

Міністерство освіти і науки України
Національний університет
"Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка"

Навчально-науковий інститут нафти й газу
Кафедра теплогазопостачання, вентиляції та теплоенергетики
Спеціальність – 144 Теплоенергетика
Освітньо-кваліфікаційний рівень – магістр

УДК_____

ДИПЛОМНА МАГІСТЕРСЬКА РОБОТА

на тему

***Підвищення енергоефективності індивідуального житлового
будинку в м.Полтава***

Виконав

Шинкаренко С.

Науковий керівник – докт.техн.наук, професор

Кутний Б.А.

Допущено до захисту
Завідувач кафедри

Ю.С. Голік

Рецензент

РЕФЕРАТ

Дипломна робота: 126 с., 33 рис., 19 табл., 6 додатків, 45 джерел.

Об'єкт дослідження – індивідуальний житловий будинок за адресою пров. Хіммашівський, 2 в м. Полтава.

Предмет дослідження – зовнішні огорожуючі конструкції, система опалення та теплогенеруюче обладнання будинку.

Мета роботи – аналіз шляхів підвищення енергоефективності котеджів та розроблення рекомендацій з енергозбереження для конкретного будинку.

Методи досліджень – системний аналіз, емпіричні методи (спостереження, вимірювання та порівняння), теоретичний розрахунковий експеримент, вартісний аналіз та прогнозування.

Виконано аналітичні дослідження нормативної бази щодо енергозбереження, вимог до мікроклімату та теплозахисту житлових будинків та існуючих енергоефективних заходів.

Проведено тепловізійне обстеження та теплотехнічні розрахунки огорожуючих конструкцій, дослідженню енергетичні характеристики будинку.

Запроектована система опалення котеджу.

Виконано техніко-економічне порівняння джерел тепла на традиційному та альтернативному паливі.

Розроблено рекомендації з термомодернізації індивідуального житлового будинку в м. Полтава Полтавської області, підібрано додаткові заходи з енергозбереження.

Проведена попередня оцінка економії коштів за рахунок впровадження розроблених пропозицій.

ТЕРМОМОДЕРНІЗАЦІЯ, ТЕПЛОВТРАТИ, ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІСТЬ, ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ, ЕНЕРГЕТИЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ, ТЕПЛОВІЗОР, ТЕРМОГРАМИ, ТЕПЛОТЕХНІЧНІ РОЗРАХУНКИ, КОЕФІЦІЄНТ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ.

ЗМІСТ

| | |
|---|------|
| ВСТУП..... | 7 |
| 1 АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА..... | 9 |
| 1.1 Аналіз сучасного стану заходів з енергозбереження в будівлях | 9 |
| 1.2 Вибір і обґрунтування основного напрямку дослідження. | 13 |
| 1.2.1 Законодавча нормативна база України, пов'язана з енергоефективністю індивідуальних житлових будинків..... | 14 |
| 1.2.2 Інструменти аналізу енергоефективності існуючих будинків | . 15 |
| 1.2.3 Енергозбереження за рахунок теплозахисту огороджувючих конструкцій. | . 17 |
| 2 ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ, ВИБІР МЕТОДІВ ДОСЛІДЖЕНЬ | 24 |
| 2.1 Постановка задачі..... | 24 |
| 2.1.1 Мета та завдання дослідження. | . 24 |
| 2.1.2 Вибір об'єкту дослідження. Опис та локалізація. | . 25 |
| 2.1.3 Вихідні дані та технічна документація об'єкту дослідження | . 25 |
| 2.1.4 Опис способу виконання систем опалення та гарячого водопостачання в будинку. | . 34 |
| 2.2 Методика експериментальних досліджень | 35 |
| 2.2.1 Опис приладів для проведення вимірювань при виконанні тепловізійного обстеження. | . 35 |
| 2.2.2 Методика проведення теплотехнічних розрахунків зовнішніх огороджувючих конструкцій будинку | . 39 |
| 2.2.3 Розрахунок теплостійкості стінової огороджувючої конструкції. | . 44 |

| | | | | | | | | |
|-----------------|-------------------|-----------------|---------------|-----------|---|------------------------|-----------------|--|
| | | | | | | 601-НТ-20342-МР | | |
| <i>Зм.</i> | <i>Арк.</i> | <i>№ докум.</i> | <i>Підпис</i> | <i>Ла</i> | | | | |
| <i>Керівник</i> | <i>Кутний</i> | | | | <i>Стаді</i> | <i>Арк.</i> | <i>Арк.шітв</i> | |
| <i>Виконав</i> | <i>Шинкаренко</i> | | | | 4 | 127 | | |
| | | | | | Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка» кафедра теплогазопостачання, вентиляції та | | | |

**Підвищення
енергоефективності
індивідуального
житлового будинку**

| | | |
|--------------------------|--|-----|
| 2.2.4 | Розрахунок опору повітропроникненню стінової огорожуючої конструкції | .46 |
| 2.2.5 | Визначення потужності системи опалення будинку | .47 |
| 3 ДОСЛІДНА ЧАСТИНА | | 54 |
| 3.1 | Опис робіт по дослідженню енергоефективності будинку..... | 54 |
| 3.1.1 | Теплотехнічний розрахунок дійсного стану зовнішніх огорожуючих конструкцій із метою визначення теплових втрат у будинку | .54 |
| 3.1.2 | Теплотехнічний розрахунок дійсного стану зовнішніх огорожуючих конструкцій з метою досягнення нормативних вимог по теплоізоляції | .59 |
| 3.1.3 | Розрахунок теплостійкості огорожуючих конструкцій. | .70 |
| 3.1.4 | Розрахунок опору повітропроникненню дійсного стану стінової огорожуючої конструкції. | .72 |
| 3.1.5 | Розрахунок теплових втрат в будинку | .73 |
| 3.1.6 | Визначення необхідної кількості теплової енергії для опалення | .82 |
| 3.1.7 | Проведення натурних досліджень енергоефективності огорожуючих конструкцій будинку за допомогою тепловізора | .82 |
| 3.2 | Аналіз результатів теоретичних та експериментальних досліджень об'єкту | 83 |
| 3.2.1 | Аналіз результатів досліджень, отриманих за допомогою тепловізора | .84 |
| 3.2.2 | Розрахунок енергозбереження від реконструкції огорожуючих конструкцій | .85 |
| 3.2.3 | Розрахунок енергозбереження від використання систем регулювання теплопостачання. | .86 |

| | |
|--|-----|
| 3.3 Одержання та обґрунтування основних науково-технічних результатів досліджень. | 91 |
| 3.3.1. Розрахунок річної та середньогодинної за сезон витрати теплоти на опалення при виконанні запропонованих заходів. | .89 |
| 3.3.2 Вибір джерела енергії | .92 |
| 3.3.3. Висновки та рекомендації | 106 |
| 4.2. Заміна ламп розжарювання на світлодіодні..... | 107 |
| ВИСНОВКИ | 109 |
| ДОДАТКИ | 111 |
| ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ | 123 |

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|------------------------|------|
| | | | | | 601-НТ-20342-МР | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | 6 |

ВСТУП

Україна є однією з енергозалежних країн Європи, яка споживає понад 60–70 % імпортованих енергоресурсів у загальному балансі. І цьому сприяє не тільки їх відсутність власне ресурсів, а й неефективне їх використання, що є загрозою національним інтересам та національній безпеці держави. Тому вирішення питання підвищення енергоефективності є одним із найважливіших, особливо з урахуванням енергетичної кризи в державі.

