з метою підтримки оптимальних мікрокліматичних параметрів приміщень в умовах циклічних (добових, сезонних) і періодичних (хмарність, опади) змін параметрів зовнішнього середовища. При цьому ключове значення має вирішення трьох завдань:

- як зібрати енергію (як отримати необхідну кількість енергії, враховуючи її певну розсіяність у зовнішньому середовищі, тобто компенсувати недостатню потужність природних енергетичних потоків);
- як зберігати (акумуляувати) зібрану енергію (як компенсувати характерне неспівпадіння в часі періодів і добово-сезонну нерівномірність надходження та споживання енергії);
- як розподіляти енергію (як забезпечити регульований розподіл енергії в будівлі для забезпечення необхідних уданий момент і в даний час функціонально-технологічних і мікрокліматичних параметрів його елементів).

Часто, під визначенням «пасивний будинок» мають на увазі систему «розумний будинок», одним із завдань якого є забезпечення контролю енергоспоживання будівлі. Також відрізняється система «активного будинку», яка крім того, що мало витрачає енергії, ще й сама виробляє її стільки, що може не тільки забезпечувати себе, а й віддавати в центральну мережу (будинок з позитивним енергобалансом).

Візуально пасивний будинок не відрізняється від звичайного. Мова йде не про зовнішній вигляд будинку, а про сучасний будівельний стандарт. Пасивний будинок є логічним продовженням будинку з низьким споживанням енергії. Його відмінними особливостями є особливий комфорт, оптимальні температурні умови і висока якість повітря в приміщенні - і це при максимально низькому споживанні енергії. При звичайному користуванні в пасивному будинку споживається 1,5 л нафти або 1,5 м³ природного газу (15 кВт· год) на м² житлової площі на рік. Порівняно із середнім споживанням енергії в традиційних будинках це означає економію 90%. Навіть традиційні новобудови споживають 6-10 л нафти на м² житлової площі.

Показники малого енергоспоживання в першу чергу досягаються за рахунок компактного корпусу: при мінімальній зовнішній поверхні втрата енергії мінімізується. При цьому використовуються будівельні елементи, які значно знижують теплові втрати, що будинок практично не потребує опалення. Це теплозахисні вікна з потрійними склами та ізолюваною рамою, а також особливо ефективна теплоізоляція стін, даху та підвалу. Герметична оболонка будівлі запобігає небажаній втраті тепла при провітрюванні і піклується про бездоганне функціонування вентиляційної установки, що забезпечує приємне свіже повітря в приміщенні і використовує повітря додатково для повернення тепла. Щоб покрити потребу в теплі, використовується ефективна побутова техніка. Так створюється пасивний будинок, який використовує пасивні джерела тепла (наприклад, сонце, людини, побутові прилади), а також тепло відпрацьованого повітря і може практично відмовитися від дорогих джерел енергії, таких як нафта і природний газ. І це є вкрай своєчасним з урахуванням постійної зростаючої вартості енергії.

Основоположником напрямку енергоефективних будинків є доктор Вольфганг Файст, засновник Інституту Пасивного будинку в німецькому місті Дармштадт. Авторами архітектурної частини проекту є архітектори проф. Ботт-Ріддер і Вестермауер; розробкою та реалізацією проекту керував сам доктор Вольфганг Файтс, який працював у той час ще в Інституті житла та навколишнього середовища. Будівля була повністю побудована в 1991 р. і з жовтня 1991 р. в ній

проживають чотири сім'ї. Ця будівля потребує такої малої кількості тепла, що можна було б дійсно відмовитися від окремої системи опалення: витрата на опалення становить менше 1 л рідкого палива на рік на 1 м² - житлової площі. З 1996 р. під наглядом «Робочої групи маловитратних пасивних будинків» було побудовано вже 600 квартир в пасивних будинках другого покоління. До вищесказаного належать:

- перше селище, що складається з пасивних будинків, в м. Вісбадені з 22 таунхаусами, які були повністю побудовані в 1997 р. замовником Rasch & Partner. (Під таунхаусами розуміють будинки однакового конструктивного виконання і типу, які побудовані в один ряд (можливо невелике зміщення по горизонталі або вертикалі) і мають спільні бічні стіни з сусідніми будинками);
- будівлі, побудовані з використанням опалубочних елементів замовником Früh та іншими;
- окремі та двоквартирні котеджі, які зводили з 1998 р. як пасивні будинки архітектор Манфред Браузер;
- адміністративна будівля фірми Wagner & Co, яка експлуатується з 1998 р. без традиційного опалення і без кондиціонерів;
- будинки архітектора Рудольфа, особливо селище у Фірнгеймі та селище з пасивних будинків у Штутгарті.

До сучасних експериментів підвищення енергозбереження будівель також можна віднести споруду, побудовану в 1972 році в місті Манчестер в штаті Нью-Гемпшир (США). Воно володіло кубічною формою, що забезпечувало мінімальну поверхню зовнішніх стін, площа скління не перевищувала 10%, що дозволяло зменшити втрати тепла за рахунок об'ємно-планувального рішення. По північному фасаді було відсутнє скління. Покриття плоскої покрівлі було виконано в світлих тонах, що зменшувало її нагрів і, відповідно, знижувало вимоги до вентиляції в теплу пору року. На покрівлі будівлі були встановлені сонячні колектори.

У 1973 - 1979 роках був побудований комплекс «ECONO-HOUSE» в місті Отаніємі, Фінляндія. У будівлі, крім складного об'ємно-планувального рішення, що

враховує особливості місця розташування і клімату, була застосована особлива система вентиляції, при якій повітря нагрівалося за рахунок сонячної радіації, тепло якої акумулювалося спеціальними склопакетами і жалюзі. Також, в загальну схему теплообміну будівлі, що забезпечує енергозбереження, були включені сонячні колектори та геотермальна установка. Форма скатів покрівлі будівлі враховувала широту місця будівництва та кути падіння сонячних променів у різну пору року.

За двадцять років проведено великі дослідження впливу на термостатування будівель численних факторів, як у процесі будівництва, так і процесі експлуатації, відпрацьовані програми розрахунку та технології будівництва. На базі цих сформованих знань випала можливість широкого поширення Пасивних будинків не тільки в Німеччині, а так само у всіх країнах Заходу. У цих будинках застосовуються сучасні будівельні матеріали, конструкції та новітнє інженерне обладнання. На сьогоднішній день - це найдосконаліші будинки в Європі з точки зору комфорту внутрішнього клімату приміщень. У ці будинки автоматично підтримуються: комфортна температура і вологість повітря всередині будинку, чистота повітря EU -7 (особливо чисте повітря). Відчуття комфортного середовища у людини, яка потрапила в Пасивний будинок, починається вже з перших хвилин перебування в нім. Якщо врахувати, що людина за своє життя більше 50% знаходиться в оселі, то таке комфортне середовище проживання всередині Пасивного будинку, благотворно впливає на здоров'я і сприяє істотному продовженню терміну життя людини. Величезна кількість інформації в західній пресі про користь Пасивних будинків для алергіків. Тому саме фактор внутрішнього кліматичного комфорту, а не економія енергії, в останні роки стає причиною зростаючої популярності Пасивних будинків в Європі, особливо на вторинному ринку. На популярність Пасивних будинків також вплинуло зниження вартості їх будівництва до рівня вартості будинків традиційного типу, завдяки масовому будівництву, вдосконаленню технології будівництва та інженерного обладнання.

Тим не менш, зараз вартість будівництва енергозберігаючого будинку все ж приблизно на 8-10% більше середніх показників для звичайної будівлі. Додаткові витрати на будівництво окупаються протягом 7-10 років. При цьому немає необхідності прокладати всередині будівлі труби водяного опалення, будувати котельні, ємності для зберігання палива тощо.

Отже, унікальність Пасивного будинку в тому, що його можна побудувати в «чистому» полі без використання мереж газу і теплоцентралей. Потрібна тільки вода і електроенергія в звичайному розмірі 10 кВт на будинок або квартиру. Цього цілком достатньо для приготування їжі, опалення, кондиціонування, вентиляції, гарячої та холодної води. При можливому відключенні електроенергії Пасивний будинок остигає на 1 ° С на добу при температурі зовнішнього повітря -15 ° С. Багато в чому цьому сприяють акумулятори тепла, роль яких виконують масивні несучі стіни, залізобетонні плити підлоги першого поверху та міжповерхові перекриття. Можна ще більше підвищити енергобезпеку Пасивного будинку доповнюючи інженерне обладнання різними джерелами енергії: каміни, печі, теплові насоси, сонячні колектори для підігріву води, сонячні батареї, вітроелектростанції тощо. Такі заходи з підвищення енергобезпеки можуть зробити Пасивний будинок повністю енергонезалежним.

1.2 Технології пасивного будинку. Ефективність системи

1.2.1 Теплоізоляція

Теплоізоляція оболонки пасивного будинку робить вирішальний вплив на необхідне споживання теплової енергії на опалення. Ця теплоізоляція повинна:

- мати найвищу якість;
- вкладатися щільно і без зазорів навколо всієї будівлі.

Теплоізоляція будівлі вважається найкращою тоді, коли значно знижуються тепловтрати. Найпростіше це досягається при проектуванні зовнішніх стін по можливості з мінімальною площею. Такий пристрій теплоізоляції є економічно ефективним: якщо площа зовнішньої оболонки мала, то зменшується вартість будівництва.

Принципи для досягнення цього давно відомі:

- по можливості компактний спосіб будівництва зі сприятливим A/V співвідношенням (відношення площі внутрішніх поверхонь зовнішніх огорожувальних конструкцій будівлі до опалювального обсягу будівлі);
- спорудження прибудов замість окремо розташованих будівель;
- слід уникати складних форм зовнішньої теплоізоляційної оболонки будівлі.

Будівлі з вичурними архітектурними формами не володіють хорошими теплотехнічними характеристиками. Тому багато будівель, побудованих в 60-80 роки, мають недосконалі форми з цієї точки зору. Наприклад, традиційні проекти будівель шкіл мають, як правило, форму подовжених прямокутних будівель, часто з різною поверховістю за рахунок винесених з основного масиву приміщень спортивних та актових залів. Тому з позицій теплотехніки такі форми не відрізняються ефективністю, так як площа поверхні будівлі стає дуже великою. З іншого боку, вимоги архітектурної естетики та необхідність розміщення різних за обсягом приміщень важко сумісні з раціональними кубічними формами. Тому проектування будівель, які б поєднували в собі зовнішню привабливість, зручне розташування приміщень і високі теплотехнічні параметри є на сьогоднішній день актуальним завданням.

Це не означає, що необхідно відмовитися від архітектурних деталей оформлення фасадів. Але компактність – це в першу чергу питання ціни будівництва. Чим менше компактна оболонка будівлі, тим більше необхідно інвестувати для скорочення тепловтрат, що призводить до подорожчання будівництва.

Основні принципи хорошої теплоізоляції:

- 1) необхідно визначити замкнуту термічну (теплоізоляційну) оболонку, що охоплює комфортну зону. Всі приміщення, температура яких в зимовий час повинна бути вище + 15 °С, знаходяться всередині оболонки;
- 2) ця оболонка, яка переривається тільки в місцях встановлення вікон, повинна мати у всіх місцях високі теплоізоляційні характеристики. Мінімальна товщина утеплювача становить у будь-якому місці теплоізоляційної

оболонки 25 см. (група за коефіцієнтом теплопровідності 040, тобто. $\lambda = 0,04$ Вт/(м·°C)). Бажано, щоб коефіцієнт теплопередачі дорівнював $R_0 = 10$ (м²·°C)/Вт.

Оболонки будівель складаються не тільки із загальноприйнятих конструкцій (стіна, дах, перекриття), а й охоплюють межі, кути, стики і місця порушення цілісності зовнішньої теплоізоляційної оболонки (внаслідок наскрізного проходження, наприклад, трубопроводів, вентиляційних каналів або елементів будівельних конструкцій). У всіх цих місцях тепловтрати, як правило, збільшені порівняно зі звичайними поверхнями. Завдяки ретельному проектуванню та сумлінному виконанню теплоізоляційних робіт можливо сильно скоротити тепловтрати, що виникають через теплові мости.

Наведемо основні принципи, які повинні дотримуватися при підвищенні теплового опору огорожувальних конструкцій:

- поділ функцій будівельних матеріалів у конструкціях. Конструкційні та кріпильні елементи повинні забезпечувати міцність, утеплювачі повинні забезпечувати теплову ізоляцію, декоративно-оздоблювальні матеріали – зовнішній вигляд. При такому підході вдається скоротити кількість «теплових мостів», по яким тепло з дому може виходити назовні;
- теплоізоляція повинна розташовуватися рівномірно і безперервно по всьому контуру будівлі;
- містки холоду повинні максимально виключатися і при необхідності мати додаткову теплоізоляцію;
- по всьому контуру будівлі повинна бути прокладена повітронепроникна оболонка, що забезпечує герметизацію будівлі.

При реалізації вищевикладених принципів вартість цегляної стіни, що забезпечує необхідний тепловий опір в кілька разів вище каркасної стіни з облицюванням. Це видно із зіставлення товщин стін різних конструкцій однакової теплопровідності, що забезпечують теплову огорожу для різниці температур - 26 градусів зовні, + 18 градусів всередині.

Найбільш проблемні місця для теплозахисту будівлі:

- місця зчленування даху та стін;
- місця примикання перекриттів і стін;
- контури установки віконних коробок і примикання фрамуг;
- місця примикання стін до фундаменту.

Як правило, місця примикання намагаються робити із застосуванням термовкладок з конструкційних матеріалів з низькою теплопровідністю. Наприклад, блоки з комірстого бетону, спеціальних видів цегли тощо. Місця сполучень додатково герметизують різними видами герметиків, пластичними будівельними розчинами.

Тепловтрати через фундамент скорочують:

- теплоізоляцією фундаменту зовні по всій висоті;
- установкою горизонтальної зовнішньої теплоізоляції по периметру будинку біля нижньої кромки опори фундаменту;
- установкою фундаментних блоків на піщану подушку;
- застосуванням схеми укладання плити першого поверху на ґрунт через “сендвіч”: піщана подушка, гідроізоляція, товстий утеплювач;
- фундаментні блоки над поверхнею повинні мати теплоізоляцію зовні і зсередини.

1.2.2 Вентиляція

Обов'язковим атрибутом у пасивному будинку є вентиляційна установка, яка забезпечує регульований повітрообмін. У приміщення надходить повітря потрібного обсягу і правильної температури (мінімум + 17°C, незалежно від пори року). Потрібна температура забезпечується рекуператором (елемент вентиляційної установки), в якому відпрацьоване повітря, що виходить з дому, віддає своє тепло повітрю вхідному (Рисунок 1.1). Для додаткового підігріву вхідного повітря в зимовий період і зниження енерговитрат використовується ґрунтовий теплообмінник. В результаті витрата енергії на роботу такої вентиляційної системи пасивного будинку абсолютно мінімальна – енергія витрачається тільки на переміщення повітря.

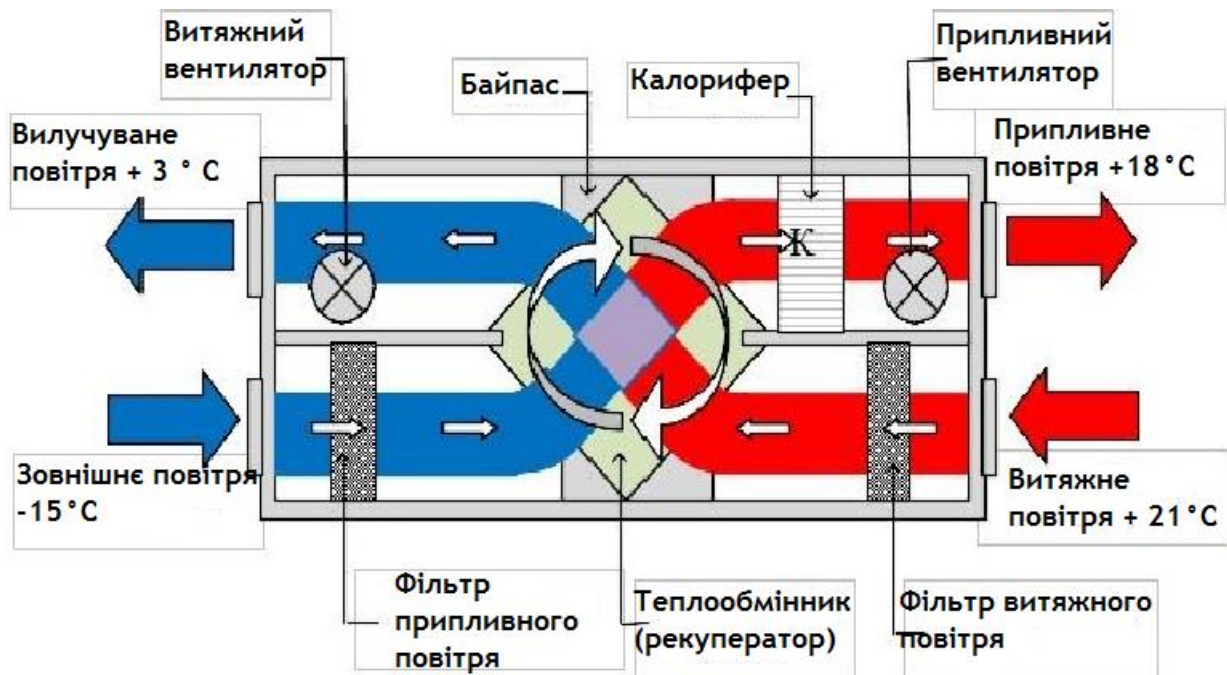


Рисунок 1.1 - Схема рекуперативного теплообмінника припливно-втяжної вентиляційної системи

Для виконання керованої системи вентиляції необхідно виконання наступних гігієнічних умов:

- потреба в приточному повітрі: $V = 1 \text{ м}^3/\text{год}$ на 1 м^3 жил. площі;
- температурні обмеження: $q < 500 \text{ }^\circ\text{C}$ в калорифере;
- $Q_q = 30 \text{ K}$; max теплове навантаження: $P_{kz} = 1 \text{ м}^3/(\text{год}\cdot\text{м}^3)\times 0,33 \text{ Вт}\cdot\text{год}/(\text{K}\cdot\text{м}^3)\times 30 \text{ K} = 10 \text{ Dn}$ (м^3 жил. площі).

Необхідно, щоб максимально допустима річна питома витрата теплової енергії на опалення будівлі, що відноситься до житлової площі, складала $15 \text{ кВт}\cdot\text{год}/(\text{м}^3\cdot\text{рік})$.

Якщо нагрів приточного повітря системи вентиляції достатній для будівлі як єдине джерело тепла для системи опалення, то таку будівлю називають пасивним будинком, оскільки вона не потребує активної системи опалення, а також у системі кондиціонування.

Обов'язковою умовою для дотримання якості повітря в житлових приміщеннях є контрольована система вентиляції. При цьому слід уникати рециркуляції повітря.

Тим не менш, припливне повітря цієї оновленої системи вентиляції можна використовувати для транспортування невеликої кількості тепла (влітку - холоду). За німецькими промисловими нормами DIN 1946 на одну людину потрібно 30 м²/год свіжого повітря, таким чином, виходить, що при дотриманні умови 30 м² - житлової площі на одну людину необхідно на кожен квадратний метр житлової площі 1 м³/(м² · год) приточного повітря.

Максимальна температура в повітрянагрівачі (калорифері) повинна бути менше 50°C, щоб запобігти підгорання пилю. Простий розрахунок з теплоємністю повітря, що дорівнює 0,33 Вт·год/(м³·К), дає в підсумку максимальне теплове навантаження в розмірі 10 Вт/м², яке може бути без проблем підведено за допомогою припливного повітря. Цей результат відноситься, втім, до всіх житлових будівель незалежно від клімату. Різниця між тепловтратами і вільним теплом (теплоприпливання без урахування витрати тепла на опалення) обмежена цією зовсім малою величиною. Однак витрати на будівництво значно різняться залежно від клімату.

1.2.3 Опалення

Нагрівання припливного повітря відбувається за допомогою калорифера, який догріває приточне повітря до необхідних параметрів і розташований безпосередньо за теплообмінником. Після калорифера вентиляційний канал з припливним повітрям може проходити в звичайному випадку тільки всередині теплих приміщень. Необхідно запобігати безпосередньому перенесенню тепла з каналу з припливним повітрям в канал з витяжним повітрям. Частина тепла передається в приміщення вже через систему каналів з припливним повітрям, а це цілком бажаний процес. Тепло для підігріву припливного повітря може бути запозичено, наприклад, з передбаченої проектом системи нагріву гарячої води. Необхідне теплове навантаження для системи вентиляції в будь-якому випадку набагато менше, ніж максимальне навантаження для отримання гарячої води.