Суттєве зростання цін на енергоносії, що має місце в останні роки, робить особливо актуальною проблему енергоефективності приватного житла, оскільки одразу напругу відчувають власники індивідуальних будинків на власних кишнях.

Підвищення енергоефективності житлових будівель передбачає значне скорочення затрат на комунальні платежі й відповідно підвищення рівня життя населення. При цьому спостерігається економія паливно-енергетичних ресурсів держави та зменшення викидів парникових газів в атмосферу за рахунок спалювання менших об'ємів газу.

Отже, поставлене питання пошуку шляхів підвищення енергетичної ефективності індивідуальних будинків є надзвичайно актуальним. Не менш важливим є також вибір оптимального варіанту для конкретної будівлі, що потребує проведення техніко-економічного аналізу можливих енергозберігаючих заходів.

В цілому по Україні потенціал зменшення енергоспоживання становить близько 75 %. Основною перешкодою на шляху тотальної термомодернізації будинків приватного сектору є відсутність у населення вільних коштів для інвестування у своє житло, а також не достатня обізнаність із термінами окупності необхідних капіталовкладень та існуючими державними програмами підтримки енергоефективних заходів для фізичних осіб.

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|------------------------|------|
| | | | | | 601-НТ-20342-МР | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | 7 |

Відповідно розроблення енергозберігаючих заходів для термомодернізації конкретного котеджу, оцінювання їх ефективності та виявлення оптимальних варіантів має значну практичну цінність.

Аналіз та узагальнення результатів, отриманих на прикладі одного з індивідуальних будинків у м. Полтава, дозволить сформулювати рекомендації для підвищення енергоефективності приватного житла в Україні.

| | | | | | | |
|-------------|-------------|-----------------|---------------|-------------|------------------------|-------------|
| | | | | | 601-НТ-20342-МР | <i>Арк.</i> |
| <i>Змн.</i> | <i>Арк.</i> | <i>№ докум.</i> | <i>Підпис</i> | <i>Дата</i> | | 8 |

1 АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА

1.1 Аналіз сучасного стану заходів з енергозбереження в будівлях

1.1 Аналіз сучасного стану питання енергоефективності індивідуальних житлових будинків України.

Згідно закону України від 22.06.2017 року №2118-VIII «Про енергетичну ефективність будівель» [13] поняття енергоефективність передбачає використання меншої кількості енергії для надання того самого рівня послуги.

Інтегральний індикатор енергетичної ефективності будівлі визначають шляхом ділення всього обсягу річного енергоспоживання за рік на загальну площу будівлі. Прийняті в Україні нормативи максимальних теплових витрат є близькими до європейських і коливаються на рівні 30-40 кВтгод/м². При цьому фактичне споживання енергії більшістю житлових будинків нашої країни здебільшого перевищує 200 кВтгод/м².

Розглянемо середню енергоефективність житлових будинків ряду європейських країн та України, показане на рисунку 1.1 в Україні та в країнах Європи й виконаємо їх співставлення.

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|------------------------|------|
| | | | | | 601-НТ-20342-МР | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | 9 |

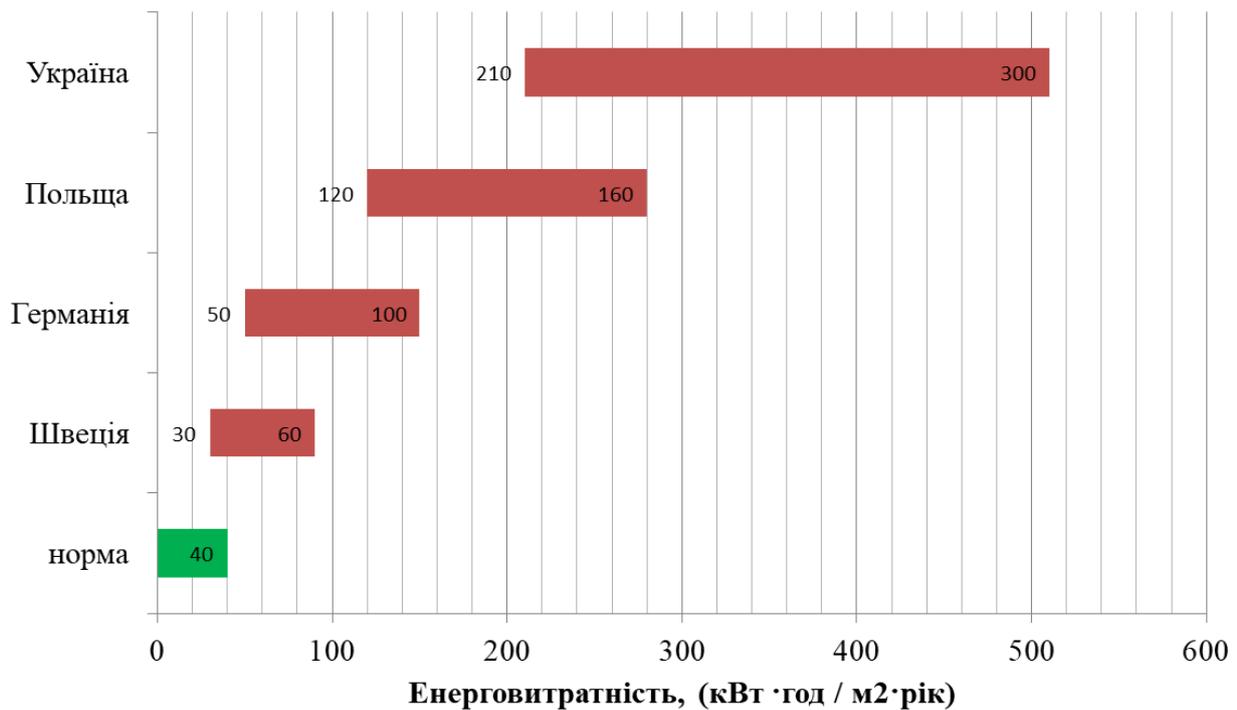


Рисунок 1.1 – Порівняння фактичного рівня споживання енергоресурсів

За рисунком 1.1 досить добре видно наскільки глобально відрізняється реальна ситуація з енергоспоживанням в житловому секторі в Україні від бажаної, регламентованої сучасними діючими нормативними документами. У той же час це свідчить про величезний потенціал у сфері енергозбереження за рахунок підвищення енергоефективності. Як видно з рисунка 1.1, питоме енергоспоживання переважної більшості будівель України перевищує нормативне значення в 5-7 разів, що визначає можливість відповідного зростання енергоефективності будинків при комплексному виконанні енергоефективних заходів. Реальність досягнення встановлених нормативів вже доведена на прикладі Швеції.

Основним трендом розвитку сучасної будівельної галузі є створення "пасивних" будинків та будинків з високим рівнем енергетичної ефективності. У ряді європейських країн енергоефективні будинки вже стали стандартом сьогодення [39].

Модель пасивного будинку передбачає скорочення річних витрат на опалення до 15 кВт·год/м²·рік. Джерелом тепла для пасивних будівель можуть бути змішані системи, що використовують разом із конденсаційними газовими котлами також сонячні колектори, тепловий насос та рекуператор повітря.

Характерні риси пасивних будинків:

- 1) компактність будівлі;
- 2) підвищена теплова ізоляція (приведений коефіцієнт теплопередачі складає 0,15 Вт/м²·К;
- 3) орієнтація на південь та відсутність затінку;
- 4) відсутність "містків холоду";
- 5) герметичність будівлі;
- 6) спеціальні вікна та профілі високої якості;
- 7) контрольована вентиляція з рекуперацією тепла (зберігає щонайменше 75% тепла відпрацьованого повітря за рахунок роточного теплообмінника);
- 8) відновлювані джерела енергії – геліосистеми або теплові насоси для підігріву води, сонячні панелі для генерації електроенергії.

До енергоефективних заходів, що мають потенціал енергозбереження 30 – 70% відносять наступні:

- 1) комплексна енергореновація;
- 2) моніторинг використання енергетичних ресурсів;
- 3) впровадження систем енергозабезпечення на базі відновлюваних джерел енергії.

Основні кроки для підвищення енергоефективності будинку показано на рисунку 1.2.

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|------------------------|------|
| | | | | | 601-НТ-20342-МР | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | 11 |



Рисунок 1.2 – Кроки до енергоефективності житлових будинків [5]

Питанням підвищення енергоефективності будинків присвячено роботи таких авторів: Фаренюк Г.Г. [2, 3]; Горшков А.С. [4]; Кнатько М.В., Єфіменко М.Н. [5], Самарін О.Д., Казаковцева С.А., Свірідонов К.В. [6, 7], Табунщиков Ю.А., Бродач М.М., Шилкін Н.В. [8]; Самолюк Н.М., Бондарець Д.В. [14] та ін.

Основною метою впровадження різноманітних енергозберігаючих заходів є зменшення затрат коштів на опалення будівель. Разом із дослідженням шляхів підвищення ефективності будівель не менш важливим завданням є виявлення оптимального рішення серед усіх можливих. Для цього необхідно виконувати техніко-економічний аналіз різних варіантів термомодернізації. Доцільність їх впровадження повинна обов'язково обґрунтовуватися величиною прогнозованого зниження витрат теплової енергії та відповідним зниженням витрат коштів.

Прогнозований рівень економії теплової енергії у відсотках за рахунок здійснення окремих термомодернізаційних заходів показано на рисунку 1.3.

| | ТЕРМОМОДЕРНІЗАЦІЙНИЙ ЗАХІД | ЕКОНОМІЯ ТЕПЛОВОЇ ЕНЕРГІЇ |
|--|--|---------------------------|
|  | УТЕПЛЕННЯ ЗАХИСНИХ БУДИВЕЛЬНИХ КОНСТРУКЦІЙ (СТІН, ДАХУ, СУМІЩЕНОЇ ПОКРІВЛІ, ПЕРЕКРИТТЯ НАД ПІДВАЛОМ), НЕ ВКЛЮЧАЮЧИ ВІКНА | 15 – 25 % |
|  | ЗАМІНА ВІКОН НА ГЕРМЕТИЧНІ, З КРАЩИМ ОПОРОМ ТЕПЛОПЕРЕДАЧІ R | 10 – 15 % |
|  | МОДЕРНІЗАЦІЯ ТЕПЛОГО ПУНКТУ, ВКЛЮЧАЮЧИ РЕГУЛЮВАННЯ ЗА ПОГОДНИМИ УМОВАМИ І НАСОСНУ ЦИРКУЛЯЦІЮ | 10 – 30 % |
|  | КОМПЛЕКСНА МОДЕРНІЗАЦІЯ ВНУТРІШНЬОЇ СИСТЕМИ ЦЕНТРАЛЬНОГО ОПАЛЕННЯ, ВКЛЮЧАЮЧИ ВСТАНОВЛЕННЯ ТЕРМОРЕГУЛЯТОРІВ НА ВСІХ ОПАЛЮВАЛЬНИХ ПРИБОРАХ, АВТОМАТИЧНИХ БАЛАНСУВАЛЬНИХ КЛАПАНІВ НА СТОЯКАХ, ТЕПЛОІЗОЛЯЦІЮ ТРУБОПРОВОДІВ | 10 – 25 % |

Рисунок 1.3 – Економія теплової енергії за рахунок впровадження окремих заходів з термомодернізації

За досвідом багатьох європейських країн впровадження програм з енергозбереження призводить до скорочення споживання енергоресурсів на 30–40%. Згідно оцінок експертів, реалізація проектів із термомодернізації житлових будинків України могла б дозволити економити понад 30 000 000 мВт/год щороку, що еквівалентно приблизно 7 мільярдам гривень [4].

1.2 Вибір і обґрунтування основного напрямку дослідження

З метою обґрунтування напрямку дослідження розглянемо діючі нормативні документи в сфері енергоефективності, порядок та засоби дослідження енергетичних характеристик будинку.

1.2.1 Законодавча нормативна база України, пов'язана з енергоефективністю індивідуальних житлових будинків

Нормативні документи України постійно розвиваються в напрямку зростання вимог з теплозахисту будівель та вдосконалення методик досліджень і розрахунків.

Серед Державних будівельних норм України можна виділити наступні документи, пов'язані з термомодернізацією:

1. ДБН В.2.6-31:2016 «Теплова ізоляція будівель».
2. ДБН В.2.2-15-2005 «Житлові будинки. Основні положення».
3. ДБН В.3.2.2:2009 «Житлові будинки. Реконструкція та капітальний ремонт».

Вони встановлюють вимоги до теплотехнічних показників огорожуючих конструкцій будівель і споруд, визначають порядок їх розрахунку, що забезпечує раціональне використання енергетичних ресурсів на опалення та досягнення оптимальних санітарно-гігієнічних параметрів мікроклімату приміщень.