Гарною можливістю є отримання тепла за допомогою маленького, високоефективного теплового насоса з величиною річного коефіцієнта

перетворення більше 3. Тепловий насос - це пристрій для перенесення теплової енергії від джерела низькопотенційної теплової енергії (з низькою температурою) до споживача (теплоносія) з більш високою температурою. Як джерело тепла для теплового насоса може служити віддалене повітря на виході після теплообмінника. Якщо, як рекомендовано, застосовувати ґрунтовий теплообмінник для попереднього нагріву зовнішнього свіжого повітря, то температура повітря, що віддаляється, навіть у найхолодніші дні становить не менше 6... 10 °С.

Теплові насоси відносяться до найбільш ефективних засобів використання енергії навколишнього середовища, оскільки дозволяють отримати в 3 рази більше енергії порівняно з витраченою в місці використання і покрити всі енергоспоживності будівлі (за умови його хороших теплотехнічних характеристик). Більше того, теплові насоси підвищеної потужності

здатні забезпечувати енергією не тільки окремі будівлі, а й цілі райони міської забудови, що робить досить доцільним їх використання в групових (централізованих) джерелах енергопостачання.

Теплові насоси діляться на геотермальні (ґрунтові) і повітряні.

Як випливає з назв, перші використовують як джерело тепла тепло ґрунту, другі - повітря. Повітряні теплові насоси дешевші (в тому числі і в монтажі), але працюють на тепло при температурі не нижче мінус 15 °С. Відповідно в наших умовах їх застосування обмежене.

Геотермальні теплові насоси не мають обмежень за температурою зовнішнього повітря (Рисунок 1.2).

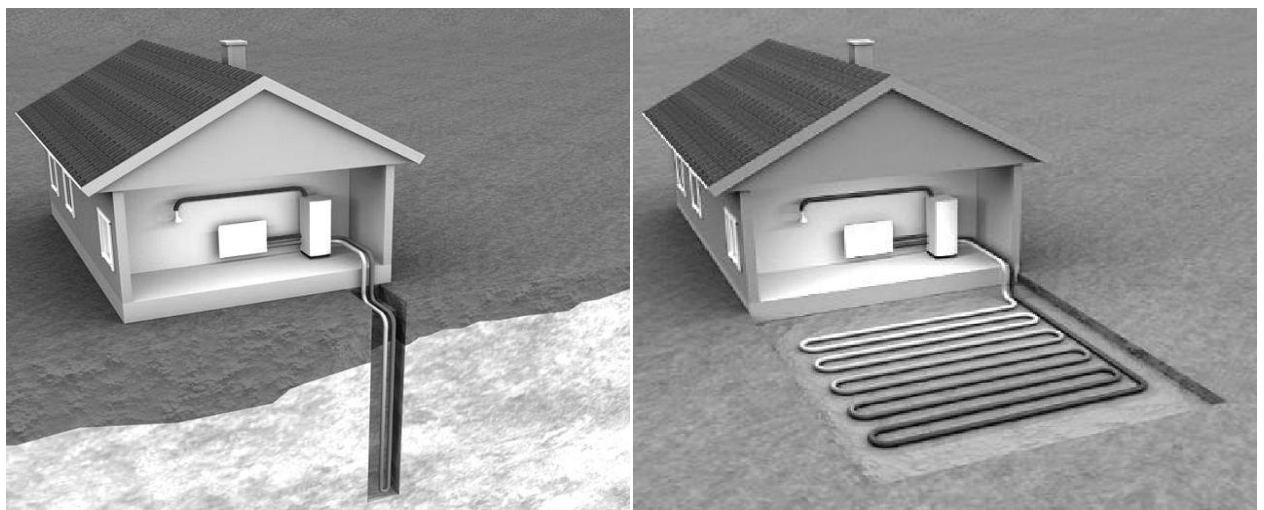


Рисунок 1.2 - Схема геотермальних (грунтових) теплових насосів

Коефіцієнт перетворення енергії (продуктивність) сучасних геотермальних теплових насосів (позначається як COP - coefficient of performance) досягає величини 5. Це означає, що на 1 кВт·год витраченої електричної енергії, тепловий насос видає 5 кВт·год тепловою. Для повітряних теплових насосів цей показник нижчий - близько 3.

1.2.4 Гаряче водопостачання

Оскільки потреба в гарячій воді в будь-якому котеджі залежить від кількості проживаючих і звичок користувачів, гаряче водопостачання (ГВП) в пасивних будинках може становити домінуючу частку в сукупних енергетичних витратах будівлі.

У зв'язку з тим, що для пасивного будинку встановлено жорсткий норматив сумарної витрати первинної енергії для всіх потреб – 120 кВт·год/м² у рік – на опалення, ГВП, електрику, реалізація системи ГВП повинна здійснюватися найбільш енергоефективним способом. В якості такого способу рекомендується комбінація компактних теплових насосів з сонячними колекторами. У такому випадку звичайний накопичувальний бак заміняться спеціальною ємністю, що забезпечує нагрів води не тільки від опалювального приладу, але і сонця. Обсяги таких «сонячних» накопичувальних баків більші (як правило, від 500 л.). Це рішення дозволяє забезпечувати ГВП виключно за рахунок сонячної енергії протягом приблизно півроку (по всій території України), і в цей період часу енерговитрати на гаряче водопостачання близькі нулю.

1.2.5 Електропостачання

Для електропостачання пасивного будинку рекомендуються сонячні (фотоелектричні) панелі з відповідними акумуляторами в поєднанні з генератором на рідкому паливі (дизель), або на газоподібному (природний газ), що використовується періодично в період осінь - весна, а також в якості резервного джерела (на випадок тривалих періодів похмурої погоди).

Використання вітряних електрогенераторів для автономного будинку може бути раціонально в регіонах з відповідним вітровим навантаженням і при наявності великої території ділянки.

Електрична енергія використовується в домашньому господарстві для багатьох цілей: охолодження, замороження, прання, мийка посуду, зв'язок, освітлення та багато іншого. За аналогією з опаленням приміщень, для яких витрата енергії завдяки сучасній техніці пасивного будинку можна звести майже до нуля, споживання електричної енергії в домашньому господарстві також значно скорочується завдяки ефективним приладам.

1.2.6 Скління

Позитивний баланс від сонячних теплонадходжень може значно зменшитися, якщо через погані віконні рами та теплові мости в області вікон сильно зростуть тепловтрати. Звичайні віконні рами мають значення коефіцієнта теплопередачі 1,5... 2 Вт/(м²·°С). Тепловтрати від 1 м² таких рам більш ніж удвічі перевищують тепловтрати від 1 м² скління для пасивного будинку, для якого коефіцієнт теплопередачі приблизно дорівнює 7 Вт/(м²·°С). Крім цього, необхідно враховувати значні теплові мости в місцях з'єднання скління з рамою. У такому випадку, щоб знову не втратити позитивний баланс від сонячних теплонадходжень внаслідок цих додаткових тепловтрат, необхідно застосовувати віконні рами з високим опором теплопередачі.

Вікна пасивних будівель працюють як сонячні колектори – теплонадходження від пасивного використання сонячної енергії вносять основний внесок у відшкодування тепловтрат. Мета полягає не в тому, щоб будь-якою ціною отримати максимально можливу кількість сонячної енергії, а більшою мірою в тому, щоб по можливості зберігати на мінімальному рівні відсутню потребу в енергії на опалення.

Ще один аспект, пов'язаний з використанням сонячної енергії, – це раціональне розташування приміщень у будівлі. Так, приміщення з високою потребою у світлі, теплі та сонячному випромінюванні, такі як навчальні класи та

аудиторії, житлові кімнати в квартирах, приміщення з постійною присутністю людей в адміністративних будівлях, повинні розміщуватися на сонячній стороні будівлі. Приміщення з меншою потребою у світлі та теплі, такі як лаборантські, комори, сходові простори, можуть розташовуватися на північній стороні.

Іншою стороною використання енергії сонця в будівлях є зниження інтенсивності інсоляції в літній період часу. Нагрівання за рахунок сонячної радіації влітку може стати надмірним і призводить до значних витрат електроенергії, споживаної кондиціонерами. Для вирішення цього завдання використовуються як високотехнологічні рішення, наприклад, застосування спеціального віконного скла, що відображає більшу частину теплового випромінювання, так і відносно прості пристрої, такі як рухомі дефлектори - спеціальні вигнуті козирки над вікнами. (Рисунок 1.3)

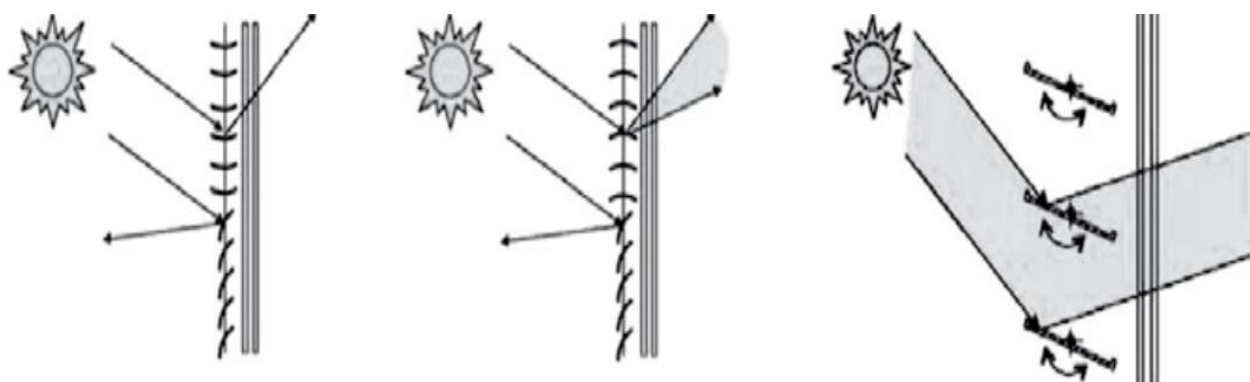


Рисунок 1.3. Схема регулювання дефлекторами надходження сонячного світла в приміщення

Регулювання дефлектора на вікні дозволяє досягати відбивання значної частини сонячних променів, або при необхідності направляти сонячне світло на слабо освітлені простори всередині приміщень (Рисунок 1.4).

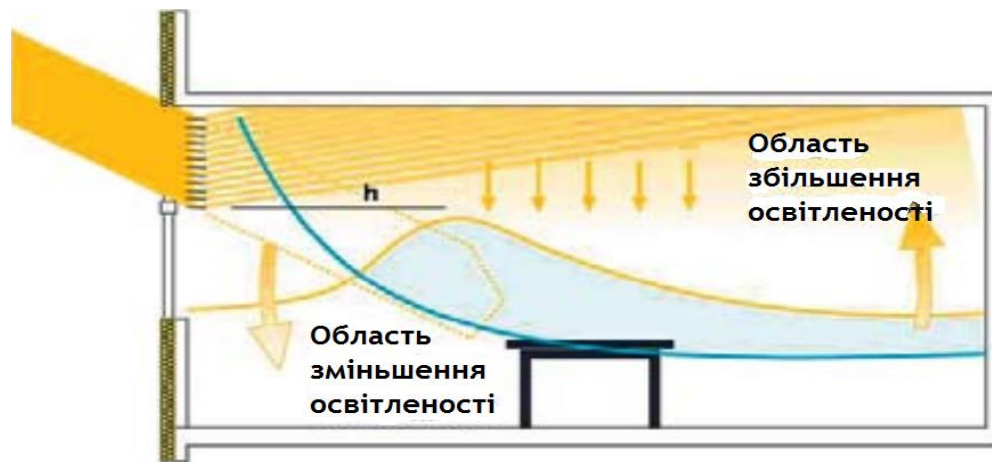


Рисунок 1.4. Схема зміни освітленості в приміщенні при використанні дефлекторів

Принципи, необхідні для пасивного використання сонячної енергії в пасивних будівлях:

1. Тепловтрати через прозорі поверхні повинні бути незначними. Необхідні високоякісні скління, які мають високу пропускаячу здатність сонячної енергії, але насамперед низький коефіцієнт теплопередачі (R0);
2. Інші втрати по периметру вікна повинні бути незначними: теплові мости в місці з'єднання скління з віконною рамою (по краях скління), а також разом примикання віконної рами і зовнішньої стіни значно підвищують тепловтрати;
3. Також має бути можливість теплонадходжень від використання сонячної енергії через прозорі поверхні: тобто необхідну орієнтацію (південь для зимових місяців ідеальний) і відсутність перешкод, що дають тінь.

2 Розробка проєктних рішень енергоефективного будинку

2.1 Вихідні дані для розробки енергоефективного будинку

Вихідними даними для розробки проєкту Пасивного будинку в м. Северодонецьк є: об'ємно-планувальні та конструктивні рішення будівлі і характеристика природно-кліматичних умов.

2.1.1 Характеристика природно-кліматичних умов будівництва

Районом будівництва є м. Северодонецьк. Даний район має широку будівельно-виробничу базу, що дозволяє зменшити витрати на зведення багатоповерхових житлових будівель.

Кліматичні показники для даного архітектурно-будівельного району.

Помірно континентальний з відносно нетривалою холодною зимою і дуже спекотним літом. Середня температура влітку: $+24\dots+30$ °С. Найспекотніша погода – в середині липня. Червень - найбільш вітряний місяць. Повітря прогрівається до $+36\dots+48$ °С. Восени погода прохолодна і волога. Можливі ранні заморозки. Зима, як правило, починається в грудні. Середня температура зими: $-2\dots-4$ °С. Найхолодніший місяць - січень. Весна прохолодна і волога, грозові дощі йдуть у травні.

Місто знаходиться в Луганській області, яка відноситься до I Південно-східного архітектурно-будівельного кліматичного району України з наступними розрахунковими характеристиками:

- Середньорічна температура – -1.6 °С;
- Абсолютний максимум – $+48$ °С;
- Абсолютний мінімум – -30 °С;
- Кількість опадів за рік 400-500 мм;
- Середньорічна швидкість вітру – 2,4 м/с;
- Середньорічна вологість повітря – 74%;
- Нормативне значення вітрового навантаження 0.4 кПа;
- Температура повітря холодної доби – -25 °С;
- Температура повітря холодної п'ятиденки – -10 °С;

- Температура повітря теплої доби – + 30 ° С;
- Нормативна глибина промерзання ґрунтів – 120см;
- Тривалість опалювального періоду, Z_{nt} , дорівнює 180 доб.
- Вітрове навантаження відноситься до 1 району.

Таблиця 1 Вітровий режим території

Місяць	Повторюваність напрямку вітру (числівник), %							
	Середні швидкості вітру за напрямками (знаменник), м/сек.							
	Пн	ПнСх	Сх	ПдСх	Пд	ПдЗх	Зх	ПнЗх
Січень	5	10	27	15	5	12	17	9
Липень	10	13	13	7	4	11	23	19

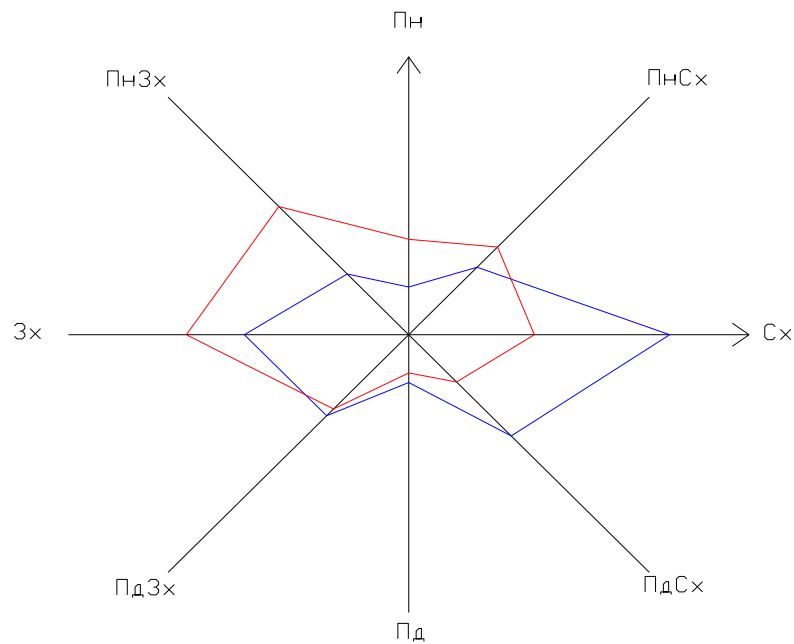


Рисунок 2.1 Роза вітрів для м.Севєродонецьк

2.1.2 Потрібні параметри проектованої будівлі

- Клас будівлі – II;
- Ступінь довговічності – II;
- Ступінь вогнестійкості – II;

2.1.3 Межа вогнестійкості будівельних конструкцій

- Несучі елементи будівлі – R90;
- Переkritтя міжповерхові – REI45;
- Сходові клітини – REI90;
- Внутрішні стіни – R60;
- Марші та майданчики сходів – R60;
- Клас пожежної небезпеки будівельних конструкцій – C1;
- Клас будівлі за Функціональною пожежною небезпекою – F1.3;

2.1.4 Санітарно-гігієнічні вимоги

- Розрахункова температура внутрішнього повітря в холодний період – + 21°C;
- Відносна вологість внутрішнього повітря – 55%
- Вимоги до природного освітлення – $KEO_{\min} = 0.5\%$;
- Відношення площі вікон до площі підлоги $S_{\text{ок/підлоги}} = 1/5.5 \dots 1/8$.

2.1.5 Протипожежні вимоги до будівлі та окремих конструкцій

- Найбільша допустима площа поверху пожежного відсіку - 2200м²;
- Найбільша допустима висота будівлі - 31.5 м;
- Найбільша відстань від дверей до виходу - 20м;
- Кількість евакуаційних виходів - не менше 2;
- Пристрій дверей на шляхах евакуації - не менше 1,0 м;
- Найменша ширина маршів сходів, що ведуть у житлові поверхи будівлі - 1.0 м;
- Найменша ширина маршів сходів, що ведуть у підвальні поверхи будівлі - 0.9 м;
- Найбільший ухил маршів сходів, що ведуть у житлові поверхи проєктованої будівлі - 1:1,75;
- Найбільший ухил маршів сходів, що ведуть у підвальні поверхи - 1:2,5.

2.1.6 Функціональний процес будівлі

Основні функціональні вимоги до проєктованої будівлі – створення сприятливих умов для всіх видів життєдіяльності.

У будівлі створені сприятливі умови для проживання сімей та відпочинку.

Для забезпечення зручності проживання в домі є такі функціональні групи приміщень: зона відпочинку (спальні); зона громадсько-робоча (загальна кімната); санітарно-гігієнічна (вбиральня, ванна); допоміжна (коридори); вхідна, розподільча (передпокій). Зв'язки між приміщеннями дома здійснюються за допомогою міжкімнатних дверей. Зв'язки між приміщеннями всієї будівлі здійснюються за допомогою сходів.

Розташування приміщень у домі влаштовано з урахуванням особливості їх використання: спальні, як зони відпочинку, максимально віддалені від входу. Ванна і вбиральня розташовані поруч з кухнею. Площі приміщень потроєні з урахуванням комфортабельності та практичності їх використання.

2.2 Об'ємно-планувальні рішення

Планувальні рішення Пасивного будинку для міста Сєверодонецьк засновані на поділі будинку на буферні та житлові зони, орієнтовані обабіч світла.

Будівля будинку в плані має форму квадрата. Розміри будівлі в плані – 10,5 × 10,2 м.

Висота приміщень у чистоті – 2,8 м.

На першому поверсі запроектовано вхідну групу, технічне приміщення, сантехнічний вузол, кухню та вітальню.

На другому поверсі розташовані спальні, санвузол і кабінет. Так само в будинку запроектовано гараж.

Плани поверхів, розрізи та фасади див. Додаток А

2.3 Конструктивні рішення

1. Конструктивна система будівлі - стінова.
2. Фундамент - фундаментна утеплена шведська плита товщиною 400 мм.

3. Зовнішні стіни - двошарові:
 - Внутрішній шар – червона повнотіла цегла товщиною 380мм за ДСТУ Б В.2.7-61:2008.
 - Зовнішній шар – утеплювач екструдований пінополістирол товщиною 250 мм по ДСТУ EN 13164:2019 з оздобленням «мокрый фасад».
4. Внутрішні несучі стіни – повнотіла цегла товщиною 380 мм по ДСТУ Б В.2.7-61:2008.
5. Перегородки - повнотіла цегла товщиною 120 мм по ДСТУ Б В.2.7-61:2008.
6. Переkritтя - монолітні залізобетонні товщиною 180 мм.
7. Мансардний дах – двоскатний, по похилих дерев'яних кроквах, з організованим зовнішнім водостоком.
8. Покрівля – композитна черепиця за ДБН В.2.6-220:2017.
9. Вікна – трикамерний склопакет зі скла з м'яким селективним покриттям і заповненням аргоном у переплетах ПВХ.

2.4 Інженерні рішення

Для забезпечення будинку електроенергією від альтернативних джерел будуть застосовані сонячні батареї спільно з дизельним генератором.

Вентиляція буде здійснюватися за допомогою механічної вентиляції з рекуперацією тепла, що буде так само забезпечувати повітряне опалення.

Опалення буде влаштовано за допомогою геотермального насоса по засобах теплих підлог на 1 і 2 поверхах. ГВП так само буде отримано за допомогою підігріву води геотермальним насосом.

3 Чисельне моделювання та техніко-економічне обґрунтування проекту енергоефективного будинку

3.1 Розрахунок вузлових з'єднань

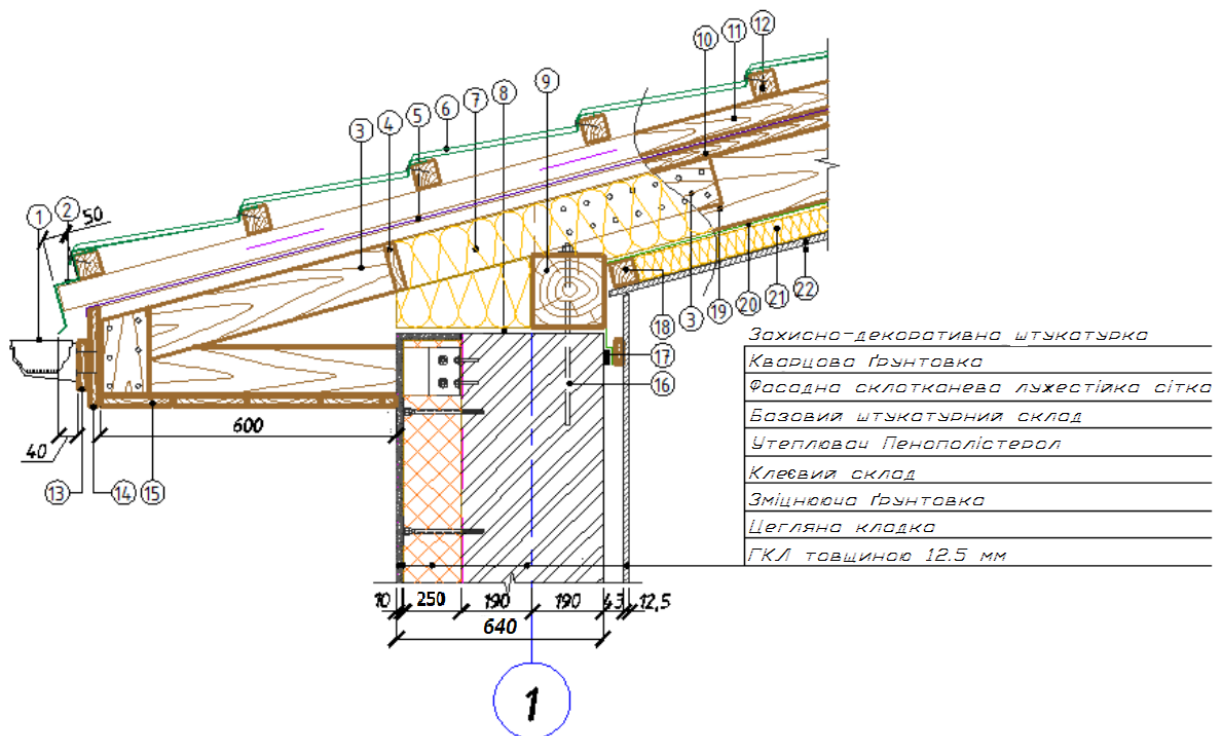
За допомогою програмного комплексу COMSOL Multiphysics проведено розрахунок теплових полів вузлових сполук, для оцінки відповідності проектних рішень вимогам технології Пасивного будинку.

Оскільки основними проблемними конструкціями, через які відбуваються найбільші втрати тепла в будівлях, є: дах, вікна і стіни, відповідно до цього були розраховані такі вузли з'єднання:

- сполучення зовнішньої несучої стіни і мансардного даху;
- сполучення зовнішньої несучої стіни і віконного профілю.

А так само були розраховані вузли сполучення зовнішньої несучої стіни з «Утепленою шведською плитою» і плитою перекриття, для підтвердження відповідності вимогам Пасивного будинку, в якому повинні бути відсутні містки холоду у вузлах примикань.

1. Сполучення зовнішньої несучої стіни і мансардного даху



1. Водостічний жолоб
2. Карнизна планка
3. Кобилка

12. Крокова обрешітка
13. Дерев'яна підкладка для кріплення водостічної системи

4. Опорна дошка
5. Мембрана дифузійна
6. Композитна черепиця
7. Плити з кам'яної вати
8. Гідроізоляція з бітумно-полімерного матеріалу
9. Мауерлат
10. Контробрешітка для створення провісу дифузійної плівки
11. Контробрешітка для створення вентзасору

14. Лобова дошка
15. Підшивка звісу
16. Анкерний елемент
17. Бутіл-каучукова стрічка
18. Брус 50x50 з кроком 600 мм
19. Кроквяна нога
20. Пароізоляційна плівка
21. Контрутеплювач
22. ГКЛ товщиною 12,5 мм

Рисунок 3.1 - Сполучення зовнішньої несучої стіни і мансардного даху
Після розрахунку в програмі COMSOL Multiphysics отримано графік ізотерм (див. Рисунок 3.2) і розрахункові дані, а саме:

- тепловий потік $q = 8,03 \text{ Вт/м}^2$;
- температура на внутрішній поверхні конструкції $T = 21 \text{ }^\circ\text{C}$;
- Різниця температур $\Delta t = 46 \text{ }^\circ\text{C}$.

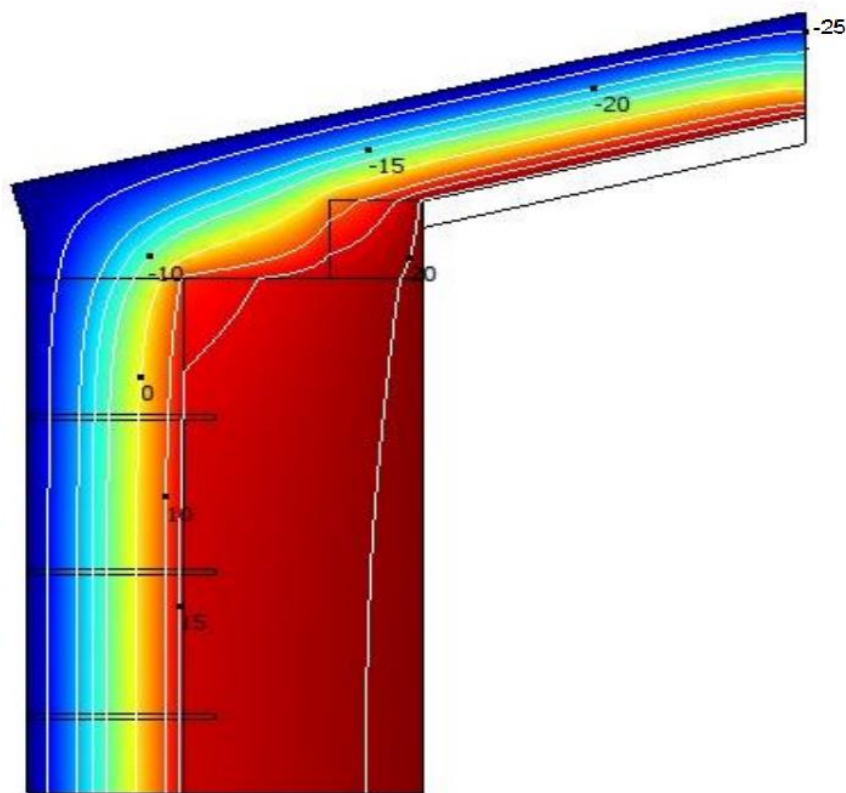


Рисунок 3.2 - Ізотерми зв'язку зовнішньої несучої стіни і мансардного даху
2. Сполучення зовнішньої несучої стіни та віконного профілю

Захисно-декоративна штукатурка
 Кварцова Ґрунтовка
 Склотканева лужестійка сітка
 Базовий штукатурний склад
 Утеплювач Пенополістерол
 Клеєвий склад
 Зміцнююча Ґрунтовка
 Цегляна кладка

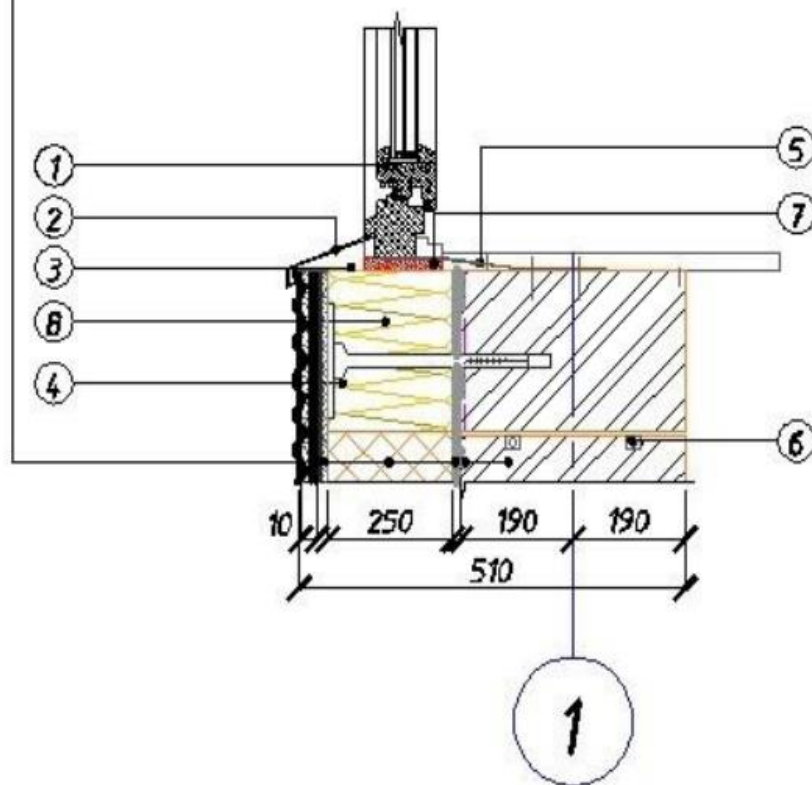


Рисунок 3.3 - Сполучення зовнішньої несучої стіни з «Утепленою шведською плитою»

Після розрахунку в програмі COMSOL Multiphysics отримано графік ізотерм (див. Рисунок 3.4) і розрахункові дані, а саме:

- тепловий потік $q = 15,77 \text{ Вт/м}^2$;
- температура на внутрішній поверхні конструкції $T = 20 \text{ }^\circ\text{C}$;
- Різниця температур $\Delta t = 46 \text{ }^\circ\text{C}$.

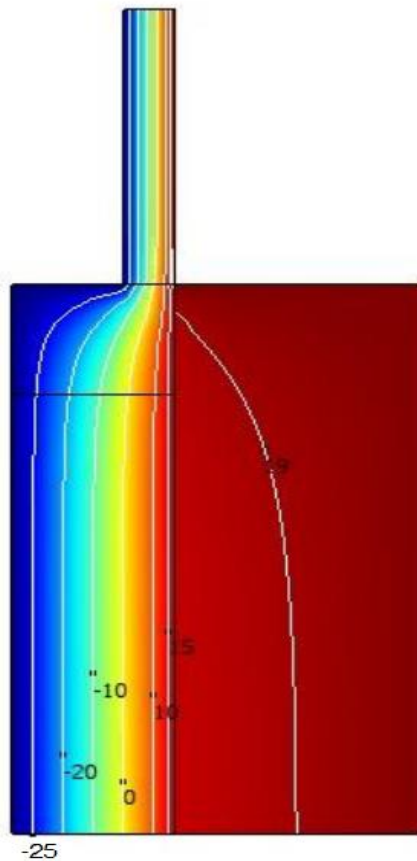


Рисунок 3.4 – Ізотерми сполучення зовнішньої несучої стіни і віконного профілю

3. Сполучення зовнішньої несучої стіни з «Утепленою шведською плитою»

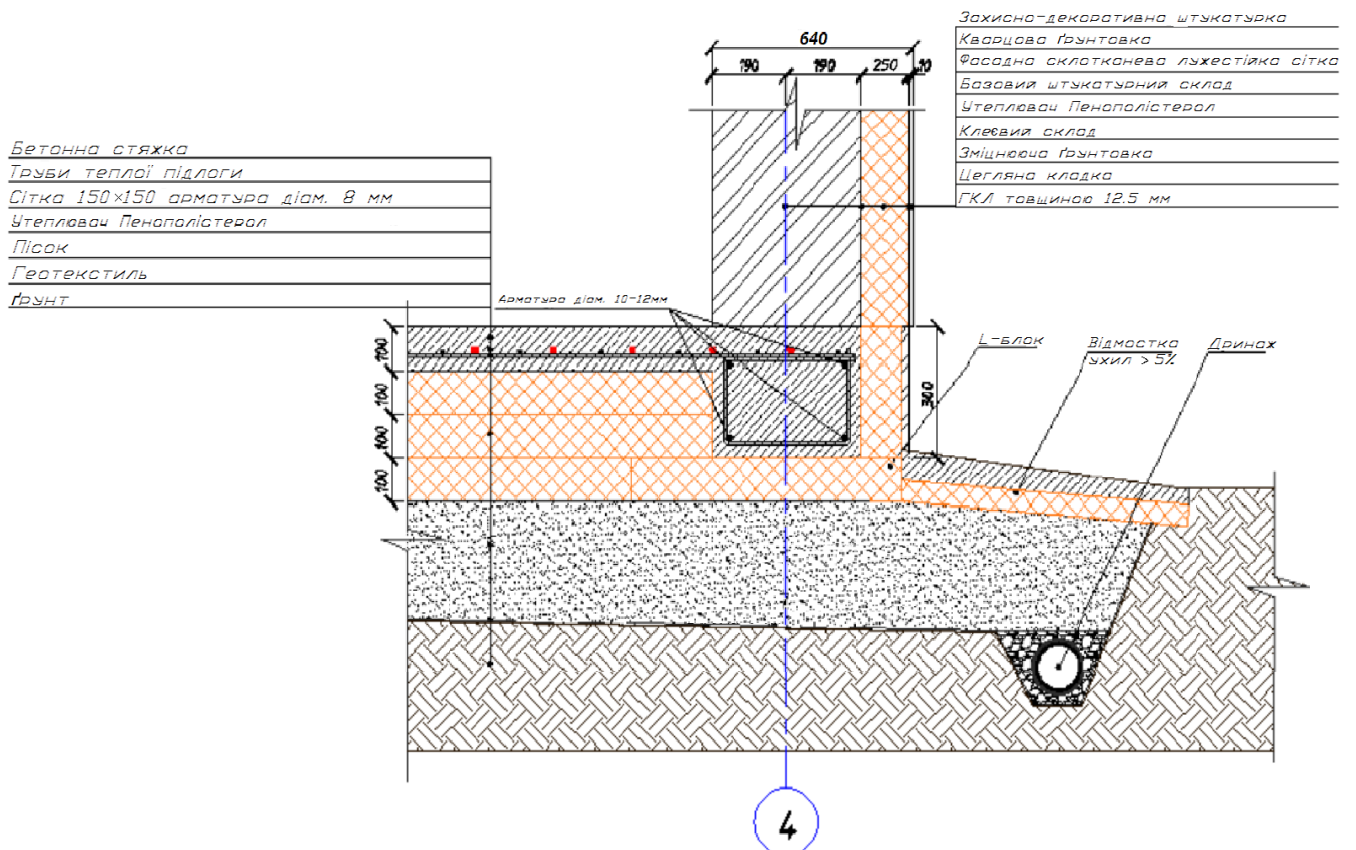


Рисунок 3.5 – Сполучення зовнішньої несучої стіни з «Утепленою шведською плитою»
Після розрахунку в програмі COMSOL Multiphysics отримано графік ізотерм (див. Рисунок 3.6) і розрахункові дані, а саме:

- тепловий потік $q = 7,54 \text{ Вт/м}^2$;
- Температура на внутрішній поверхні конструкції $T = 20 \text{ }^\circ\text{C}$
- Різниця температур $\Delta t = 46 \text{ }^\circ\text{C}$.

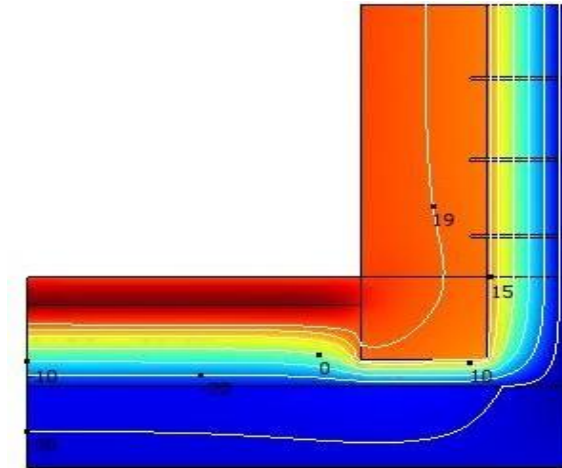


Рисунок 3.6 – Ізотерми сполучення зовнішньої несучої стіни з «Утепленою шведською плитою»

4. Сполучення зовнішньої несучої стіни з плитою перекриття

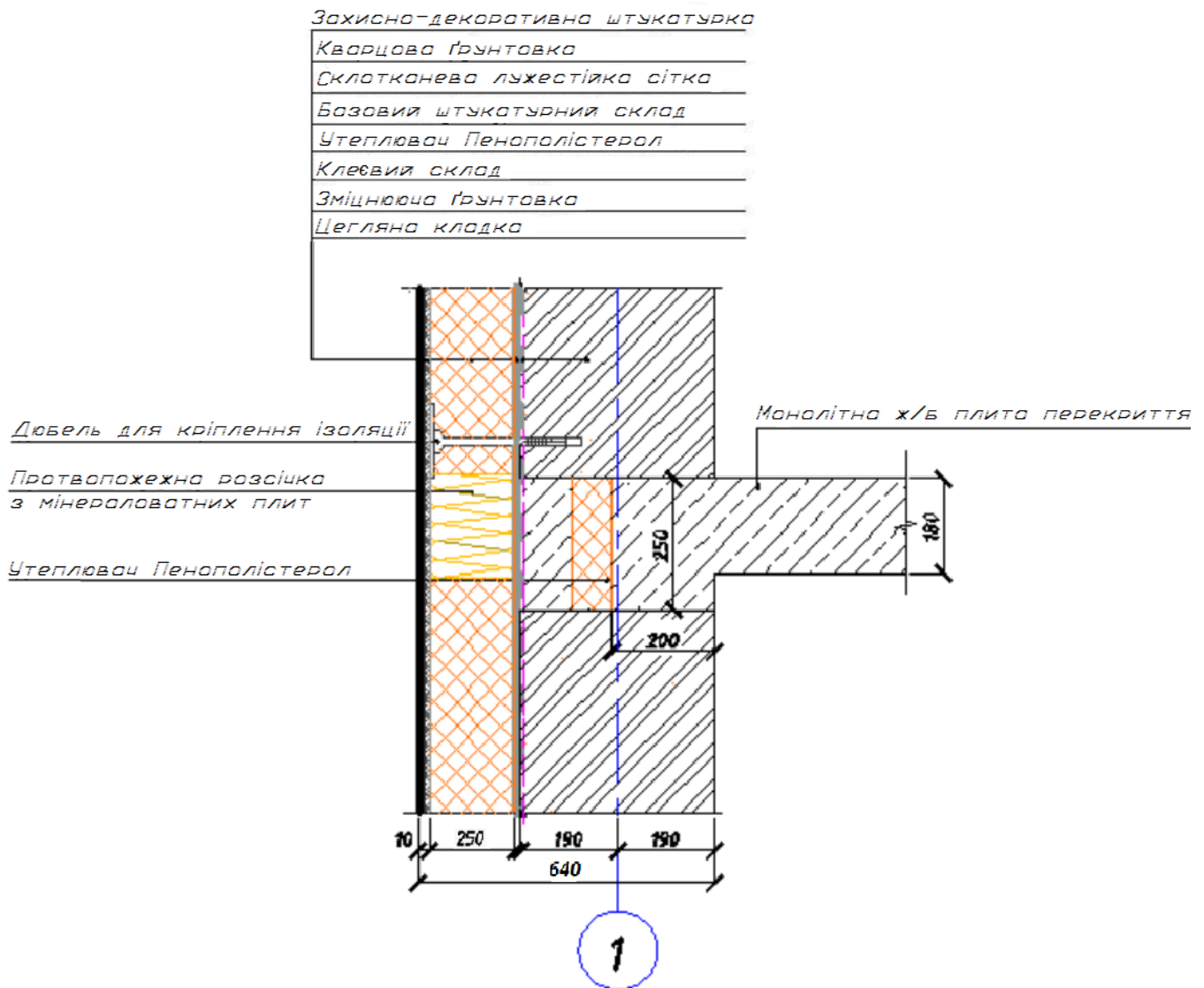


Рисунок 3.7 - Сполучення зовнішньої несучої стіни з плитою перекриття

Після розрахунку в програмі COMSOL Multiphysics отримано графік ізотерм (див. Рисунок 3.8) і розрахункові дані, а саме:

- тепловий потік $q = 8,52 \text{ Вт/м}^2$;
- температура на внутрішній поверхні конструкції $T = 21 \text{ }^\circ\text{C}$;
- Різниця температур $\Delta t = 46 \text{ }^\circ\text{C}$.