Вимоги до інженерних систем будівель містяться в:

1. ДБН В.2.5-64:2012 «Інженерне обладнання будинків і споруд. Внутрішній водопровід та каналізація. Частина І. Проектування. Частина ІІ. Будівництво»;
2. ДБН В.2.5-67:2013 «Опалення, вентиляція і кондиціонування».

До Державних стандартів України у сфері енергоефективності належать:

1. ДСТУ Н Б А.2.2-5:2007 «Проектування. Настанова з розроблення та складання енергетичного паспорта будинків при новому будівництві та реконструкції»;
2. ДСТУ Б EN 15217:2012 «Енергоефективність будівель. Методи представлення енергетичних характеристик та енергетичної сертифікації будівель»;

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|------------------------|------|
| | | | | | 601-НТ-20342-МР | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | 14 |

3. ДСТУ Б EN 15316-1:2011 «Системи теплозабезпечення будівель. Методика розрахунку енергопотреби та енергоефективності системи. Частина 1. Загальні положення»;
4. ДСТУ Б EN 15316-2-1:2011 «Системи теплозабезпечення будівель. Методика розрахунку енергопотреби та енергоефективності системи. Частина 2-1. Тепловіддача системою опалення».
5. ДСТУ Б EN 15316-2-3:2011 «Системи теплозабезпечення будівель. Методика розрахунку енергопотреби та енергоефективності системи. Частина 2-1. Тепловіддача системою опалення»;
6. ДСТУ Б EN 15603:2012 «Енергоефективність будівель. Загальне енергоспоживання і визначення енергетичних рейтингів»;
7. ДСТУ Б А.2.2-12:2015 «Енергоефективність будівель. Метод розрахунку енергоспоживання при опаленні, охолодженні, вентиляції, освітленні і гарячому водопостачанні»;
8. ДСТУ-Н Б А.2.2-13:2015 «Енергоефективність будівель. Настанова з проведення енергетичної оцінки будівель» (є основою для складання рейтингу енергоефективності);
9. ДСТУ-Н Б В.3.2-3:2014 «Настанова з виконання термомодернізації житлових будинків» (є основним документом при виконанні комплексної термомодернізації).

ДБН А.2.2-3-2012 «Склад і зміст проектної документації на будівництво» містить вимоги до проектно-кошторисної документації на термомодернізаційні заходи.

1.2.2 Інструменти аналізу енергоефективності існуючих будинків

Одним із найзручніших та дієвих інструментів для оцінювання енергетичної ефективності будівель є тепловізійне обстеження. За допомогою

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|------------------------|------|
| | | | | | 601-НТ-20342-МР | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | 15 |

тепловізора можна досить швидко виявити проблемні ділянки й завдяки цьому виконувати ефективне проектування оптимальної теплової ізоляції огорожуючих конструкцій з урахуванням особливостей і потреб конкретної будівлі.

Тепловізійне обстеження передбачає огляд наступних ділянок будівлі:

- стіни;
- вікна;
- двері;
- дах;
- місць зосередження теплового обладнання;
- системи опалення.

Результатом тепловізійного обстеження є термограми, які наочно ілюструють розподіл температур по поверхні, дозволяючи оперативно виявити місця збільшених тепловтрат. Приклад термограм індивідуальних будинків з різними теплоізоляційними характеристиками огорожуючих конструкцій наведено на рисунку 1.4. Поверхні з більшою температурою мають теплі кольори, а поверхні з меншою показуються в холодних тонах. При цьому очевидно, що саме холодніші поверхні матимуть вищий термічний опір, а отже, і кращі теплоізоляційні властивості.

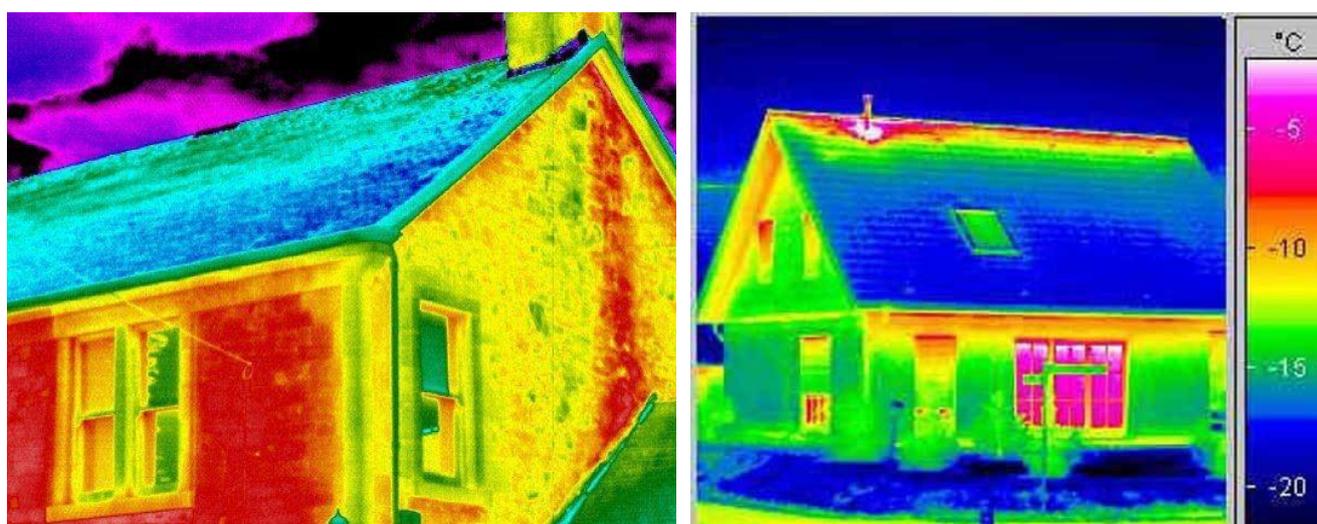


Рисунок 1.4 – Термограми індивідуальних будинків із різним рівнем теплозахисту [20]

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|-----------------|------|
| | | | | | 601-НТ-20342-МР | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | 16 |

1.2.3 Енергозбереження за рахунок теплозахисту огорожуючих конструкцій.

Підвищення теплозахисних властивостей огорожуючих конструкцій полягає в збільшенні їхнього опору теплопередачі до нормативних значень, встановлених ДБН В.2.6-31:2016 [9]. Це досягається зокрема за рахунок утеплення стін теплоізоляційними матеріалами з низькою теплопровідністю з дотриманням вимог щодо захисту від атмосферних впливів за допомогою спеціального декоративного шару, який до того ж ще й поліпшує архітектурно-художній вигляд будинку.