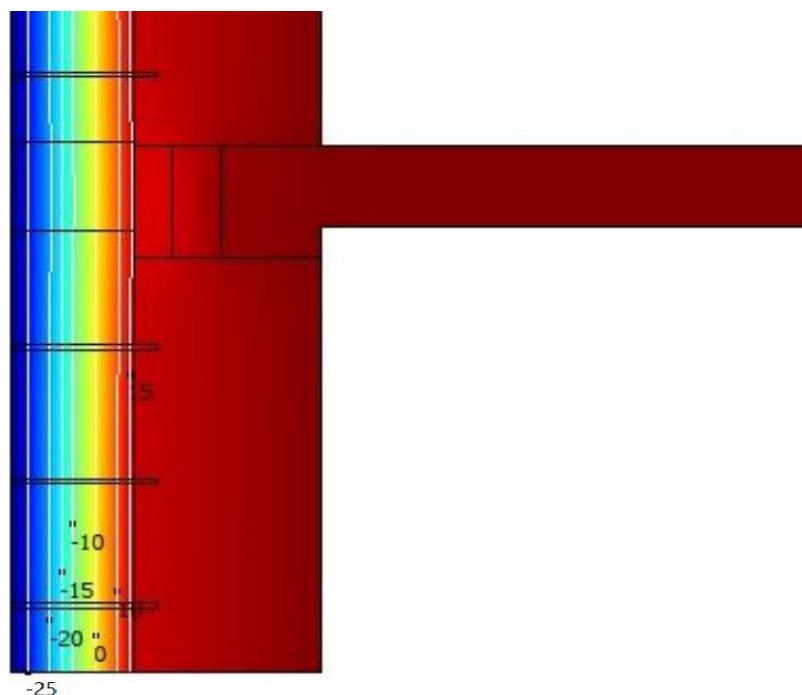


Рисунок 3.8 - Ізотерми сполучення зовнішньої несучої стіни з плитою перекриття

3.2 Розрахунок теплоенергетичних параметрів об'єкта

3.2.1 Загальна характеристика будівлі

Об'єкт є окремостоячим двоповерховим житловим будинком.

Висота поверхів – 2,82 м.

Площі зовнішніх огорожувальних конструкцій, опалювальний обсяг будівлі, площа будинку, житлова площа, необхідні для розрахунку енергетичного паспорта, теплотехнічні характеристики огорожувальних конструкцій будівлі визначалися згідно з проектом відповідно до:

- Опалювальний обсяг – $V_{оп} = 429,536 \text{ м}^3$;
- Сума площ поверхів будівлі – $S_{оп} = 161,97 \text{ м}^2$;
- Площа житлових приміщень – $S_{ж} = 76,17 \text{ м}^2$;
- Розрахункова кількість жителів – $m_{ж} = 4 \text{ люд}$;
- Висота будівлі від підлоги 1-го поверху до верху даху – 8,343 м.

Загальна площа зовнішніх огорожувальних конструкцій:

- $S_{з сум} = 437,876 \text{ м}^2$;
- з них фасадів будівлі – $S_{фас} = 264,468 \text{ м}^2$.

Обща площа скління:

- $S_{ок} = 25,277 \text{ м}^2$, з них окон жилової частини $S_{ок.1} = 19,78 \text{ м}^2$.

Площа надземного скління обабіч світла зведена в табл. 3.1.

Таблиця 3.1 – Площа надземного скління обабіч світла

Найменування	Площа скління, м ² , орієнтованих обабіч світла			
	Північ	Схід	Південь	Захід
Вікна та балконні двері житлової частини	-	5,766	10,996	8,515
Всього	-	5,766	10,996	8,515

Площа входних дверей: $S_{дв1} = 7,412 \text{ м}^2$.

3.2.2 Кліматичні показники

- Район будівництва – м. Сєверодонецьк;
- Розрахункова температура зовнішнього повітря $t_3 = -25^\circ\text{C}$;
- Розрахункова температура внутрішнього повітря жил. частини $t_{в.жил} = 21^\circ\text{C}$;
- Розрахункова температура внутрішнього повітря сходової клітини $t_{в.ск} = 5^\circ\text{C}$;
- Тривалість опалювального періоду $z_{оп} = 180 \text{ доб}$;
- Середня добова температура опалювального періоду $t_{оп} = -1.6^\circ\text{C}$;
- Розрахункова відносна вологість внутрішнього повітря $\varphi_v = 55\%$.

Градусо-доба опалювального періоду (ГДОП) для огорожувальних конструкцій житлових квартир визначається за формулою:

$$D_d = (t_{в.жил} - t_{оп}) \cdot z_{оп}$$

Підставляємо значення у формулу, отримуємо:

$$D_d = (21 + 1.6) \cdot 180 = 4068^\circ\text{C} \cdot \text{доб}.$$

Щоб розрахувати базові значення необхідного опору теплопередачі зовнішніх огорожувальних конструкцій, застосуємо формулу:

$$R_o^{\text{необх}} = aD_d + b$$

- де D_d – градусо-доба опалювального періоду, $^\circ\text{C} \cdot \text{доб}/\text{рік}$, для конкретного пункту;

- a, b – коефіцієнти, значення яких слід приймати за даними таблиці 3.2 для відповідних груп будівель, за винятком графі 6, для групи будівель в поз.1, де для інтервалу до 6000 °С·доб/рік: $a = 0,000075$, $b = 0,15$; для інтервалу 6000-8000 °С·доб/рік: $a = 0,00005$, $b = 0,3$; для інтервалу 8000 °С·доб/рік і більше: $a = 0,000025$; $b = 0,5$.

Таблиця 3.2 – Базові значення необхідного опору теплопередачі огорожувальних конструкцій

Будівлі та приміщення, коефіцієнти a і b	Градусо-доба опалювального періоду, °С·доб/рік	Базові значення необхідного опору теплопередачі $R_o^{необх}$, (м ² ·°С)/Вт огорожувальних конструкцій				
		Стін	Покриття та перекриття над проїздами	Перекриттів горищних над неопалювальними підпіллями і підвалами	Вікон і балконних дверей, вітрин і вітражів	Ліхтарей
1	2	3	4	5	6	7
Житлові, лікувально-профілактичні, дитячі заклади, школи, інтернати, готелі та гуртожитки	2000	2.1	3,2	2,8	0,3	0,3
	4000	2.8	4,2	3,7	0,45	0,35
	6000	3.5	5,2	4,6	0,6	0,4
	8000	4.2	6,2	5,5	0,7	0,45
	10000	4.9	7,2	6,4	0,75	0,5
	12000	5.6	8,2	7,3	0,8	0,55
a	-	0.00035	0,0005	0,00045	-	0,000025
b	-	1.4	2,2	1,9	-	0,25

Визначимо базові значення необхідного опору теплопередачі зовнішніх огорожувальних конструкцій за табл. 3.2 та формулою:

- зовнішні стіни

$$R_{ст1}^{оп} = 0,00035 \cdot 4068 + 1,4 = 2,82 \text{ м}^2 \cdot \text{°С}/\text{Вт};$$

- окна

$$R_{\text{ок.1}}^{\text{TP}} = 0,000075 \cdot 4068 + 0,15 = 0,45 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт};$$

- вхідні двері

$$R_{\text{дв.1}}^{\text{TP}} = 0,000075 \cdot 4068 + 0,15 = 0,45 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт};$$

- покриття суміщені

$$R_{\text{дах2}}^{\text{TP}} = 0,0005 \cdot 4068 + 2,2 = 4,2 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт};$$

- підлога на ґрунті

$$R_{\text{0.цок.3}}^{\text{TP}} = 0,00045 \cdot 4068 + 1,9 = 3,7 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт};$$

Нормовані температурні перепади Δt^{H} між температурою внутрішнього повітря і температурою внутрішньої поверхні зовнішніх огорожувальних конструкцій:

- стін жилої частини будівлі – 4°С ;
- покриття суміщених – 3°С .

3.2.3 Опис огорожувальних конструкцій будівлі

Зовнішні стіни: багат шарова конструкція: внутрішній шар – кладка з глиняної цегли звичайної (ДСТУ Б В.2.7-61:2008) на цементно-піщаному розчині, товщиною 380 мм; ефективний утеплювач – плити екструдованого пінополістиролу товщиною 250 мм; зовнішній шар – обштукатурена цементно-піщаним розчином товщиною 20 мм.

Покриття поєднане: система мансарда за дерев'яною кроквяною системою з високоякісним покриттям з композитної черепиці. В якості утеплювача в системі використовуються легкі негорючі плити з кам'яної вати , товщиною 250 мм.

Світлопрозорі конструкції: 3-камерний склопакет з потрійним склінням.

3.2.4 Розрахунки теплотехнічних показників

Знайдемо опір теплопередачі всіх конструкцій, які обмежують опалювальний обсяг будівлі.

3.2.4.1 Стіна

Ця конструкція обмежує опалювальний обсяг житлової частини будівлі, і являє собою багат шарову конструкцію: внутрішній шар – кладка з глиняної цегли звичайної (ДСТУ Б В.2.7-61:2008) на цементно- піщаному розчині, товщиною 380 мм; ефективний утеплювач – плити екструдованого пінополістиролу товщиною 250 мм; зовнішній шар – обштукатурена цементно-піщаним розчином товщиною 20 мм.

Стінова огорожа поетажно примикає до перфорованого монолітного перекриття товщиною 180 мм.

Схема стінової огорожі представлені на рис. 3.9.

Характеристики матеріалів конструкції стінової огорожі зведені в табл. 3.2.

Таблиця 3.3 – Характеристики матеріалів конструкції стінової огорожі

Матеріал	Щільність ρ , кг/м ³	Коефіцієнт теплопровідності λ_A , Вт/(м·°C)
1. Кладка з глиняної цегли звичайної ДСТУ Б В.2.7-61:2008 на цементно-піщаному розчині М100	1700	0,7
2. Плити екструдованого пінополістиролу	30	0,034
3. Залізобетон	2300	1,8
4. Протипожежна розсічка – мінераловатні плити	185	0,04
5. Світлопрозора огорожа $R = 0,71$ м ² ·°C/Вт	-	0,05

Елементи, що становлять огорожувальну конструкцію:

- а) стінова огорожа, що складається з двох шарів: цегла глиняна (380 мм), екструдований пінополістирол (250 мм) - плоский елемент (рис. 3.9.а);
- б) нижній віконний укіс - лінійний елемент 1 (рис. 3.9б);
- в) залізобетонна плита перекриття (180) - лінійний елемент 2 (рис.3.9.г);
- г) зв'язок діаметром 5 мм у стіновій огорожі - точковий елемент (рис. 3.9.д).

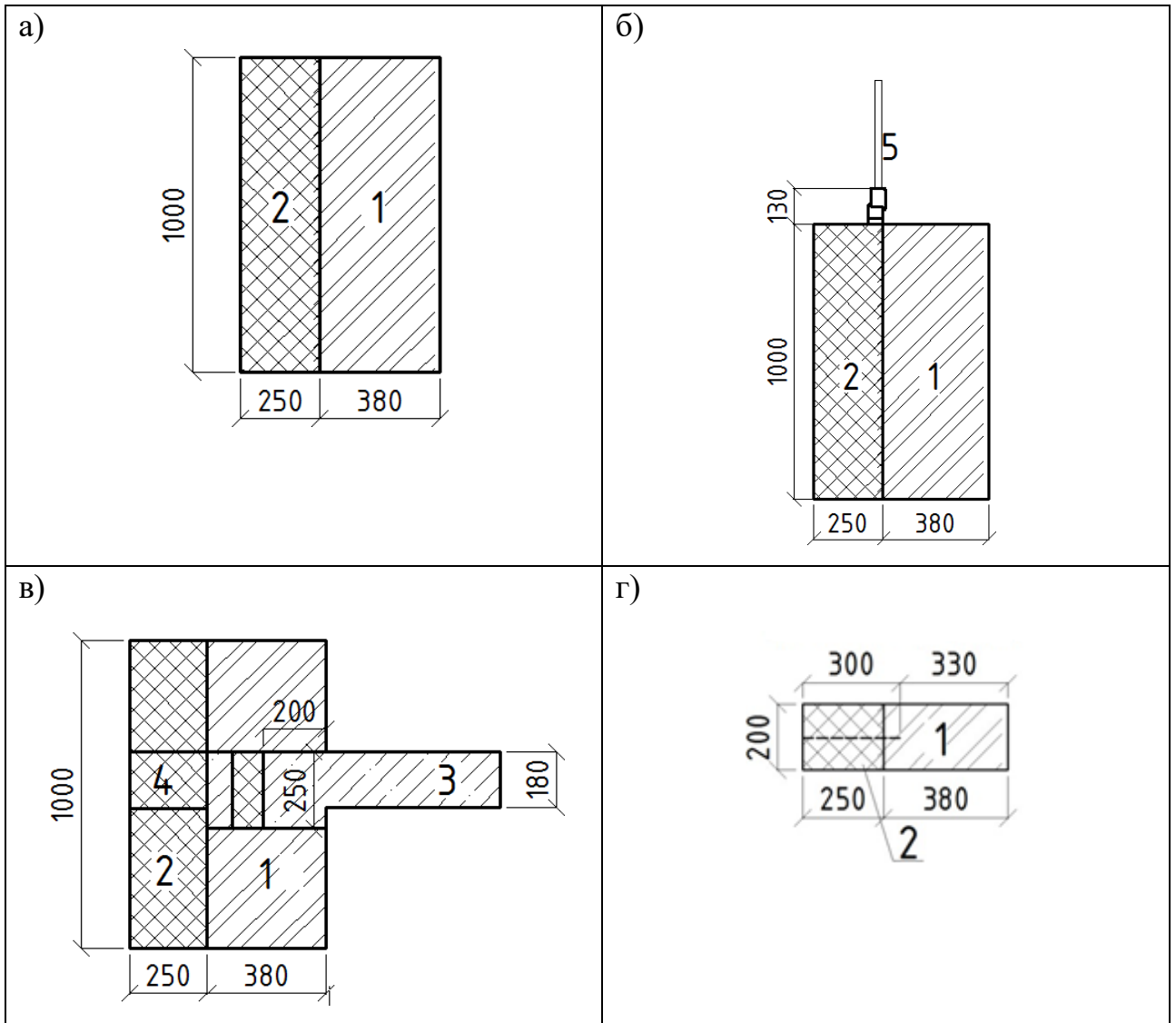


Рисунок 3.9 – Елементи, що становлять огорожувальну конструкцію

Геометричні характеристики проєкцій елементів:

- Площа поверхні фрагмента огорожувальної конструкції для розрахунку наведеного опору теплопередачі $R_0^{\text{необх}}$ становить – $S_{\text{ст.1}} = 62,638 \text{ м}^2$;
- Загальна довжина проєкції нижніх віконних укосів становить: $L_1 = 637,45 \text{ м}$. Довжина проєкції цих ребер, що припадають на 1 м^2 площі фрагмента дорівнює $l_1 = 5,072 / 62,638 = 0,081 \text{ м}^{-1}$;
- Загальна довжина плити перекриття становить: $L_2 = 9,5 \text{ м}$. Довжина проєкції перекриття, що припадають на 1 м^2 площі фрагмента дорівнює $l_2 = 9,5 / 62,638 = 0,15 \text{ м}^{-1}$;
- Загальна кількість зв'язків у стіновій огорожі дорівнює 176 шт. Кількість зв'язків, що припадають на 1 м^2 стіни дорівнює $n_1 = 176 / 62,638 = 2,81 \text{ м}^{-2}$.

Розрахунок питомих втрат теплоти, обумовлених елементами.

Всі температурні поля розраховуються для температури зовнішнього повітря мінус 25°C і температури внутрішнього повітря 21°C.

Умовний опір теплопередачі однорідної частини фрагмента теплозахисної оболонки будівлі визначимо за формулою:

$$R_o^{ym} = \frac{1}{\alpha_b} + \sum_S R_S + \frac{1}{\alpha_3};$$

- де α_b - коефіцієнт тепловіддачі внутрішньої поверхні огорожувальної конструкції, Вт/(м²·°C), що приймається згідно таблиці 3.3;

Таблиця 3.4 – Коефіцієнти тепловіддачі внутрішньої поверхні огорожувальної конструкції

Внутрішня поверхня огорожі	Коефіцієнт тепловіддачі α_b Вт/(м ² ·°C)
1. Стін, підлог, гладких стель, стель з ребрами, що виступають при відношенні висоти h ребер до відстані a , між гранями сусідніх ребер $h/a \leq 0.3$	8.7
2. Стель з виступаючими ребрами при ставленні $h/a > 0.3$	7.6
3. Вікон	8.0
4. Зенітних ліхтарів	9.9

- α_3 - коефіцієнт тепловіддачі зовнішньої поверхні огорожувальної конструкції, Вт/(м²·°C), який приймають згідно з таблицею 3.4;

Таблиця 3.5 – Коефіцієнти тепловіддачі зовнішньої поверхні огорожувальної конструкції

Зовнішня поверхня огорожувальних конструкцій	Коефіцієнт тепловіддачі для зимових умов, α_3 Вт/(м ² ·°C)
1. Зовнішніх стін, покриттів, перекриттів над проїздами і над	23

холодними (без огорожувальних стінок) підпіллями	
2. Перекриттів над холодними підвалами, що повідомляють зовнішнім повітрям, переkritтів над холодними (з огорожувальними стінками) підпіллями і холодними поверхами	17
3. Перекриттів горищних і над неопалюваними підвалами зі світловими прорізами в стінах, а також зовнішніх стін з повітряним прошарком, вентиляваним зовнішнім повітрям	12
4. Перекриттів над неопалювальними підвалами і технічними, підпіллями, не вентиляваними зовнішнім повітрям	6

- R_s - термічний опір шару однорідної частини фрагмента ($\text{м}^2 \cdot \text{°C}$)/Вт.

Коефіцієнт теплопередачі однорідної частини фрагмента теплозахисної оболонки будівлі визначимо за формулою:

$$U = \frac{1}{R_{o,i}^{ум}}$$

Визначимо питомі втрати теплоти для плаского елемента 1:

$$- R_{o1}^{ум} = 1/8,7 + 0,38/0,7 + 0,25/0,034 + 1/23 = 8,051 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт};$$

$$- U_1 = 1 / 8,051 = 0,124 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{°C}).$$

Для лінійного елемента 1 розраховується температурне поле вузла конструкції, що містить елемент. Температурне поле представлено на рис. 2.1.3.

Площа стіни, що увійшла до розрахункової ділянки $S_{1,1} = 1 \text{ м}^2$. Втрати теплоти через стіну з верхнім віконним відкосом, що увійшла до ділянки, за результатами розрахунку температурного поля дорівнюють $Q_{1L} = 15,768 \text{ Вт}/\text{м}$.

Втрати теплоти через ділянку однорідної стіни тієї ж площі визначається за формулою:

$$Q_{j,1} = \frac{t_B - t_3}{R_{o,j,1} \cdot 1_M} S_{j,1}$$

- де t_B – розрахункова температура внутрішнього повітря, °C ;
- t_3 – розрахункова температура зовнішнього повітря, °C ;
- $S_{j,1}$ – площі однорідних частин конструкції, що увійшли в розрахункову область при розрахунку температурного поля, м^2 .

Підставимо відомі значення у формулу, отримуємо:

$$Q_{1,1} = [21 - (-25)] / (8,051 \cdot 1) \cdot 1 = 5,713 \text{ Вт/м.}$$

Додаткові втрати теплоти через лінійний елемент 1 становлять:

$$\Delta Q_1^L = 15,768 - 5,713 = 10,055 \text{ Вт/м.}$$

Питомі лінійні втрати теплоти через лінійний елемент 1 визначаються за формулою:

$$\Psi_j = \frac{\Delta Q_j^L}{t_B - t_3}$$

- де t_B – розрахункова температура внутрішнього повітря, °С;
- t_3 – розрахункова температура зовнішнього повітря, °С;
- ΔQ_j^L – додаткові втрати теплоти через лінійну теплотехнічну неоднорідність j -го виду, що припадають на 1 пог.м, Вт/м.

Підставимо відомі значення у формулу, отримуємо:

$$\Psi_1 = \frac{10,055}{21 + 25} = 0,21 \text{ Вт/(м} \cdot \text{°С)}$$

Розрахунки питомих характеристик інших елементів проводяться аналогічно і зведені в табл. 3.6. Температурні поля елементів представлені на рис 3.10.

Таблиця 3.6 – Питомі характеристики елементів

Елемент фрагмента	Втрати теплоти через однорідну ділянку стіни	Втрати теплоти через однорідну ділянку	Питома втрата теплоти	Питома геометричність
Лінійний елемент 1 (мал. 3.9.б)	$Q_{1,1} = 8,051 \text{ Вт/м}$	$Q_1^L = 10,055 \text{ Вт/м}$	$\Psi_1 = 0,21 \text{ Вт/(м} \cdot \text{°С)}$	$l_1 = 0,081 \text{ м}^{-1}$
Лінійний елемент 2 (мал. 3.9.в)	$Q_{1,1} = 8,051 \text{ Вт/м}$	$Q_1^L = 8,52 \text{ Вт/м}$	$\Psi_1 = 0,008 \text{ Вт/(м} \cdot \text{°С)}$	$l_1 = 0,15 \text{ м}^{-1}$
Точковий елемент 1 (мал. 3.9.г)	$\bar{Q}_1 = 8,051 \text{ Вт/м}$	$Q_1 = 7,403 \text{ Вт}$	$\chi_1 = 0,006 \text{ Вт/°С}$	$n_1 = 2,81 \text{ м}^{-2}$

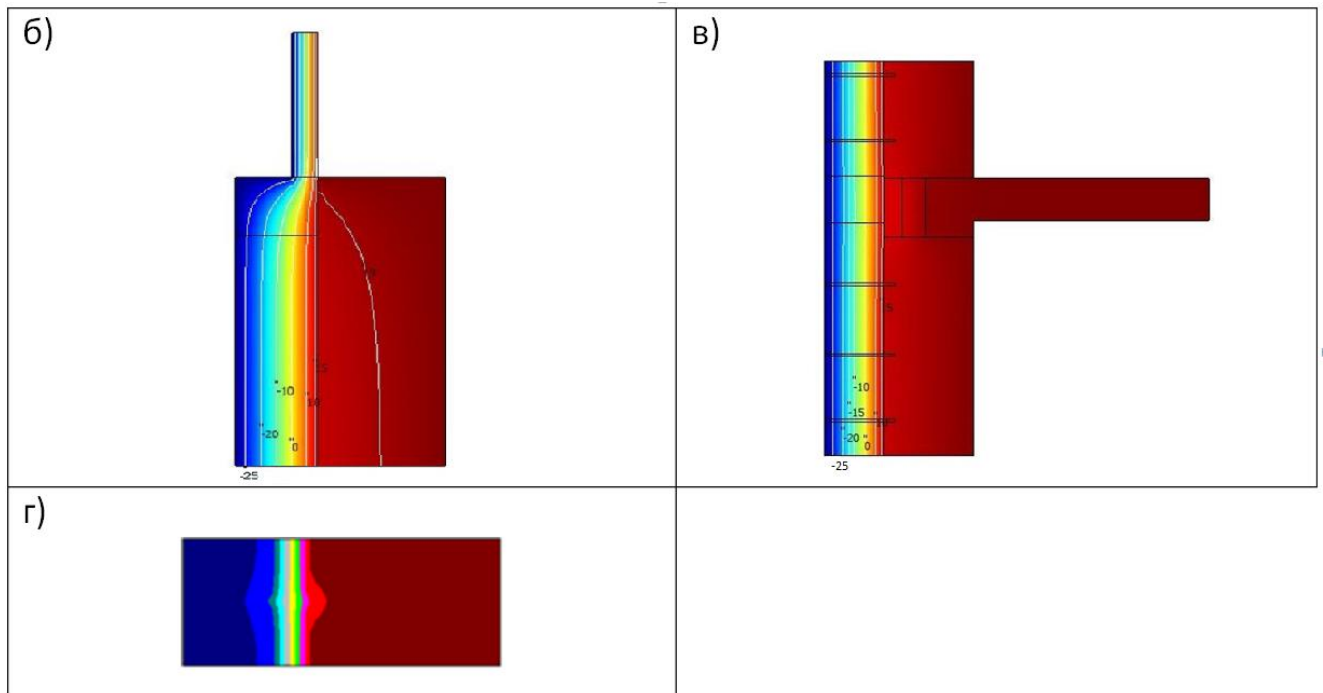


Рисунок 3.10 – розподіл ізотерм

Розрахунок наведеного опору теплопередачі стіни.

Дані зведено в табл. 3.7.

Таблиця 3.7 – Розрахунок наведеного опору теплопередачі стіни

Елемент конструкції	Питома геометричність	Питома втрата теплоти	Питома потік теплоти, обумовлений елементом	Частка загального потоку теплоти через фрагмент, %
Плоский елемент 1	$a_1 = 1,000$	$U_1 = 0,124$ Вт/(м ² ·°C)	$U_1 a_1 = 0,124$ Вт/(м ² ·°C)	81,04
Лінійний елемент 1	$l_1 = 0,081$ м ⁻¹	$\Psi_1 = 0,21$ Вт/(м·°C)	$\Psi_1 l_1 = 0,017$ Вт/(м ² ·°C)	7,84
Лінійний елемент 2	$l_1 = 0,15$ м ⁻¹	$\Psi_1 = 0,008$ Вт/(м·°C)	$\Psi_1 l_1 = 0,001$ Вт/(м ² ·°C)	0,65
Точковий елемент 1	$n_1 = 2,81$ м ⁻²	$\chi_1 = 0,006$ Вт/°C	$\chi_1 n_1 = 0,016$ Вт/(м ² ·°C)	10,47
Разом			$1/R_o^{\text{наб}} = 0,153$ Вт/(м ² ·°C)	100

Наведений опір теплопередачі стіни розраховується за формулою:

$$R_o^{\text{наб}} = \frac{1}{\frac{1}{R_o^{\text{ум}}} + \sum l_j \Psi_j + \sum n_k \chi_k}$$

- де $R_{o^{ум}}$ - усереднений за площею умовний опір теплопередачі фрагмента теплозахисної оболонки будівлі або виділеної огорожувальної конструкції, $м^2 \cdot ^\circ C / Вт$;
- l_j - протяжність лінійної неоднорідності j-го виду, що припадає на 1 м² фрагмента теплозахисної оболонки будівлі, або виділеної огорожувальної конструкції, м/м² ;
- Ψ_j - питомі втрати теплоти через лінійну неоднорідність j-го виду, Вт/(м·°C);
- n_k - кількість точкових неоднорідностей k-го виду, що припадають на 1 м² фрагмента теплозахисної оболонки будівлі, або виділеної огорожувальної конструкції, шт./м²;
- x_k - питомі втрати теплоти через точкову неоднорідність k -го виду, Вт/°C;

Розрахунок наведеного опору теплопередачі стіни виконаємо з використанням даних табл. 3.7. за формулою:

$$R_{ст.1}^{наб} = \frac{1}{0.153} = 6,53 \text{ м}^2 \cdot ^\circ C / Вт.$$

Коефіцієнт теплотехнічної однорідності, визначений за формулою:

$$r = \frac{R_o^{наб}}{R_o^{ум}}$$

- де $R_{o^{ум}}$ - усереднений за площею умовний опір теплопередачі фрагмента теплозахисної оболонки будівлі або виділеної огорожувальної конструкції, $м^2 \cdot ^\circ C / Вт$;
- $R_o^{наб}$ – наведений опір теплопередачі стіни.

Отримане значення $R_{ст.1}^{наб} = 6,53 \text{ м}^2 \cdot ^\circ C / Вт$ вище базового значення необхідного опору теплопередачі $R_{ст.1}^{пот} = 3,66 \text{ м}^2 \cdot ^\circ C / Вт$.

Температурний перепад між температурою внутрішнього повітря і температурою внутрішньої поверхні огорожувальної конструкції для житлових приміщень розрахуємо за формулою:

$$\Delta t_o = \frac{t_B - t_3}{R_o^{наб} \cdot a_B}$$

- де t_b – розрахункова температура внутрішнього повітря, °C;
- t_3 – розрахункова температура зовнішнього повітря, °C;
- $R_0^{\text{нав}}$ – наведений опір теплопередачі стіни;
- α_b – коефіцієнт тепловіддачі з таблиці 3.4.

Підставимо розрахункові значення у формулу, отримаємо:

$$\Delta t_o = \frac{21 + 25}{6.53 \cdot 8.7} = 0.8^\circ \text{C} < t_n = 4.0^\circ \text{C}.$$

Розглянута конструкція відповідає вимогам.

Наведений опір теплопередачі становить:

- $R_{\text{ст.1}}^{\text{нав}} = 6,53 \text{ м}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{Вт}.$

Площа цієї огорожувальної конструкції становить:

- по основній частині будівлі – $S_{\text{ст.1}} = 62,638 \text{ м}^2.$

3.2.4.2 Покриття поєднане

Характеристики матеріалів конструкції покриття мансарди:

1. Дерев'яна кроквяна система (в розрахунку не врахована);
2. Плити з кам'яної вати, $\rho = 185 \text{ кг / м}^3$, $\lambda_A = 0,04 \text{ Вт / (м} \cdot ^\circ\text{C)}$; $\delta = 0,25 \text{ м}$;
3. Пароізоляційна плівка (в розрахунку не врахована);
4. Дерев'яна рейка для створення провису плівки (в розрахунку не врахована);
5. Мембрана дифузійна (в розрахунку не врахована);
6. Контробрешітка для створення вентзазору (в розрахунку не врахована);
7. Крокова обрешітка $50 * 50 \text{ мм}$ (в розрахунку не врахована);
8. Композитна черепиця (в розрахунку не врахована);
9. Обрешітка під підшивку мансарди (у розрахунку не врахована);
10. Підшивку мансарди (в розрахунку не врахована).

За допомогою програмного комплексу COMSOL Multiphysics був проведений розрахунок даної конструкції і отримані наступні дані:

- Опір теплопередачі становить: $R_{\text{пок.1}} = 7,462 \text{ м}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{Вт}.$

- Площа даної огорожувальної конструкції складає: $S_{\text{пок.1}} = 173,408 \text{ м}^2$.

3.2.4.3 Підлога по ґрунту

Ця конструкція обмежує опалювальний обсяг будівлі.

Характеристики матеріалів конструкції:

1. Покриття підлоги (у розрахунку не враховувалося);
2. Бетонна конструкція фундаменту з влаштуванням системи обігріву підлоги, $\rho = 2300 \text{ кг/м}^3$, $\lambda_A = 1,75 \text{ Вт/(м}^\circ\text{C)}$; $\delta = 0,1 \text{ м}$;
3. Бетонна конструкція фундаменту під несучі стіни, $\rho = 2300 \text{ кг/м}^3$, $\lambda_A = 1,75 \text{ Вт/(м}^\circ\text{C)}$; $\delta = 0,3 \text{ м}$;
4. Утеплювач – екструзійний пінополістирол, $\rho = 30 \text{ кг/м}^3$, $\lambda_A = 0,034 \text{ Вт / (м}^\circ\text{C)}$, $\delta = 0,3 \text{ м}$;
5. Пароізоляція (в розрахунку не врахована);
6. Піщана подушка, $\rho = 1600 \text{ кг/м}^3$, $\lambda_A = 0,97 \text{ Вт / (м}^\circ\text{C)}$, $\delta = 0,3 \text{ м}$.
7. Опір теплопередачі цієї огорожувальної конструкції з урахуванням системи обігріву підлог, після розрахунку в програмному комплексі COMSOL-Multiphysics, дорівнює:

- $R_o = 7,588 \text{ м}^2 \cdot ^\circ\text{C/Вт}$.

Отримане значення опору теплопередачі:

- $R_{o, \text{цок}} = 7,588 \text{ м}^2 \cdot ^\circ\text{C/Вт}$, більше нормативного $R^{\text{нр}}_{\text{цок}} = 3,30 \text{ м}^2 \cdot ^\circ\text{C/Вт}$.

Розглянута конструкція відповідає вимогам.

Температурний перепад між температурою внутрішнього повітря і температурою внутрішньої поверхні огорожувальної конструкції за формулою становить:

$$\Delta t_o = \frac{21 + 25}{7.58 \cdot 8.7} = 0.697^\circ \text{ C} < \Delta t_n = 2.0^\circ \text{ C}.$$

Опір теплопередачі становить:

- $R_{o, \text{цок}} = 7,588 \text{ м}^2 \cdot ^\circ\text{C/Вт}$.

Площа цієї огорожувальної конструкції:

- $S_{\text{цок}} = 84,092 \text{ м}^2$.

3.2.4.4 Світлопрозорі конструкції

Вікна виконані (за ДСТУ EN 14351-1:2020 Вікна та двері. Вимоги.) блоками з полівінілхлоридних профілів із заповненням двокамерним склопакетом, мають наведений опір теплопередачі $R_{\text{ок}}^{\text{нав}} = 0,71 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$.

Площа цієї огорожувальної конструкції:

- $S_{\text{ок}} = 25,277 \text{ м}^2$.

3.2.4.5 Вхідні двері

У проекті закладено сталеві вхідні двері модель «Ufo», виробництва ООО «АВВЕНН» м.Антрацит, має наведений опір теплопередачі $2,434 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$, що перевищує потрібний опір теплопередачі, дорівнюваємий $2,248 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$ відповідно до ДБН В.2.6-31:2021 (Теплова ізоляція та енергоефективність будівель): $S_{\text{дв.1}} = 2,1 \text{ м}^2$.

3.2.5 Розрахунок питомої витрати теплової енергії на опалення будівлі

3.2.5.1. Питома теплозахисна характеристика будівлі

Питома теплозахисна характеристика будівлі розраховується за формулою:

$$k_{\text{оболонки}} = \frac{1}{V_{\text{оп}}} \cdot \sum (n_{t,i} \cdot \frac{S_{\text{фр},i}}{R_{o,i}^{\text{нав}}})$$

- де $V_{\text{оп}}$ – опалювальний обсяг будівлі, м^3 ;
- $R_{o,i}^{\text{нав}}$ - наведений опір теплопередачі і-го фрагмента теплозахисної оболонки будівлі, $(\text{м}^2 \cdot \text{°C})/\text{Вт}$;
- $S_{\text{фр},i}$ – площа відповідного фрагмента теплозахисної оболонки будівлі, м^2 ;
- $n_{t,i}$ – коефіцієнт, що враховує відмінність внутрішньої або зовнішньої температури у конструкції від прийнятих у розрахунку ГДОП, визначається за формулою;

$$n_{t,i} = \frac{t_{\text{в.жил}}^* - t_{\text{оп}}^*}{t_{\text{в.жил}} - t_{\text{оп}}}$$

- де розрахункова температура внутрішнього повітря жил. частини $t_{\text{в.жил}} = 21$ °С;
- середня добова температура опалювального періоду $t_{\text{оп}} = -1.6$ °С;
- отримуємо:

$$n_{t,i} = \frac{21 + 1.6}{21 + 1.6} = 1$$

Підставляємо розрахункові значення у формулу, отримуємо:

$$k_{\text{оболонки}} = \frac{1}{429.536} \cdot [8,961 + 23,239 + 11,082 + 16,413 + 0,863] = \frac{60.558}{429.536} = 0,14$$

Вт/(м³·°С).

Деталі розрахунку зведені в таблицю 3.8.

Таблиця 3.8 – Дані для розрахунку питомої теплозахисної характеристики будівлі

Найменування фрагмента	$n_{t,i}$	$S_{\text{ф},i}$, м ²	$R_{\text{о},i}^{\text{нав}}$ м ² ·°С/В т	$n_{t,i} \cdot S_{\text{ф},i} /$ $R_{\text{о},i}^{\text{нав}}$, Вт/°С	%
Стінова огорожа	1	62,638	6,530	8,961	14,79
Покриття (суміщене)	1	173,408	7,462	23,239	38,37
Підлога на ґрунті	1	84,092	7,588	11,082	18,29
Окна	1	25,277	1,540	16,413	27,10
Вхідні двері	1	2,1	2,434	0,863	1,45
Разом		347,515		60,558	100

Нормоване значення питомої теплозахисної характеристики будівлі визначається за формулою:

$$k_{\text{об}}^{\text{внт}} = \frac{0.16 + \frac{10}{\sqrt{V_{\text{оп}}}}}{0.00013 \cdot D_d \cdot 0.61}$$

- де $V_{\text{оп}}$ – опалювальний обсяг будівлі, м³;

- D_d – градусо-доба опалювального періоду, °С·доб/рік, для конкретного пункту.

Підставимо розраховані значення у формулу, отримаємо:

$$k_{об}^{вит} = \frac{0.16 + \frac{10}{\sqrt{429.536}}}{0.00013 \cdot 4068 \cdot 0.61} = \frac{0.64}{1.13} = 0.561 \text{ Вт}/(\text{м}^3 \cdot \text{°С}).$$

Питома теплозахисна характеристика менше нормованої величини, отже, оболонка задовольняє нормативним вимогам.