Мінімально допустиме значення опору теплопередачі прозорих і непрозорих огорожувальних конструкцій житлових будинків $R_{q \min}$ встановлюють за таблицею 3 ДБН В.2.6-31:2016 [9] залежно від температурної зони експлуатації будинку, що приймається згідно з додатком Б до ДБН В.2.6-31:2016 [9]. Дані з цієї таблиці наведені в таблиці 1.3

Таблиця 1.3 — Мінімально допустиме значення опору теплопередачі огорожувальної конструкції житлових та громадських будівель $R_{q \min}$

| Ч.ч. | Вид огорожувальної конструкції | Значення $R_{q \min}$, $\text{m}^2 \cdot \text{K}/\text{Вт}$, для температурної зони | |
|------|---|--|-----|
| | | I | II |
| 1 | Зовнішні стіни | 3,3 | 2,8 |
| 2 | Суміщені покриття | 6,0 | 5,5 |
| 3 | Покриття опалюваних горищ (технічних поверхів) та покриття мансардного типу | 4,95 | 4,5 |
| 4 | Горищні перекриття неопалюваних горищ | 4,95 | 4,5 |
| 5 | Перекриття над проїздами та неопалювальними підвалами | 3,75 | 3,3 |
| 6 | Світлопрозорі огорожувальні конструкції | 0,75 | 0,6 |
| 7 | Зовнішні двері | 0,6 | 0,5 |

Основними способами для додаткового теплозахисту стін вважається розміщення утеплювача із зовнішньої або внутрішньої сторони стіни. Іноді зустрічається розташування утеплювача із зовнішньої та внутрішньої сторони одночасно.

Оптимальний варіант розташування утеплювача виявляється на основі аналізу можливих способів з урахуванням їх переваг і недоліків.

Утеплення стін зсередини виконують з пінополістирольних або мінераловатних плит, які закриваються гіпсокартоном або шаром штукатурки.

Утеплення зсередини застосовують рідко, лише як виняток, наприклад, для будівель, які є пам'ятками архітектури або мають рельєфний фасад, а також при утепленні тільки окремих приміщень.

Розташування теплоізоляційного матеріалу з внутрішньої сторони стіни має наступні переваги:

- 1) теплоізоляційний матеріал завжди перебуває в сприятливих умовах і не потребує додаткового захисту;
- 2) роботи з влаштування теплоізоляції можуть виконуватися в будь-який період року.

Недоліками розташування теплозахисту всередині приміщення належать:

- 1) змиження площі приміщення за рахунок зростання товщини стіни;
- 2) для виключення можливості випадання конденсату необхідно влаштовувати додатковий теплозахист у місцях обпирань на стіни плит перекриттів й у місцях примикання до зовнішніх стін внутрішніх стін і перегородок;
- 3) необхідність захисту теплоізоляційного матеріалу та стіни від зволоження шляхом улаштування пароізоляційного шару перед теплоізоляційним матеріалом;
- 4) складність розміщення теплоізоляції в місцях встановлення опалювальних приладів та в межах товщі підлоги.

У більшості випадків додаткова теплоізоляція із внутрішньої сторони стін виконується при реконструкції з повною заміною санітарно-технічних приладів і конструкцій підлоги, то останній недолік можна не враховувати.

Безшовний метод утеплення із зовнішнього боку стіни (рис. 1.5) застосовується найчастіше і є найдешевшим методом утеплення.

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|------------------------|------|
| | | | | | 601-НТ-20342-МР | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | 18 |

Він здійснюється шляхом приклеювання або кріплення до стін за допомогою дюбелів теплоізоляційного шару. Зазвичай використовують пінопласти та пінополістирольні плити або плити з мінеральної вати. На утеплювач наносять тонкий шар фактурної штукатурки по сітці із скловолокна. Цей метод має різновиди, які пропонують різні виробники. Вони відрізняються між собою матеріалами і технологією виконання робіт. Утеплення прослужить довго, якщо воно виконане з матеріалів одного виробника з дотримання його рекомендацій щодо монтажу, а не є комбінацією різних систем і рішень. Для безшовного метода утеплення зовні характерні простота виконання, велика щільність, універсальність застосування та відносно низька вартість.

УТЕПЛЕННЯ СТІНИ. БЕЗШОВНИЙ МЕТОД:

- 1) ІСНУЮЧА СТІНА;**
- 2) ТЕПЛОІЗОЛЯЦІЙНИЙ МАТЕРІАЛ (ПРИКЛЕЄНИЙ АБО ПРИКРІПЛЕНИЙ ДЮБЕЛЯМИ);**
- 3) СІТКА З АРМУЮЧИМ ШАРОМ;**
- 4) ПІДШТУКАТУРНИЙ ШАР;**
- 5) ШТУКАТУРКА**

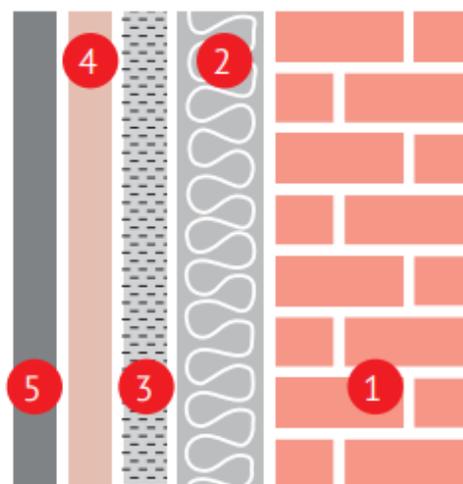


Рисунок 1.5 –Конструкція утеплення стін безшовним методом зовні

Зовнішнє утеплення з додатковою утеплювальною стінкою (рис. 1.6) передбачає добудову до несучої стіни додаткової цегляної стінки товщиною 6,5 або 12 см, яка може потім оштукатурюватися або виконуватися з розшивкою швів. Вільний простір між стінками заповнюється теплоізоляційним матеріалом (пінополістиролом, пінопластом або мінеральною ватою). Цей метод є досить дорогим, але при цьому він дуже довговічний.

| | | | | |
|------|------|----------|--------|------|
| | | | | |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |

601-НТ-20342-МР

Арк.