Наведений трансмісійний коефіцієнт обчислимо за формулою:

$$k_{заг} = \frac{k_{оболонки}}{k_{компактності}}$$

- де $k_{об}$ – питома теплозахисна характеристика будівлі, Вт/(м³·°С);
- $k_{комп}$ – коефіцієнт компактності будівлі, м⁻¹, що визначається за формулою;

$$k_{комп} = \frac{S_3^{сум}}{V_{оп}}$$

- Підставимо данні;

$$k_{комп} = \frac{437,876}{429,536} = 1,01 \text{ м}^{-1};$$

- Розрахунковий показник компактності будівлі $k_{комп}$ для житлових будинків (будинків) як правило не повинен перевищувати наступних значень:
 - 0,25 для будівель 16 поверхів і вище;
 - 0,29 для будівель від 10 до 15 поверхів включно;
 - 0,32 для будівель від 6 до 9 поверхів включно;
 - 0,36 для 5-поверхових будівель;
 - 0,43 для 4-поверхових будівель;
 - 0,54 для 3-поверхових будівель;
 - 0,61; 0,54; 0,46 для дво-, три- і чотирповерхових блокованих і секційних будинків відповідно;

- 1,0 для двоповерхових та одноповерхових будинків з мансардою;
- 1,1 для одноповерхових будинків.
- Визначимо наведений трансмісійний коефіцієнт;

$$k_{\text{заг}} = \frac{0,14}{1,01} = 0,1386 .$$

3.2.5.2. Питома вентиляційна характеристика будівлі

Питома вентиляційна характеристика будівлі розраховується за формулою:

$$k_{\text{вент}} = 0,28 \cdot c \cdot n_{\text{в}} \cdot \beta_{\text{в}} \cdot \rho_{\text{в}}^{\text{вент}} \cdot (1 - k_{\text{эф}})$$

1. Де $c = 1 \text{ кДж}/(\text{кг} \cdot ^\circ\text{C})$ – питома теплоємність повітря.
2. $\beta_{\text{в}}$ – коефіцієнт зниження обсягу повітря в будівлі, що враховує наявність внутрішніх огорожувальних конструкцій. За відсутності даних приймати $\beta_{\text{в}} = 0,85$.
3. $\rho_{\text{в}}^{\text{вент}}$ – середня щільність припливного повітря за опалювальний період, $\text{кг}/\text{м}^3$, визначається за формулою:

$$\rho_{\text{в}}^{\text{вент}} = 353/(273 + t_{\text{он}}) = 353/(273 - 1,6) = 1,30;$$

- а) середня добова температура опалювального періоду $t_{\text{он}} = -1,6^\circ\text{C}$.
4. $n_{\text{н}}$ – середня кратність повітрообміну будівлі за опалювальний період, ч^{-1} , що визначається за формулою:

$$n_{\text{н}} = [(L_{\text{вент}} \cdot n_{\text{вент}})/168 + (G_{\text{инф}} \cdot n_{\text{инф}})/(168 \cdot \rho_{\text{в}}^{\text{вент}})] / (\beta_{\text{в}} \cdot V_{\text{оп}})$$

5. Де $L_{\text{вент}}$ – кількість припливного повітря в будівлю при неорганізованому притоці або нормоване значення при механічній вентиляції, $\text{м}^3/\text{год}$, визначається за формулою:

$$L_{\text{вент}} = 3 \cdot S_{\text{ж}} = 3 \cdot 76,17 = 228,51 \text{ м}^3/\text{ч};$$

- а) площа житлових приміщень – $S_{\text{ж}} = 76,17 \text{ м}^2$.
6. $n_{\text{вент}}$ – кількість годин роботи механічної вентиляції протягом тижня;
7. 168 – кількість годин на тиждень;
8. $G_{\text{инф}}$ – кількість повітря, що інфільтрується в будівлю через огорожувальні

конструкції, кг/год, визначається за формулою:

$$G_{\text{інф}} = (S_{\text{ок}}/R_{\text{і,ок}}^{\text{пот}}) \cdot (\Delta p_{\text{ок}}/10)^{2/3} + (S_{\text{дв}}/R_{\text{і,дв}}^{\text{пот}}) \cdot (\Delta p_{\text{дв}}/10)^{1/2}$$

9. Де $S_{\text{ок}}$ та $S_{\text{дв}}$ – відповідно сумарна площа вікон, балконних дверей та вхідних зовнішніх дверей, м² ($S_{\text{ок}} = 25,277$ м², $S_{\text{дв}} = 2,1$ м²);

10. $R_{\text{і,ок}}^{\text{пот}}$ та $R_{\text{і,дв}}^{\text{пот}}$ – відповідно необхідний опір повітропрониканню вікон та балконних дверей і вхідних зовнішніх дверей, (м²·ч)/кг, обчислюється за формулами відповідно:

$$R_{\text{і,ок}}^{\text{пот}} = \Delta p_{\text{ок}} / G_{\text{н}} = 12,03 / 5 = 2,4 \text{ м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па} / \text{кг};$$

$$R_{\text{і,дв}}^{\text{пот}} = \Delta p_{\text{дв}} / G_{\text{н}} = 16,6 / 7 = 2,37 \text{ м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па} / \text{кг}.$$

а) $\Delta p_{\text{ок}}$ и $\Delta p_{\text{дв}}$ - відповідно розрахункова різниця тисків зовнішнього і внутрішнього повітря, Па, обчислюється за формулами відповідно:

$$\Delta p_{\text{ок}} = 0,28 \cdot H \cdot (\gamma_{\text{з}} - \gamma_{\text{в}}) + 0,03 \gamma_{\text{з}} \cdot v^2$$

$$\Delta p_{\text{дв}} = 0,55 \cdot H \cdot (\gamma_{\text{з}} - \gamma_{\text{в}}) + 0,03 \gamma_{\text{з}} \cdot v^2$$

б) де $\gamma_{\text{з}} = 3463 / (273 - 10) = 13,1$ Н/м³;

в) $\gamma_{\text{в}} = 3463 / (273 + 5) = 12,5$ Н/м³;

г) γ – питома вага відповідно зовнішнього і внутрішнього повітря, Н/м³, визначений за формулою:

$$\gamma = 3463 / (273 + t)$$

- $t_{\text{в,ок}}$ – температура повітря внутрішнього;
- $t_{\text{з,5-ти}}$ – температура повітря зовнішнього приймається рівній середній температурі найбільш холодної п'ятиденки;
- е) H – висота будівлі (від рівня підлоги першого поверху до верху витяжної шахти), м;
- ф) v – максимальна із середніх швидкостей вітру по румбах за січень, повторюваність яких становить 16% і більше;
- г) нормовану поперечну повітропроникність $G_{\text{н}}$, кг/(м · г), огорожувальних конструкцій будівель слід приймати по таблиці 3.9.

Таблиця 3.9 – Нормована поперечна повітропроникність огорожувальних конструкцій

Огороджувальні конструкції	Поперечна повітропроникність G_n , кг/($m^2 \cdot$ год), не більше
1 Зовнішні стіни, перекриття та покриття житлових, громадських, адміністративних та побутових будівель і приміщень	0,5
2 Зовнішньоєстінові, перекриття та покриття виробничих будівель та приміщень	1,0
3 Стики між панелями зовнішніх стін: а) житлових будівель б) виробничих будівель	0,5* 1,0*
4 Вхідні двері в квартири	1,5
5 Вхідні двері в житлові, громадські та побутові іздання	7,0
6 Вікна та балконні двері житлових, громадських та побутових будівель і приміщень з дерев'яними переплетами; вікна та ліхтарі виробничих будівель з кондиціонуванням повітря	6,0
7 Вікна та балконні двері житлових, громадських та побутових будівель і приміщень з пластмасовими або алюмінієвими переплетами	5,0
8 Вікна, двері та ворота виробничих будівель	8,0
9 Ліхтарі виробничих будівель	10,0
10 Вікна та ліхтарі виробничих будівель з кондиціонуванням повітря	6,0
* Вкг/м·год	

h) підставимо розраховані значення у формули відповідно, отримуємо:

$$\Delta p_{\text{ок}} = 0,28 \cdot 28,4 \cdot (13,1 - 12,5) + 0,03 \cdot 13,1 \cdot 4,3^2 = 12,03 \text{ Па};$$

$$\Delta p_{\text{дв}} = 0,55 \cdot 28,4 \cdot (13,1 - 12,5) + 0,03 \cdot 13,1 \cdot 4,3^2 = 16,6 \text{ Па};$$

11. Підставляємо значення у формулу, отримуємо:

$$G_{\text{інф}} = (25,277/2,4) \cdot (12,03/10)^{2/3} + (2,1/2,37) \cdot (16,6/10)^{1/2} = 13,05 \text{ кг/год};$$

- $n_{\text{інф}}$ - кількість годин обліку інфільтрації протягом тижня, год;

12. Підставляємо значення у формулу, отримуємо:

$$n_{\text{п}} = [(228,51 \cdot 168)/168 + (13,05 \cdot 168)/(168 \cdot 1,3)] / (0,85 \cdot 429,536) = 0,65 \text{ год}^{-1}.$$

13. Підставляємо значення у формулу, отримуємо:

$$k_{\text{вент}} = 0,28 \cdot 1 \cdot 0,65 \cdot 0,85 \cdot 1,3 \cdot (1 - 0) = 0,201 \text{ Вт}/(\text{м}^3 \cdot \text{°C})$$

- $k_{\text{еф}} = 0$ – коефіцієнт ефективності рекуператора.

3.2.5.3. Питома характеристика побутових тепловиділень будівлі

Питома характеристика побутових тепловиділень будівлі розраховується за формулою:

$$k_{\text{побут}} = \frac{q_{\text{побут}} \cdot S_{\text{ж}}}{V_{\text{оп}} \cdot (t_{\text{в}} - t_{\text{оп}})}$$

- де $q_{\text{побут}} = 17 \text{ Вт}/\text{м}^2$, тут менше 20 м^2 на людину - розрахункова заселеність об'єкта;
- $V_{\text{оп}}$ – опалювальний обсяг будівлі, м^3 ;
- розрахункова температура внутрішнього повітря жил. частини $t_{\text{в.жил}} = 21 \text{ °C}$;
- середня добова температура опалювального періоду $t_{\text{оп}} = -1,6 \text{ °C}$;
- площа житлових приміщень – $S_{\text{ж}} = 76,17 \text{ м}^2$.

Підставимо значення у формулу, отримаємо:

$$k_{\text{побут}} = \frac{17 \cdot 76.17}{429.536 \cdot (21 + 1.6)} = 0.133 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^3 \cdot \text{°C}}$$

3.2.5.4. Питома характеристика теплонадходжень до будівлі від сонячної радіації

1. Питома характеристика теплонадходжень в будівлю від сонячної радіації розраховується за формулою:

$$k_{\text{рад}} = \frac{11,6 \cdot Q_{\text{рад}}^{\text{рік}}}{V_{\text{оп}} \cdot D_d}$$

2. де $V_{\text{оп}}$ – опалювальний обсяг будівлі, м³;
3. D_d – (ГДОП) градусо-доба опалювального періоду, °С·доб/рік, для конкретного пункту;
4. $Q_{\text{рад}}^{\text{рік}}$ – теплонадходження через вікна та ліхтарі від сонячної радіації протягом опалювального періоду, МДж/рік, для чотирьох фасадів будівель, орієнтованих за чотирма напрямками, що визначаються за формулою:

$$Q_{\text{рад}}^{\text{рік}} = \tau_{\text{F}} \cdot k_{\text{F}} (S_{\text{F1}} I_1 + S_{\text{F2}} I_2 + S_{\text{F3}} I_3 + S_{\text{F4}} I_4) + \tau_{\text{scy}} k_{\text{scy}} S_{\text{scy}} I_{\text{hor}}$$

- τ_{F} та τ_{scy} – коефіцієнти відносного проникання сонячної радіації для світлопропускних заповнень відповідно вікон і zenітних ліхтарів, що приймаються за паспортними даними відповідних світлопропускаючих виробів; за відсутності даних слід приймати за табл. 3.10; мансардні вікна з кутом нахилу заповнень до горизонту 45 ° і більше слід вважати як вертикальні вікна, з кутом нахилу менше 45 ° – як zenітні ліхтарі;
- k_{F} та k_{scy} – коефіцієнти, що враховують затінення світлового отвору відповідно вікон і zenітних ліхтарів непрозорими елементами заповнення, що приймаються за проектними даними; за відсутності даних слід приймати за табл. 3.10;
- S_{Fi} – площа світлових отворів фасадів будівлі (глуха частина балконних дверей виключається), відповідно орієнтованих за чотирма напрямками, м²;

- I_i – середня за опалювальний період інтенсивність сонячної радіації на вертикальну поверхню світлових отворів, відповідно орієнтованих по чотирьох фасадах будівлі, кВт· год/м². Приймається за табл. 3.11 як сума величин за місяцями за опалювальний період;
- S_{scy} – площа світлових отворів zenітних ліхтарів будівлі, м²;
- I_{hor} – середня за опалювальний період інтенсивність сонячної радіації на горизонтальну поверхню кВт· год/м². Приймається за табл. 3.11 як сума величин за місяцями за опалювальний період.

Таблиця 3.10 – Значення коефіцієнта затінення світового отвору τ_F та τ_{scy} та відносного проникнення сонячної радіації k_F та k_{scy} відповідно вікон і zenітних ліхтарів

Заповнення світового отвору	Коефіцієнти τ_F та τ_{scy} ; k_F та k_{scy}			
	В дерев'яних або пластмасових переплетах		у металевих переплетах	
	τ_F та τ_{scy}	k_F та k_{scy}	τ_F та τ_{scy}	k_F та k_{scy}
1. Двошарове скління з тепловідбиваючим покриттям на внутрішньому склі: - двошарові склопакети в одинарних переплетах	0,8	0,57	0,9	0,57
- подвійне скління в спарених переплетах	0,75	0,57	0,85	0,57
- подвійне скління в роздільних переплетах	0,65	0,57	0,8	0,57
2. Потрійне скління в роздільно-спарених переплетах	0,5	0,83	0,7	0,83
3. Двошарові склопакети і одинарне скління в роздільних переплетах	0,75	0,83	-	-

Таблиця 3.11 – Інтенсивність сумарної (прямої і розсіяної) сонячної радіації на горизонтальну і вертикальні поверхні при дійсних умовах хмарності, кВт·ч/ м²

Місяць	Горизонтальна поверхня	Вертикальні поверхні з орієнтацією на				
		ПН	ПН-С/ ПН-З	С/З	ПД-С/ПД-З	Південь
IX	80	-	31	60	90	100
X	37	-	13	33	66	83
XI	16	-	-	17	43	59
XII	9	-	-	9	25	41
I	16	-	-	15	45	61
II	36	-	-	31	65	87
III	75	-	21	53	89	108
IV	108	18	39	80	98	106
За опалювальний період	288	12	71	232	429	551

5. Підставимо значення, отримаємо:

$$Q_{\text{рад}}^{\text{рік}} = 0,8 \cdot 0,68 \cdot (5,768 \cdot 1200 + 10,996 \cdot 1808 + 8,517 \cdot 1200) + 0 = 20140,386 \text{ МДж.}$$

6. Знайдемо $k_{\text{рад}}$:

$$k_{\text{рад}} = \frac{11,6 \cdot 20140,386}{429,536 \cdot 4068} = 0,1337 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^3 \cdot \text{°C}}.$$

3.2.5.5. Розрахункова питома характеристика витрати теплової енергії на опалення та вентиляцію будівлі за опалювальний період

Розрахункова питома характеристика витрати теплової енергії на опалення та вентиляцію будівлі за опалювальний період розраховується за формулою:

$$q_{\text{оп}}^p = [k_{\text{об}} + k_{\text{вент}} - (k_{\text{побут}} + k_{\text{рад}}) \cdot v \cdot \xi] \cdot (1 - \zeta) \cdot B_h$$

- де $k_{\text{об}}$ – питома теплозахисна характеристика будівлі, Вт/(м³·°C);

- $k_{\text{рад}}$ – питома характеристика теплонадходжень в будівлю від сонячної радіації;
- $k_{\text{вент}}$ – питома вентиляційна характеристика будівлі;
- $k_{\text{побут}}$ – питома характеристика побутових тепловиділень будівлі;
- $\nu = 0,7 + 0,000025 \cdot (\text{ГСОП} - 1000) = 0,674$ – коефіцієнт зниження теплонадходжень за рахунок теплової інерції огорожувальних конструкцій;
- β_h – коефіцієнт, що враховує додаткове теплоспоживання системи опалення, $\beta_h = 1,05$;
- ζ – коефіцієнт, що враховує зниження теплоспоживання житлових будівель, $\zeta = 0.1$;
- ξ – коефіцієнт ефективності авторегулювання подачі теплоти в системах опалення, $\xi = 0.95$.

$$q_{\text{оп}}^p = [0,14 + 0,201 - (0.133 + 0.1337) \cdot 0,674 \cdot 0.1] \cdot (1 - 0.1) \cdot 1,0 = 0.161 \text{ Вт}/(\text{м}^3 \cdot \text{оС})$$

Отримана розрахункова питома характеристика витрати теплової енергії на опалення та вентиляцію будівлі за опалювальний період менше $0,290 \text{ Вт}/(\text{м}^3 \cdot \text{оС})$ – величини, необхідної.

Знайдемо величину відхилення розрахункового значення питомої витрати теплової енергії на опалення та вентиляцію будівлі від нормативної за формулою:

$$\frac{(q_{\text{оп}}^p - q_{\text{оп}}^{\text{нот}})}{\left(\frac{q_{\text{оп}}^{\text{нот}}}{100}\right)} = \frac{(0.161 - 0,456)}{\left(\frac{0,456}{100}\right)} = -64,69 \%$$

- де $q_{\text{оп}}^{\text{нот}}$ – нормована питома характеристика витрати теплової енергії на опалення та вентиляцію будівель, $\text{Вт}/(\text{м}^3 \cdot \text{оС})$, що визначається для різних типів житлових і громадських будівель по таблиці 3.12.

Таблиця 3.12 – $q_{\text{оп}}^{\text{нот}}$

Площа будівлі, м^2	З числом поверхів			
	1	2	3	4

50	0,579	-	-	-
100	0,517	0,558	-	-
150	0,455	0,496	0,538	-
250	0,414	0,434	0,455	0,476
400	0,372	0,372	0,393	0,414
600	0,359	0,359	0,359	0,372
1000 і більше	0,336	0,336	0,336	0,336

Порівнюють отримане значення розрахункової питомої характеристики витрати теплової енергії на опалення та вентиляцію будівлі з нормованою (базовою), $q_{оп}^{пот}$, Вт/(м³·°С), по таблиці 3.13.

Таблиця 3.13 – позначення класів енергоефективності будівлі

Позначення класу	Найменування класу	Величина відхилення витрати теплової енергії на опалення та вентиляцію будівлі від нормованого, %
A++	Дуже високий	Нижче -60
A+		От -50 до -60 включно
A		От -40 до -50 включно
B+	Високий	От -30 до -40 включно
B		От -15 до -30 включно
C+	Нормальний	От -5 до -15 включно
C		От +5 до -5 включно
C-		От +15 до +5 включно

Розрахункове значення питомої характеристики витрати теплової енергії на опалення та вентиляцію будівлі має бути меншим від нормованого значення.

Проектована будівля належить до «А++» класу енергозбереження, який встановлюють для новозбудованих і реконструйованих будівель на стадії розробки проектної документації. Розробка додаткових заходів щодо підвищення класу енергозбереження будівлі не потрібна.

3.2.5.6. Витрата теплової енергії на опалення та вентиляцію будівлі за опалювальний період

Витрата теплової енергії на опалення та вентиляцію будівлі за опалювальний період $Q_{оп}^{рік}$ кВт·год/рік, визначається за формулою:

$$Q_{оп}^{рік} = 0,024 \cdot D_d \cdot V_{оп} \cdot q_{оп}^p$$

- де $q_{оп}^p$ – розрахункова питома характеристика витрати теплової енергії на опалення та вентиляцію будівлі за опалювальний період
- $V_{оп}$ – опалювальний обсяг будівлі, м³;
- D_d – (ГДОП) градусо-доба опалювального періоду, °С·доб/рік, для конкретного пункту.

Підставимо розрахункові значення у формулу, отримаємо:

$$Q_{оп}^{рік} = 0,024 \cdot 4068 \cdot 429.536 \cdot 0.161 = 6751 \text{ кВт} \cdot \text{год/рік}$$

3.2.5.7. Загальні тепловтрати будівлі за опалювальний період

Загальні тепловтрати будівлі за опалювальний період $Q_{заг}^{рік}$ кВт·год/рік, визначається за формулою:

$$Q_{заг}^{рік} = 0,024 \cdot D_d \cdot V_{оп} \cdot k_{об} + k_{вент}$$

- де $V_{оп}$ – опалювальний обсяг будівлі, м³;
- D_d – (ГДОП) градусо-доба опалювального періоду, °С·доб/рік, для конкретного пункту;
- де $k_{об}$ – питома теплозахисна характеристика будівлі, Вт/(м³·°С);
- $k_{вент}$ – питома вентиляційна характеристика будівлі.

Підставимо розрахункові значення у формулу, отримаємо:

$$Q_{заг}^{рік} = 0,024 \cdot 4068 \cdot 429.536 \cdot 0.14 + 0.201 = 14300 \text{ кВт} \cdot \text{год/рік}.$$

3.2.5.8. Питома витрата теплової енергії на опалення та вентиляцію будівлі за опалювальний період

Питома витрата теплової енергії на опалення та вентиляцію будівлі за опалювальний період q , кВт·год/(м²·рік), визначається за формулою:

$$q = \frac{Q_{\text{оп}}^{\text{рік}}}{S_{\text{оп}}}$$

- де $S_{\text{оп}}$ – площа опалювальної частини будівлі, м²;
- $Q_{\text{заг}}^{\text{рік}}$ – загальні тепловтрати будівлі за опалювальний період, кВт·год/рік.

Підставимо розрахункові значення у формулу, отримаємо:

$$q = \frac{14.300}{161,97} = 88,28 \text{ (кВт} \cdot \text{год)/(м}^2 \cdot \text{рік)}.$$

На підставі вище розрахованих даних, складено енергетичний паспорт проекту.