19

УТЕПЛЕННЯ З ДОДАТКОВОЮ УТЕПЛЮВАЛЬНОЮ СТІНКОЮ:

- 1) ІСНУЮЧА СТІНА;
- 2) ТЕПЛОІЗОЛЯЦІЙНИЙ МАТЕРІАЛ;
- 3) СТІНКА З ОБЛИЦЮВАЛЬНОЇ ЦЕГЛИ;
- 4) З'ЄДНУВАЛЬНІ АНКЕРИ

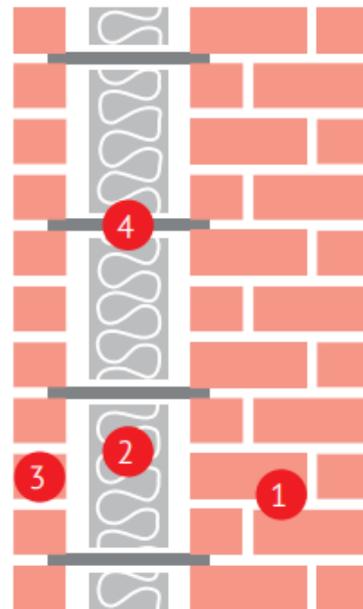


Рисунок 1.6 – Конструкція зовнішнього утеплення з додатковою стінкою

Зовнішнє утеплення методом вентильованого фасаду. Він полягає в монтажі спеціального каркасу зі сталі або алюмінію, який покривається декоративними облицювальними матеріалами, такими як плити, сайдинг, профільовані листи. В якості утеплювача для вентильованого фасаду зазвичай застосовують мінеральну вату. Завдяки конструктивним особливостям такої конструкції всередині фасаду здійснюється вентиляція природним способом за рахунок різниці температур зовнішнього та внутрішнього повітря. Циркулюючи між шарами, повітря здійснює висушування мінеральної вати у разі потрапляння вологи. Повітряний прошарок має ширину від 40 мм й ефективно зберігає тепло, а також захищає стіни від пошкоджень під впливом несприятливих погодних умов. Суттєвою перевагою методу вентильованого фасаду є можливість здійснення робіт навіть у холодну пору року.

Розташування теплозахисту зовні має наступні переваги:

- 1) утворення захисного шару з низькою теплопровідністю без теплопровідних включень;
- 2) відсутність необхідності влаштування пароізоляційного шару;
- 3) створення нового сучасного вигляду будинку;

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|-----------------|------|
| | | | | | 601-НТ-20342-МР | Арк. |
| | | | | | | 20 |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

- 4) разом із проведенням теплоізоляційних робіт можна усунути дефекти стін;
- 5) розміщення теплоакумулюючого шару в зоні позитивних температур стіни. Це збільшує теплову інерцію стіни й сприяє поліпшенню її теплозахисних властивостей при нестационарній теплопередачі, а також зберігає наступні переваги високих теплоакумулюючих властивостей стіни: короткочасні припливи холодного повітря не спричиняють швидке охолодження приміщення; знижується вплив коливань температури зовнішнього повітря на мікроклімат приміщення;
- б) відсутні проблеми розміщення теплоізоляції в місцях встановлення приладів опалення.

Єдиним недоліком цього варіанту є необхідність влаштування по теплоізоляції надійного захисного шару, а також використання для проведення робіт штукатурних засобів, що мають високу вартість.

Теплозахист із зовнішнього та внутрішнього боку стіни одночасно зазвичай не використовується, оскільки характеризується великою трудомісткістю робіт й відповідною вартістю.

Для збільшення енергоефективності будівлі та забезпечення комфортних умов проживання потрібно звести до мінімуму всі види тепловтрат. Виходячи з цього необхідно:

1. Виявити місця підвищених тепловтрат за допомогою тепловізійного обстеження огорожувальних конструкцій.
2. Установити ефективну систему опалення, що дозволить знизити витрати палива приблизно на 18%.
3. Підвищити теплозахисні властивості стін за допомогою утеплювача.
4. Установити якісні дверні блоки та профільні віконні системи, що дозволить знизити витрату енергії на 27 – 32 %.
5. Для приватного будинку особливу увагу слід приділити теплоізоляції покрівлі та горищного перекриття, оскільки тепле повітря завжди піднімається вгору за рахунок меншої густини й швидше передає тепло через стелю й дах.

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|------------------------|------|
| | | | | | 601-НТ-20342-МР | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | 21 |

Основні напрямки тепловтрат приватної будівлі показано на рисунку 1.7.



Рисунок 1.7 – Основні напрямки втрат тепла в приватному будинку

1.2.4 Енергозберігаючі рішення в системах опалення індивідуальних будинків.

Модернізація системи опалення передбачає:

- 1) встановлення вискоефективного котла з ККД $> 85\%$;
- 2) встановлення пристроїв для використання альтернативних джерел енергії;
- 3) встановлення сучасних опалювальних приладів високої ефективності, зокрема біметалічних радіаторів;
- 4) підключення терморегуляторів і термостатів для автоматичного погодного та програмного регулювання надходжень тепла (рис. 1.6);
- 5) регулярна промивка системи опалення (накип навіть товщиною до 1 мм приблизно знижує тепловіддачу приладів на 15%);
- 6) установлення тепловідбиваючого екрану на ділянку стіни за радіатором (дозволяє підвищити температуру в приміщенні на 2 – 3°C).

Оскільки радіатори системи опалення розташовуються здебільшого під вікнами на відстані приблизно 20 мм від зовнішніх стін, то частина теплового потоку від радіаторів витрачається на нагрівання стін за ними. Теплоізоляційний рефлектор виготовляється із спіненого полімерного

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|------------------------|------|
| | | | | | 601-НТ-20342-МР | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | 22 |

матеріалу, має товщину 5 – 7 мм, поверхня вкрита фольгою. Прикладами можуть бути Пінофол, Пінопропілен. Зазвичай вони є самоклеючими або ж кріпляться до стіни за допомогою клейких розчинів типу «рідкі цвяхи». Тепловідбиваюча поверхня із фольги перешкоджає нагріванню стіни й забезпечує зростання температури в приміщенні.

Терморегулятори опалення дозволяють здійснювати кількісне регулювання, змінюючи залежно від зміни температури в приміщенні кількість теплоносія, що проходить через опалювальний прилад. Таким чином збільшується або зменшується кількість тепла, що передається радіатором. Терморегулятори опалення встановлюють безпосередньо на опалювальному приладі або перед ним на подаючому трубопроводі. Терморегулятори дозволяють встановлювати температуру в приміщенні в діапазоні від +6 °С до +28 °С. Ці пристрої дозволяють уникати перегріву приміщень і забезпечують економію енергії близько 10%, яка споживається на опалення будівель. Крім цього, терморегулятори опалення забезпечують в приміщеннях комфортну температуру повітря.

Окрім перелічених заходів, варто звернути увагу на додаткові організаційно-дизайнерські заходи:

- 1) ширина підвіконня не повинна бути великою, щоб не перешкоджати поширенню конвективного тепла від радіатора;
- 2) не доцільно закривати прилади опалення шторами та сторонніми предметами;
- 3) варто надавати перевагу світлим та теплим кольорам в інтер'єрі;
- 4) щільні штори та жалюзі на вікнах дещо знижують тепловтрати через вікна.

Врахування в інтер'єрі організаційно-дизайнерських рекомендацій кардинально ситуацію не змінить, але позитивно вплине на тепловий комфорт у приміщенні, підвищивши температуру повітря на 1 – 2 °С.

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|------------------------|------|
| | | | | | 601-НТ-20342-МР | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | 23 |

2 ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ, ВИБІР МЕТОДІВ ДОСЛІДЖЕНЬ

2.1 Постановка задачі

На основі аналізу існуючого стану енергоефективності будинків в Україні та вивчення можливостей і порядку проведення енергетичного аудиту сформулюємо основні задачі дослідження.