3.3 Енергетичний паспорт

Таблиця 3.14 – Загальна інформація

Дата заповнення (число, місяць, рік)	Листопад 2022 р.
Адреса будівлі	м. Сєвєродонецьк
Розробник проекту	Шевердін О.М.
Адреса і телефон розробника	м. Сєвєродонецьк
Шифр проекту	—
Призначення будівлі, серія	Малоповерховий житловий будинок
Поверховість, кількість секцій	2 поверхи
Кількість квартир	1
Розрахункова кількість жителів або	4
Розміщення в забудові	Окремо стояче
Конструктивне рішення	Цегляна

Таблиця 3.15 – Розрахункові умови

Найменування розрахункових параметрів	Позначення параметра	Одиниця вимірювання	Розрахункове значення
1 Розрахункова температура зовнішнього повітря для проектування теплозахисту	t_z	°С	-25
2 Середня температура зовнішнього повітря за опалювальний період	$t_{\text{оп}}$	°С	-1,6

3 Тривалість опалювального періоду	$z_{оп}$	доб/рік	180
4 Градусо-доба опалювального періоду	$D_d(ГДОП)$	°С·доб/рік	4068
5 Розрахункова температура внутрішнього повітря для проектування теплосистеми	$t_{в}$	°С	21
6 Розрахункова температура горища	$t_{гор}$	°С	18

Таблиця 3.16 – Показники геометричні

Показник	Позначення та одиниця вимірювання	Розрахункове проектне значення	Фактичне значення
8 Сума площ поверхів будівлі	$S_{оп}, м^2$	161,97	
9 Площа житлових приміщень	$S_{ж}, м^2$	76,17	
10 Розрахункова площа (громадських будівель)	$S_{р}, м^2$	-	
11 Опалювальний обсяг	$S_{оп}, м^3$	429,536	
12 Коефіцієнт скління фасаду будівлі	f	0,098	
13 Показник компактності будівлі	$K_{комп}$	1,01	
14 Загальна площа зовнішніх огорожувальних конструкцій будівлі, в тому числі:	$S_3 сум, м^2$	437,876	
фасадів	$S_{фас}$	264,468	
стін	$S_{ст}$	231,775	
вікон і балконних дверей	$S_{ок1}$	25,277	
вітражів	$S_{ок2}$	-	
ліхтарів	$S_{ок3}$	-	
вікон сходово-ліфтових вузлів	$S_{ок4}$	-	
вікон обабіч світла:			
північ		-	
схід		5,766	
південь		10,996	
захід		8,515	
балконних дверей зовнішніх переходів	$S_{дв}$	-	
вхідних дверей і воріт (роздільно)	$S_{дв}$	7,412	
покриття (суміщених)	$S_{покр}$	173,408	
горищних перекриттів	$S_{гор}$	-	
перекриттів «теплих» горищ (еквівалентна)	$S_{гор.т}$	-	
перекриттів над технічними підпіллями або над неопалювальними підвалами (еквівалентна)	$S_{цок1}$	-	
перекриттів над проїздами або під еркерами	$S_{цок2}$	-	
стін у землі і підлоги по ґрунту (роздільно)	$S_{цок3}$	84,092	

Таблиця 3.17 – Показники теплотехнічні

Показник	Позначення та одиниця вимірювання	Нормоване значення	Розрахункове проектне значення	Фактичне значення
15 Наведений опір теплопередачі зовнішніх огорож, у тому числі:	$R_{пр}^o$ $м^2 \cdot ^\circ C / Вт$			
стін	$R_{o,ст}^{нав}$	2,31	6,53	
вікон і балконних дверей	$R_{o,окл}^{нав}$	0,68	0,71	
вхідних дверей і воріт (роздільно)	$R_{o,дв}^{нав}$	0,8	2,434	
покриття (суміщених)	$R_{o,покр}^{нав}$	5,43	7,46	
стін у землі і підлоги по ґрунту (роздільно)	$R_{o,цокз}^{нав}$	4,8	7,588	

Таблиця 3.18 – Показники допоміжні

Показник	Позначення показника та одиниці вимірювання	Нормоване значення показника	Розрахункове проектне значення показника
16 Загальний коефіцієнт теплопередачі будівлі	$K_{заг}, Вт/(м^2 \cdot ^\circ C)$		0,184
17 Середня кратність повітрообміну будівлі за опалювальний період при питомій нормі повітрообміну	$n_v, год^{-1}$		0,65
18 Питомі побутові тепловиділення в будівлі	$q_{побут}, Вт/м^2$		17

Таблиця 3.19 – Питомі характеристики

Показник	Позначення показника та одиниці вимірювання	Нормоване значення показника	Розрахункове проектне значення показника
20 Питома теплозахисна характеристика будівлі	$k_{об}, Вт/(м^3 \cdot ^\circ C)$	0,44	0,14
21 Питома вентиляційна характеристика будівлі	$k_{вент}, Вт/(м^3 \cdot ^\circ C)$		0,201
22 Питома характеристика побутових тепловиділень будівлі	$K_{побут}, Вт/(м^3 \cdot ^\circ C)$		0,133
23 Питома характеристика теплонадходжень в будівлю від сонячної радіації	$k_{рад}, Вт/(м^3 \cdot ^\circ C)$		0,1337

Таблиця 3.20 – Коефіцієнти

Показник	Позначення показника та одиниці вимірювання	Нормоване значення показника
24 Коефіцієнт ефективності авторегулювання опалення	ζ	0,95
25 Коефіцієнт, що враховує зниження теплоспоживання житлових будівель при наявності поквартирного обліку теплової енергії на опалення	ξ	0,1
26 Коефіцієнт ефективності рекуператора	$k_{\text{еф}}$	0
27 Коефіцієнт, що враховує зниження використання теплонадходжень у період перевищення їх над тепловтратою	ν	0,674
28 Коефіцієнт обліку додаткових тепловтрат системи опалення	β_h	1,05

Таблиця 3.21 – Комплексні показники витрати теплової енергії

Показник	Позначення показника та одиниці вимірювання	Значення показника
29 Розрахункова питома характеристика теплової енергії на опалення та вентиляцію будівлі за опалювальний період	$q_{\text{оп}}^p, \text{Вт}/(\text{м}^3 \cdot ^\circ\text{C})$	0,161
30 Нормована питома характеристика теплової енергії на опалення та вентиляцію будівлі за опалювальний період	$q_{\text{оп}}^{\text{пот}}, \text{Вт}/(\text{м}^3 \cdot ^\circ\text{C})$	0,456
31 Клас енергозбереження		A++
32 Чи відповідає проект будівлі нормативній вимозі щодо теплозахисту		Так

Таблиця 3.22 – Енергетичні навантаження будівлі

Показник	Позначення показника	Одиниця вимірювань	Значення показника
33 Питома витрата теплової енергії на опалення та вентиляцію будівлі за опалювальний період	q	кВт·год/($\text{м}^3 \cdot \text{рік}$)	88,28
34 Витрата теплової енергії на опалення та вентиляцію будівлі за опалювальний період	$Q_{\text{оп}}^{\text{рік}}$	кВт·год/рік	6751
35 Загальні тепловтрати будівлі за опалювальний період	$Q_{\text{заг}}^{\text{рік}}$	кВт·год/рік	14300

3.4 Техніко-економічне порівняння проектів, кошторисний розрахунок

Для того щоб повно оцінити витрати на будівництво Пасивного будинку і його вигоду, порівняємо два проекти. Проект будинку за технологією «Пасивний будинок» та будинку за традиційною технологією з однаковими об'ємно-планувальними рішеннями, шляхом складання кошторисного розрахунку та розрахунку витрат на експлуатацію.

3.4.1 Опис проектів

1. Проект будинку за технологією «Пасивний будинок»

Об'ємно-планувальні рішення:

- Будівля будинку в плані має форму квадрата. Розміри будівлі в плані – 10,5 × 10,2 м.
- Висота приміщень у чистоті – 2,8 м.
- На першому поверсі запроектовано вхідну групу, технічне приміщення, сантехнічний вузол, кухню і вітальню, гараж.
- На другому поверсі розташовані спальні, санвузол і кабінет.

Конструктивні рішення:

- Конструктивна система будівлі – стінова.
- Фундамент – фундаментна утеплена шведська плита товщиною 400 мм.

Зовнішні стіни – двошарові:

- Внутрішній шар – червона повнотіла цегла товщиною 380мм.
- Зовнішній шар – Утеплювач екструдований пінополістирол товщиною 250 мм з оздобленням «мокрый фасад».

Внутрішні несучі стіни – повнотіла цегла товщиною 380 мм.

Перегородки – повнотіла цегла товщиною 120 мм.

Перекриття – монолітні залізобетонні товщиною 180 мм.

Мансардний дах – двоскатний, по похилих дерев'яних кроквах, з організованим зовнішнім водостоком.

Покрівля – композитна черепиця.

Вікна – 3-камерний склопакет з потрійним склінням, заповненим інертним газом.

Інженерні рішення:

- Холодне водопостачання – господарсько-питне від міської мережі;
- Гаряче водопостачання – за засобами підігріву холодної води геотермальним насосом;
- Каналізація – господарсько-побутова в міську мережу;
- Опалення – за допомогою геотермального насоса, при допомозі теплих підлог на 1 і 2 поверхах;
- Вентиляція – механічна з рекуперацією тепла;
- Електропостачання – сонячні батареї спільно з генератором на газоподібному паливі (природний газ).

2. Проект будинку за традиційною технологією

Об'ємно-планувальні рішення:

- Будівля будинку в плані має форму квадрата. Розміри будівлі в плані – 9,50×9,74 м.
- Висота приміщень у чистоті – 2,8 м.
- На першому поверсі запроектовано вхідну групу, технічне приміщення, сантехнічний вузол, кухню і вітальню, гараж.
- На другому поверсі розташовані спальні, санвузол і кабінет.

Конструктивні рішення:

- Конструктивна система будівлі - стінова.
- Фундамент – стрічковий монолітний;

Зовнішні стіни – двошарові:

- Внутрішній шар – червона повнотіла цегла товщиною 380мм;
- Зовнішній шар – Утеплювач кам'яна вата товщиною 140 мм з оздобленням «мокрый фасад».

Внутрішні несучі стіни – повнотіла цегла товщиною 380 мм.

Перегородки – повнотіла цегла товщиною 120 мм.

Перекриття – монолітні залізобетонні товщиною 180 мм.

Мансардний дах – двоскатний, по похилих дерев'яних кроквах, з організованим зовнішнім водостоком.

Покрівля – композитна черепиця.

Вікна – 2-камерний склопакет з потрійним склінням.

Інженерні рішення:

- Водопровід – господарсько-питний від міської мережі;
- Гаряче водопостачання – від зовнішньої мережі;
- Каналізація – господарсько-побутова в міську мережу;
- Опалення – твердопаливний котел;
- Вентиляція – природна, витяжка з санвузлів, кухонь;
- Електропостачання – від зовнішньої мережі, напругою 380/220V.

3.4.2 Кошторисний розрахунок проектів

Кошторисний розрахунок складено за укрупненими розцінками на підставі цін 2022 року, представлених на офіційних сайтах постачальників обладнання та виробників монтажних робіт м. Сєверодонецька. Дані розрахунку зведено в табл. 3.23 і табл. 3.24.

Таблиця 3.23 – Кошторисний розрахунок на будинок за технологією «Пасивний будинок»

Найменування витрат	Вартість, тис.грн.
1	2
Зведення надземної частини будинку	1 325,03
Пристрій фундаменту УШП	648,39
Утеплення будинку пінополістиролом товщ. 250мм	324,03
Встановлення енергоефективного скління	290,6
Інженерні комунікації	
Монтаж і підключення сонячних батарей	1 057
Монтаж і підключення геотермального насоса	910
Монтаж і підключення генератора на газовому паливі	94
Монтаж і підключення механічної вентиляції з рекуператором	437,5

Підключення до центральної мережі холодного водопостачання	120
З'єднання з центральною каналізацією	120
Монтаж системи водопостачання	50
Монтаж системи каналізації	20
Монтаж теплої підлоги	105
Монтаж електропроводки	50
РАЗОМ:	5 551,55

Таблиця 3.24 – Кошторисний розрахунок додому за традиційною технологією

Найменування витрат	Вартість, тис.грн.
Зведення надземної частини будинку	1 325,03
Пристрій стрічкового монолітного фундаменту	279,26
Утеплення будинку кам'яною ватою товщ. 140мм	198,44
Встановлення скління	161,62
Інженерні комунікації	
Підключення до центральної мережі електропостачання	10
Підключення до центральної мережі водопостачання	120
Монтаж і підключення твердопаливного котла	115
З'єднання з центральною каналізацією	120
Монтаж системи водопостачання	50
Монтаж системи каналізації	20
Монтаж теплопостачання	55,5
Монтаж електропроводки	50
РАЗОМ:	2 505,85

3.4.3 Техніко-економічні показники проектів

Техніко-економічні показники є обґрунтуванням технічних, технологічних, планувальних і конструктивних рішень і складають основу проекту. Техніко-економічні показники служать підставою для вирішення питання про доцільність будівництва об'єкта при запроєктованих параметрах і затвердження проектної документації для будівництва.

Зведемо в табл. 3.25 всі техніко-економічні показники за проектами.

Таблиця 3.25 – Техніко-економічні показники проектів

Найменування показників, одиниці вимірювання	Пасивний будинок	Традиційний будинок
1	2	3
Площа забудови, м ²	101,32	101,32
Загальна площа, м ²	161,97	161,97
Житлова площа, м ²	135,16	135,16
Кількість поверхів, кіл	2	2

Висота поверху, м	2,8	2,8
Будівельний обсяг, всього, м ³ в тому числі надземної частини	598,126	598,126
Загальна кошторисна вартість будівництва, всього, грн.	5 551,55	2 505,85
Кошторисна вартість 1 м ² площі	34,27	15,47
Кошторисна вартість 1 м ³ будівельного обсягу	9,28	4,19

3.4.3 Розрахунок витрат на експлуатацію

Для розрахунку витрат на експлуатацію візьмемо період розрахунку 50 років, приблизний термін експлуатації інженерних комунікацій, що працюють від альтернативних джерел енергії, заявлений фірмами виробників.

Таблиця 3.26 – Витрати на експлуатацію будинку за технологією «Пасивний будинок»

Показник	місяці						1 рік	5 років	10 років	50 років
	1	2	3	4	5	6				
Обслуговування сонячних батарей									137 000	685 000
Обслуговування геотермального насоса	1149	1149	1149	1149	1149	1149	13789	68 945	137 890	689 450
Обслуговування механічної вентиляції	248	248	248	248	248	248	2979	14 895	29 790	148 950
Комунальні платежі за холодне водопостачання	145	145	145	145	145	145	1740	8700	17400	87 000
Комунальні платежі за водовідведення	112	112	112	112	112	112	1344	6720	13 440	67 200
РАЗОМ:	1654	1654	1654	1654	1654	1654	19 848	99 240	198 480	992 400

Таблиця 3.27 – Витрати на експлуатацію будинку за традиційною технологією

Показник	місяці						1 рік	5 років	10 років	50 років
	1	2	3	4	5	6				
Тверде паливо для опалювального котла							180 00	9000 0	180 000	90000 0

Комунальні платежі за електроенергію	467 2	467 2	467 2	467 2	467 2	467 2	56 064	280 320	560 640	2 803 200
Комунальні платежі за гаряче водопостачання	733	733	733	733	733	733	9 287	46 435	92 871	464 355
Комунальні платежі за холодне водопостачання	145	145	145	145	145	145	174 0	8700	17400	87 000
Комунальні платежі за водовідведення	112	112	112	112	112	112	134 4	6720	13 440	67 200
РАЗОМ:	7 202	7 202	7 202	7 202	7 202	7 202	84 435	432 175	854 350	4 921 750

ВИСНОВОК

Дане дослідження було присвячене розробці проекту будинку для умов міста Северодонецьк, що відповідає вимогам технології «Пасивний будинок».

У першій главі визначено поняття Пасивного будинку, основні вимоги до нього та розглянуто технології, що застосовуються при будівництві енергоефективних будинків.

У другій главі, позначені природно-кліматичний умови заданої території, розроблені об'ємно-планувальні, конструктивні та інженерні рішення, відповідні технології «Пасивний будинок» і заданої території.

У третій главі, вироблено чисельне моделювання і отримані теплові характеристики проблемних вузлів будівлі за допомогою програмного комплексу COMSOL Multiphysics. На підставі цих обчислень, був розрахований енергетичний паспорт будівлі, підсумком якого є, те що розроблений проект має клас енергоефективності – А ++, що відповідає класу Пасивного будинку. Так само виконано техніко-економічне порівняння проекту Пасивного будинку з проектом будинку за традиційною технологією, на підставі кошторисного розрахунку, і були отримані такі результати:

Сумарна вартість будівництва та експлуатації Пасивного будинку протягом 50 років – 6 542 950 гривень;

Сумарна вартість будівництва та експлуатації будинку за традиційною технологією протягом 50 років – 7 427 600 гривень.

Виходячи з цих даних видно, що в перспективі на 50 років, вартість будинків має велику різницю, при тому що ціни на тарифи були застосовані на поточний момент часу. Як відомо, тарифи на енергію регулярно підвищуються і можливо, що забудовники зараз будуть більш охоче обирати будівництво будинку саме за технологією «Пасивний будинок».

Підбиваючи підсумки можна сказати, що будівництво пасивного будинку з дотриманням усіх технологій, відповідних загальносвітовим стандартам, у місті Северодонецьку – можливе, якщо проектувальники і будівельники

дотримуються всіх вимог і якісно виконають роботи.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. ДСТУ-Н Б В.1.1-27:2010 – Будівельна кліматологія. – К.: Мінрегіонбуд України, 2010. – 123 с.
2. ДБН В.1.2-2:2006 Навантаження і впливи. Норми проектування. – К.: Мінрегіон України, 2006. – 75 с.
3. ДБН В.2.6-31:2016 Теплова ізоляція будівель. – К.: Мінрегіонбуд України, 2017. – 33 с.
4. ДБН Б.2.2-12:2019. Містобудування. Планування та забудова міських і сільських поселень. – К.: Мінрегіонбуд України, 2019. – 210 с.
5. ДБН А.2.2-3:2014 Склад та зміст проектної документації на будівництво. К.: Мінрегіонбуд України, 2014. – 36 с.
6. ДБН А.3.1-5:2016. Організація будівельного виробництва. – К.: Мінрегіонбуд України, 2016. – 54 с.
7. ДБН А.3.2-2:2009. Охорона праці і промислова безпека у будівництві. – К.: Мінрегіонбуд України 2012. – 122 с.
8. ДСТУ Б А.3.1-22:2013 "Визначення тривалості будівництва об'єктів". – К.: Мінрегіонбуд України, 2014. – 39 с.
9. ДСТУ Б Д 1.1-1:2013 "Правила визначення вартості будівництва" – К.: Мінрегіонбуд України, 2013. – 88 с.
10. ДБН В. 1.2-7:2008 Система забезпечення надійності та безпеки будівельних об'єктів. Основні вимоги до споруд. Пожежна безпека. К.: Мінрегіонбуд України, 2009. – 28 с.
11. ДБН В.1.1-7:2016. Пожежна безпека об'єктів будівництва. – К.: Мінрегіонбуд України 2016. – 42 с.
12. ДБН В.2.6-98:2009. Бетонні та залізобетонні конструкції. – К.: Мінрегіонбуд України, 2011. – 72 с.
13. ДБН В.2.2-9:2018. Громадські будинки та споруди. Основні положення. – К.: Мінрегіонбуд України, 2019. – 43 с.
14. ДБН В.2.2-20:2008. Готелі. – К.: Мінрегіонбуд України, 2009. – 54 с.

- 15.** ДСТУ Б Д.2.2-1:2012. Ресурсні елементні кошторисні норми на будівельні роботи. Збірник 1 «Земляні роботи». – К.: Мінрегіонбуд України, 2013. – 177 с.
- 16.** ДСТУ Б Д.2.2-6:2012. Ресурсні елементні кошторисні норми на будівельні роботи. Збірник 6 «Бетонні та залізобетонні конструкції монолітні». – К.: Мінрегіонбуд України, 2013. – 70 с.
- 17.** ДСТУ Б Д.2.2-8:2012. Ресурсні елементні кошторисні норми на будівельні роботи. Збірник 8 «Конструкції з цегли та блоків ». – К.: Мінрегіонбуд України, 2013. – 37 с.
- 18.** ДСТУ Б Д.2.2-12:2012. Ресурсні елементні кошторисні норми на будівельні роботи. Збірник 12 «Покрівлі». – К.: Мінрегіонбуд України, 2013. – 21 с.
- 19.** ДСТУ Б Д.2.2-26:2012 Ресурсні елементні кошторисні норми на будівельні роботи. Збірник 26 «Теплоізоляційні роботи». – К.: Мінрегіонбуд України, 2013. – 51 с.
- 20.** П. В. Кривенко Будівельне матеріалознавство / П. В. Кривенко, К. К., Пушкарьова, В. Б. Барановський та ін. - 3-те вид, перероб. та доп. - К. : Ліра, 2012. – 620 с.
- 21.** Гетун Г. В. Архітектура будівель та споруд. Кн.1. Основи проектування / Г. В. Гетун. - К. : Кондор, 2011. – 376 с.
- 22.** Кравченко В. С. Інженерне обладнання будівель: підручник / В. С. Кравченко. – К. : Професіонал, 2008. – 479 с.
- 23.** Мироненко, В. П. Архітектурна ергономіка / В. П. Мироненко - К. : НАУ, 2009. – 239 с.
- 24.** Головка О. М. Будівництво, архітектура та інтер'єр готельного господарства // Організація готельного господарства / за ред. О. М. Головка / О. М. Головка, Н. С. Кампов, С., С.Махлинець, Г. В. Симочко. - К. : Кондор, 2011 . - 408 с.
- 25.** Дикман Л.Г. Организация строительного производства / Л.Г. Дикман. – М.: Изд-во Ассоциации строительных вузов, 2006. – 608 с.
- 26.** Методичні вказівки до виконання випускної кваліфікаційної роботи магістра (для здобувачів вищої освіти спеціальності 192 Будівництво та цивільна

інженерія) /Укладачі: Г.О Татарченко, П.Є. Уваров, Н.І. Білошицька. – Сєверодонецьк: Вид-во СНУ ім. В. Даля, 2019. – 36 с.

27. БУКЛЕТ – ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІСТЬ У БУДІВНИЦТВІ: ВІД А ДО Я / ГРОМАДСЬКА ОРГАНІЗАЦІЯ «ЕНЕРГОРОЗВИТОК МАЙБУТНЬОГО»
Виготовлено ФОП Пруденко Н.К. – 24ст.

28. Табунників Ю.А. Енергітичний пасивний багатоповерховий житловий будинок/Ю.А. Табунників//Журнал «АВОК». – 2013. - №1. - С. 14-20.

29. Методичні рекомендації щодо проведення дослідження, написання, оформлення та захисту магістерських робіт. / Упорядники Н.Г.Синицина, М.К.Орлатий. –К.: НАДУ при Президентові України, 2011. –35 с.

30. Методичні вказівки до виконання теплотехнічного розрахунку в курсовому та дипломному проектуванні студентами, що навчаються за напрямками підготовки 6.060101 “Будівництво”, 6.060102 “Архітектура” та спеціальностями 7.06010Л101, 8.06010101 “Промислове та цивільне будівництво” і 7.06010201, 8.06010201 “Архітектура” денної та заочної форм навчання / Є. В. Пугачов, Л. Т. Гарбарук, В. А. Зданевич. – Рівне: НУВГП, 2014. – 43 с.

31. МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ до самостійної роботи і практичних занять з дисципліни «Теплогазопостачання і вентиляція »
[Електронний ресурс] – Режим доступу
:<http://lib.kart.edu.ua/bitstream/123456789/5327/1/Методичні%20вказівки.pdf>

32. ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ БУДІВЕЛЬ ТА СПОРУД
[Електронний ресурс] – Режим доступу
:https://ela.kpi.ua/bitstream/123456789/47072/1/Enerhozberezhennia_budivel_sporud_DKR.pdf

33. Методичні вказівки до виконання теплотехнічного розрахунку зовнішніх огорожувальних конструкцій цивільних будівель [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://studfile.net/preview/5725684/>

34. Норми споживання води для населення в Україні [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://poverka.org.ua/normi-spozhyvannja-vodi-dlja-naselennja-v->

ukraini/

35. Тарифи на холодну воду в Україні [Електронний ресурс] – Режим доступу:https://bankchart.com.ua/spravochniki/indikatory_rynka/tarify_na_kholodnu_vodu

36. Про тарифи на послуги з централізованого водопостачання та централізованого водовідведення [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://skwater.km.ua/abonent/tarifi>

37. Енергоефективність: що це і як впливає на комфорт проживання [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://nerukhomi.ua/ukr/news/energoefektivnist-scho-tse-take-i-yak-vplivae-na-komfort-prozhivannya.htm>

38. Закон України Про енергетичну ефективність будівель (Відомості Верховної Ради (ВВР), 2017, МФ 55, ст.359) [Електронний ресурс] – Режим доступу:<https://radnuk.com.ua/pravova-baza/zakon-ukrainy-pro-enerhetychnu-efektyvnist-budivel/>

39. Значення коефіцієнтів затінення світла та відносного проникнення сонячної радіації [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://studfile.net/preview/2855033/page:16/>

40. Приклад теплотехнічного розрахунку [Електронний ресурс] – Режим доступу:https://studwood.net/1584788/nedvizhimost/vihidni_dani

41. Температура повітря найбільш холодних діб і найбільш холодної п'ятиденки різної забезпеченості [Електронний ресурс] – Режим доступу: <http://um.co.ua/4/4-4/4-42343.html>

42. ЕЛЕКТРОННА БІБЛІОТЕКА НОРМАТИВНИХ ДОКУМЕНТІВ [Електронний ресурс] – Режим доступу:<https://budstandart.ua>

43. Infographic Analyst & Designer Infographics.UA [Електронний ресурс] – Режим доступу:https://www.behance.net/infographics_ua

ДОДАТОК А

Проект малоповерхового «Пасивного будинку» в місті
Северодонецьк

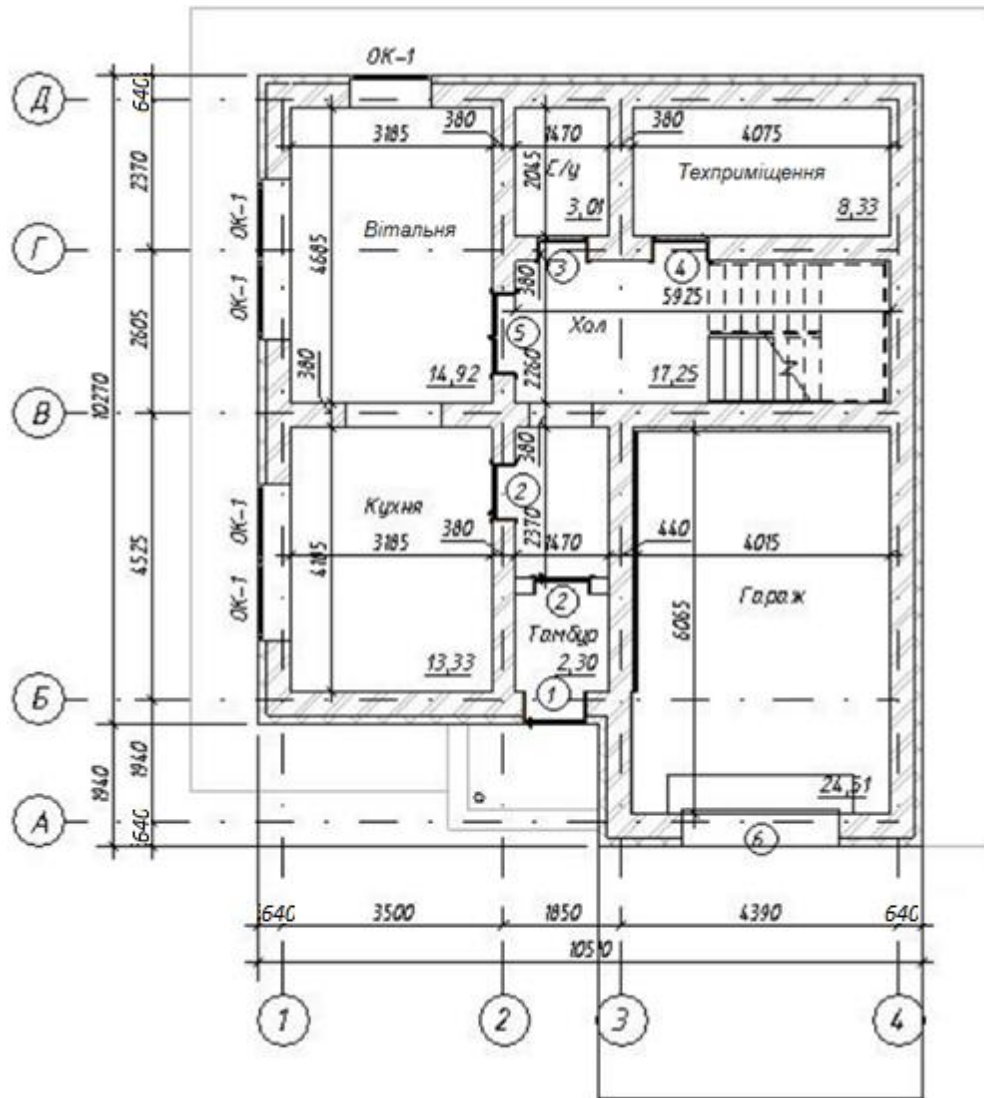


Рисунок А.1 - План 1-го поверху

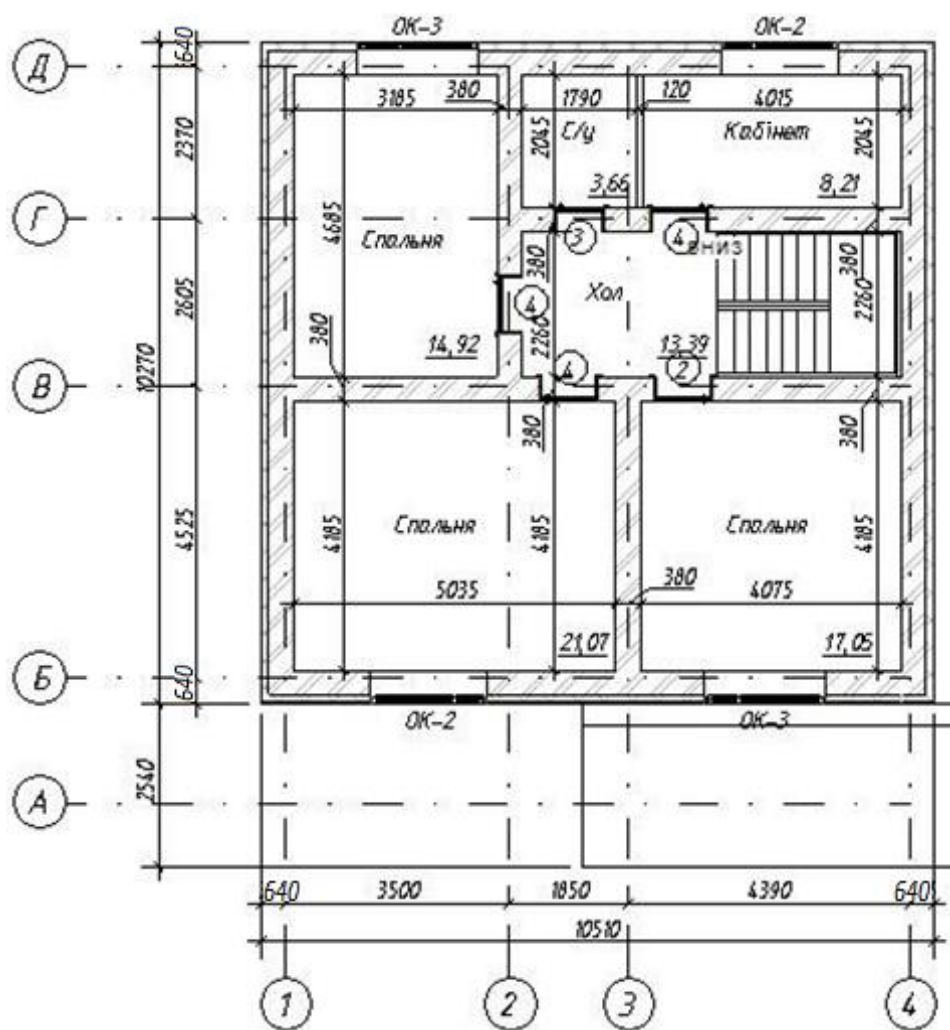


Рисунок А.2 - План 2-го поверху



Рисунок А.3 - Розріз 1-1

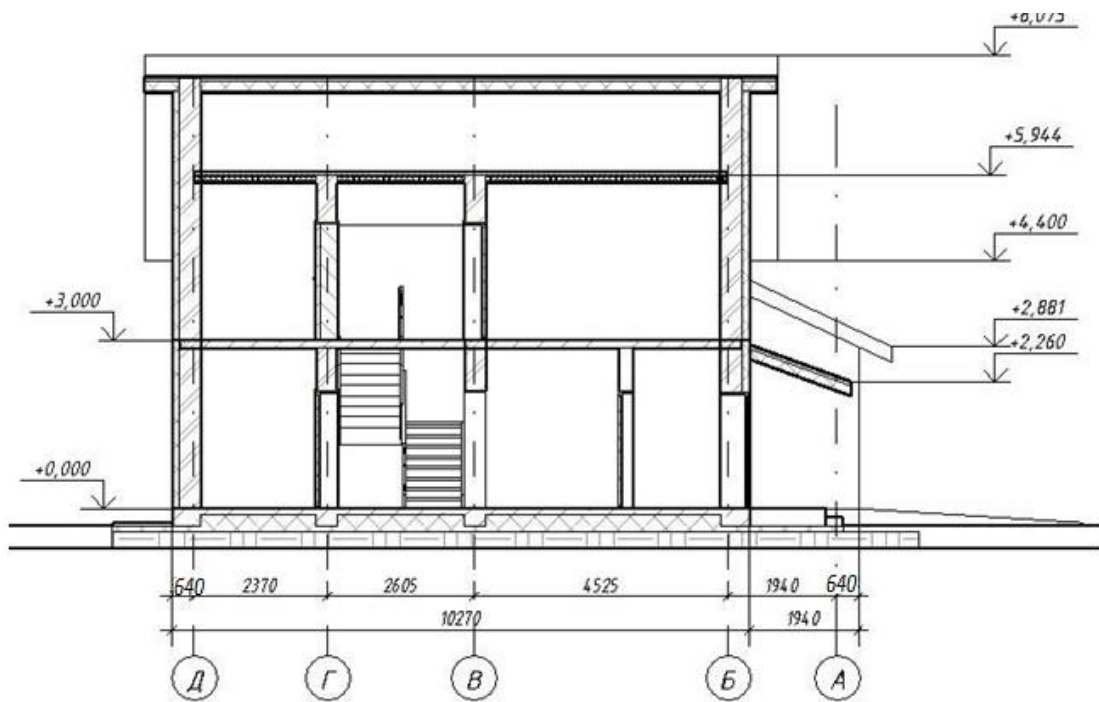


Рисунок А.4 - Розріз 2-2

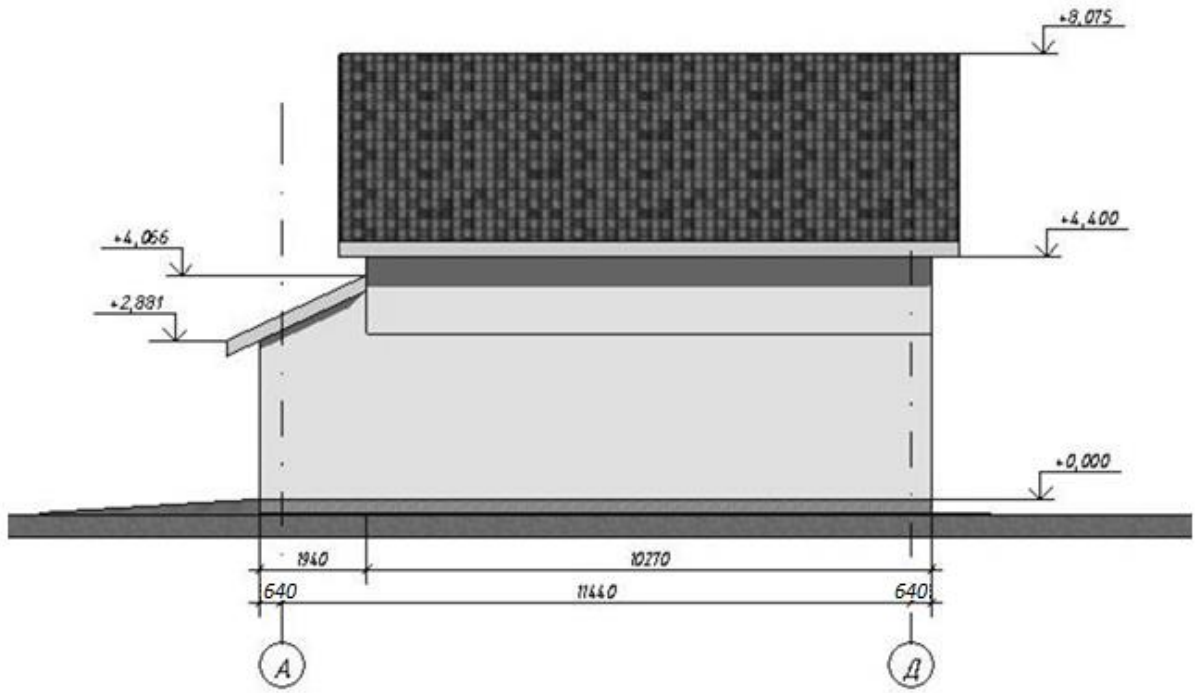


Рисунок А.5 – Північний фасад



Рисунок А.6 – Південний фасад



Рисунок А.6 – Східний фасад

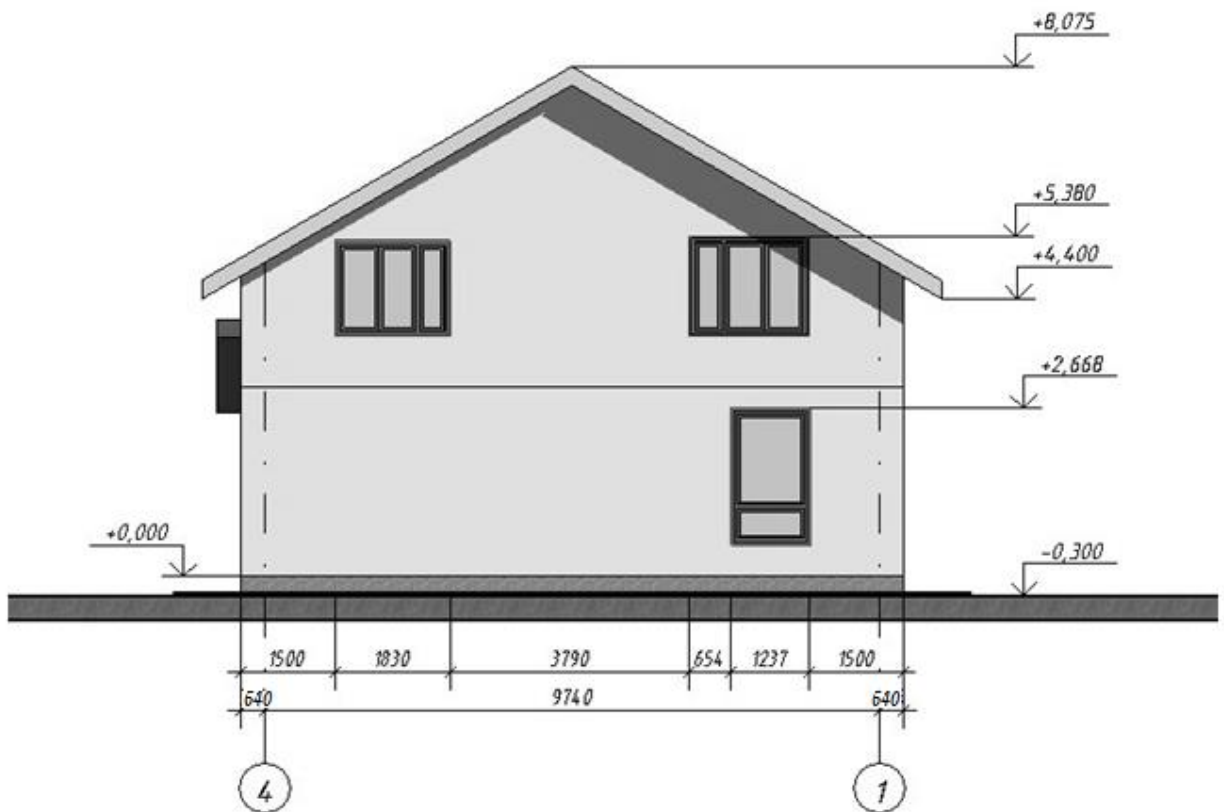


Рисунок А.7 – Західний фасад