2.1.1 Мета та завдання дослідження.

Мета роботи – аналіз шляхів підвищення енергетичної ефективності котеджів та розроблення рекомендацій з енергозбереження для конкретного будинку.

Задачі дослідження:

- вивчити сучасний стан енергетичної ефективності приватних житлових будинків в Україні;
- дослідити нормативну базу України в сфері енергозбереження;
- обґрунтувати методику проведення досліджень енергетичних характеристик житлових будинків;
- виконати тепловізійне обстеження індивідуального будинку в м. Полтава;
- провести теплотехнічний розрахунок огорожуючих конструкцій будинку та визначити потрібну потужність системи опалення;
- виконати оцінку енергоефективності існуючого приватного будинку в м. Полтава;
- розробити рекомендації щодо термомодернізації котеджу;
- виконати техніко-економічне порівняння джерел тепла на традиційному та альтернативному паливі;
- виконати розрахунок потенційного енергозбереження за рахунок впровадження запропонованих заходів.

Об'єкт дослідження – індивідуальний житловий будинок у м. Полтава.

Предмет дослідження – енергоефективність зовнішніх огорожуючих конструкцій та теплогенеруючого обладнання будинку.

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|------------------------|------|
| | | | | | 601-НТ-20342-МР | Арк. |
| | | | | | | 24 |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

2.1.2 Вибір об'єкту дослідження. Опис та локалізація.

Усі приватні житлові будинки України мають досить типові проблеми і розташовані в одній із двох температурних зон згідно [9]. Тому для аналізу візьмемо один із одноповерхових приватних будинків, розташований у найбільшій температурній зоні I та найбільшому кліматичному районі I.

Для проведення досліджень вибрано будинок, який розташований за адресою пров. Хіммашівський, 2 в м. Полтава Полтавської області.

Зовнішній вигляд будинку показано в додатку А. Представлені вигляди побудовані за допомогою комплексної програми 3D-моделювання Cinema 4D.

2.1.3 Вихідні дані та технічна документація об'єкту дослідження

Вихідні дані для розрахунків візьмемо з наявної технічної документації на будинок, ДБН В.2.6-31:2016 [9] та ДСТУ-Н Б В.1.1-27: 2010 [10] для кліматичних умов м.Полтава.

Згідно [9] будинок належить до температурної зони I (рисунок 2.1), а згідно [10] – розташований у кліматичному районі I (рисунок 2.2). Районування України за кількістю градусо-днів опалювального періоду згідно [10] показано на рисунку 2.3.

Оптимальні та допустимі норми температури, відносної вологості та швидкості руху повітря в приміщеннях житлових будинків наведені в додатку Г.

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|------------------------|------|
| | | | | | 601-НТ-20342-МР | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | 25 |



Рисунок 2.1 – Температурні зони України за ДБН В.2.6-31:2016 [9]

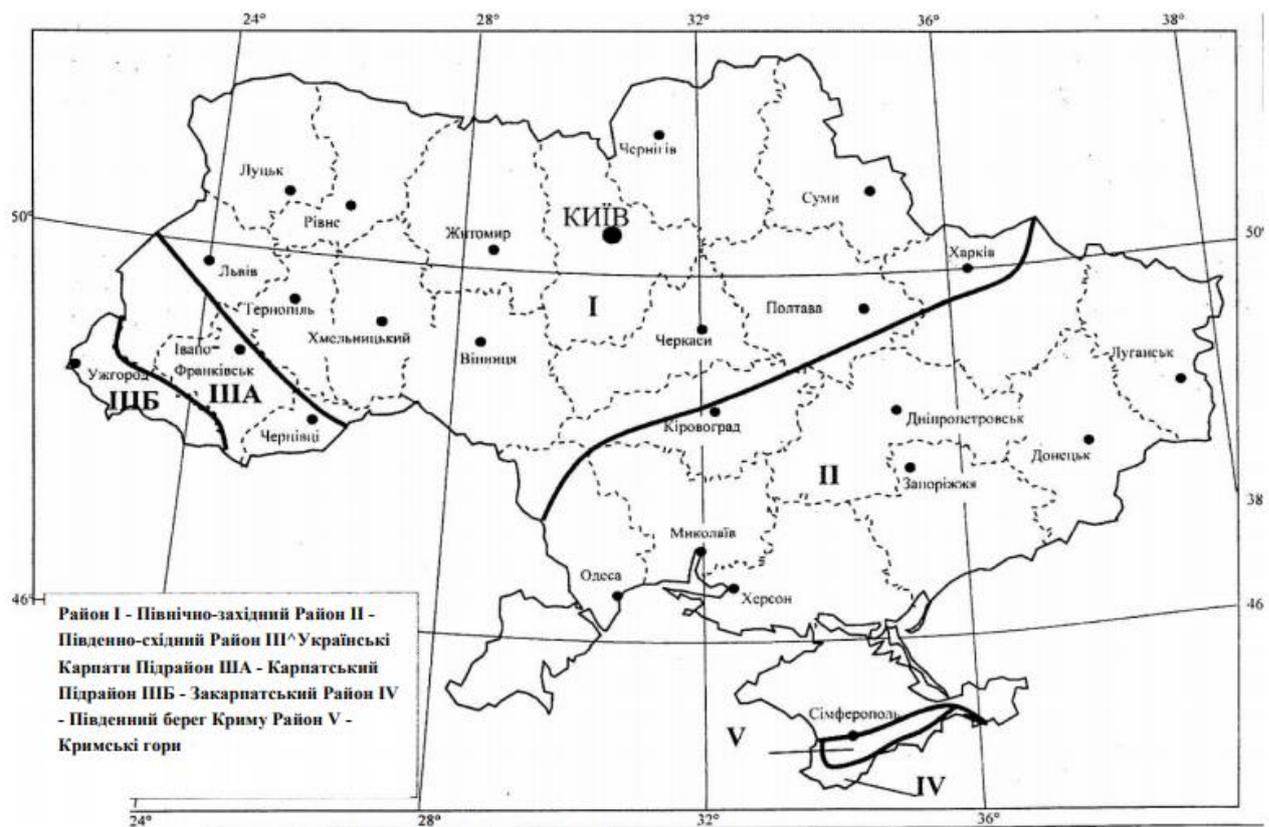


Рисунок 1 - Архітектурно-будівельне кліматичне районування території України

Рисунок 2.2 – Кліматичні райони України за ДСТУ-Н Б В.1.1-27:2010 [10]

| | | | | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|--|--|--|--|------|
| | | | | | | | | | Арк. |
| | | | | | | | | | 26 |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | | | | |

601-НТ-20342-МР

Таблиця 2.2 – Переважаючі напрямки вітру та його швидкість для м. Полтава згідно [10]

| Область, місто | Переважаючий напрям вітру, його повторюваність, % Середня швидкість вітру, м/с | | | | | | | | | | | |
|-----------------------------|---|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|----------------------------|-----------------------|----------------------|--------------------------|----------------------|-----------------------|------------------------|
| | I | II | III | IV | V | VI | VII | VIII | IX | X | XI | XII |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 |
| Миколаївська область | | | | | | | | | | | | |
| Миколаїв | <u>Пн, 20</u> 4,0 | <u>ПнСх, 19</u> 4,2 | <u>ПнСх, 18</u> 4,1 | <u>Пд, 22</u> 3,9 | <u>Пд, 19</u> 3,6 | <u>Пд, 18</u> 3,4 | <u>Пн, 26</u> 3,3 | <u>Пн, 25</u> 3,2 | <u>ПнЗ, 19</u> 3,2 | <u>Пн, 17</u> 3,4 | <u>Сх, 17</u> 3,9 | <u>Пн, 16</u> 3,9 |
| Одеська область | | | | | | | | | | | | |
| Ізмаїл | <u>Пн, 22</u> 3,7 | <u>Пн, 23</u> 4,1 | <u>Пн, 20</u> 4,2 | <u>Пд, 18</u> 4,1 | <u>Пд, 20</u> 3,7 | <u>Пд, 20</u> 3,4 | <u>ПнЗ, 21</u> 3,1 | <u>Пн, 22</u> 2,9 | <u>Пн, 18</u> 2,9 | <u>Пн, 21</u> 3,0 | <u>Пн, 19</u> 3,3 | <u>З, 20</u> 3,5 |
| Любашівка | <u>ПнЗ, 15</u> 3,8 | <u>Пн, 15</u> 4,1 | <u>ПдСх, 16</u> 4,0 | <u>ПдСх, 17</u> 3,9 | <u>Пн, 19</u> 3,3 | <u>Пн / ПнЗ, 19</u> 2,9 | <u>ПнЗ, 24</u> 2,8 | <u>Пн, 28</u> 2,8 | <u>Пн, 18</u> 2,9 | <u>Пн, 17</u> 3,1 | <u>З, 16</u> 3,6 | <u>З, 16</u> 3,7 |
| Одеса | <u>Пн, 21</u> 4,1 | <u>ПнСх, 20</u> 4,1 | <u>Пн, 19</u> 4,0 | <u>Пд, 23</u> 3,5 | <u>Пд, 23</u> 3,2 | <u>Пд, 22</u> 3,0 | <u>ПнЗ, 22</u> 2,9 | <u>Пн, 23</u> 3,0 | <u>Пн / З, 18</u> 3,2 | <u>Пн, 18</u> 3,6 | <u>З, 18</u> 4,1 | <u>З, 20</u> 4,0 |
| Роздільна | <u>ПнСх, 17</u> 2,9 | <u>Сх, 19</u> 3,1 | <u>ПнСх, 19</u> 3,1 | <u>Пд, 19</u> 3,0 | <u>Пд, 19</u> 2,8 | <u>ПнЗ, 18</u> 2,5 | <u>ПнЗ, 23</u> 2,4 | <u>Пн, 22</u> 2,4 | <u>ПнЗ, 16</u> 2,5 | <u>Пд, 16</u> 2,5 | <u>Сх, 17</u> 2,8 | <u>ПнЗ, 16</u> 2,7 |
| Сарата | <u>Пн, 30</u> 2,8 | <u>Пн, 32</u> 3,0 | <u>Пн, 29</u> 3,0 | <u>Пн, 24</u> 2,8 | <u>Пн, 25</u> 2,5 | <u>Пн, 27</u> 2,4 | <u>Пн, 28</u> 2,4 | <u>Пн, 38</u> 2,3 | <u>Пн, 33</u> 2,2 | <u>Пн, 35</u> 2,2 | <u>Пн, 28</u> 2,5 | <u>Пн, 30</u> 2,6 |
| Полтавська область | | | | | | | | | | | | |
| Лубни | <u>З, 15</u> 2,7 | <u>Сх, 18</u> 2,8 | <u>Сх, 18</u> 2,5 | <u>Пд, 17</u> 2,4 | <u>Пд, 16</u> 2,2 | <u>ПнЗ, 17</u> 1,9 | <u>ПнЗ, 21</u> 1,9 | <u>Пн, 21</u> 1,7 | <u>З, 18</u> 1,8 | <u>З, 18</u> 2,0 | <u>З, 18</u> 2,3 | <u>З, 17</u> 2,4 |
| Полтава | <u>З, 20</u> 4,1 | <u>Сх, 21</u> 4,5 | <u>Сх, 20</u> 4,2 | <u>ПнСх, 17</u> 3,8 | <u>ПнСх, 16</u> 3,4 | <u>З, 17</u> 3,1 | <u>З, 20</u> 2,8 | <u>Пн, 18</u> 2,8 | <u>З, 18</u> 2,9 | <u>З, 22</u> 3,4 | <u>З, 18</u> 3,9 | <u>З, 16</u> 4,0 |
| Рівненська область | | | | | | | | | | | | |
| Рівне | <u>З, 34</u> 4,8 | <u>З, 22</u> 4,8 | <u>З, 20</u> 4,6 | <u>З, 20</u> 4,3 | <u>З, 17</u> 3,8 | <u>З, 25</u> 3,5 | <u>З, 29</u> 3,3 | <u>З, 25</u> 3,1 | <u>З, 32</u> 3,7 | <u>З, 27</u> 4,2 | <u>З, 27</u> 4,9 | <u>З, 29</u> 4,8 |
| Сарни | <u>Пд, 21</u> 3,1 | <u>ПдСх, 20</u> 3,1 | <u>ПдСх, 22</u> 3,0 | <u>ПдСх, 15</u> 2,7 | <u>Пн, 16</u> 2,4 | <u>З, 19</u> 2,2 | <u>З, 23</u> 2,0 | <u>З, 19</u> 1,8 | <u>З, 22</u> 2,1 | <u>З, 20</u> 2,4 | <u>З, 21</u> 2,8 | <u>З, 19</u> 2,8 |
| Сумська область | | | | | | | | | | | | |
| Дружба | <u>ПдСх, 17</u> 3,2 | <u>ПдСх, 22</u> 3,3 | <u>ПдСх, 22</u> 3,1 | <u>ПдСх, 18</u> 3,0 | <u>ПдСх, 19</u> 2,7 | <u>ПнЗ, 17</u> 2,5 | <u>ПнЗ, 19</u> 2,4 | <u>Пн, 18</u> 2,3 | <u>З, 19</u> 2,4 | <u>З, 17</u> 2,8 | <u>ПдЗ, 18</u> 3,1 | <u>ПдСх, 19</u> 3,1 |

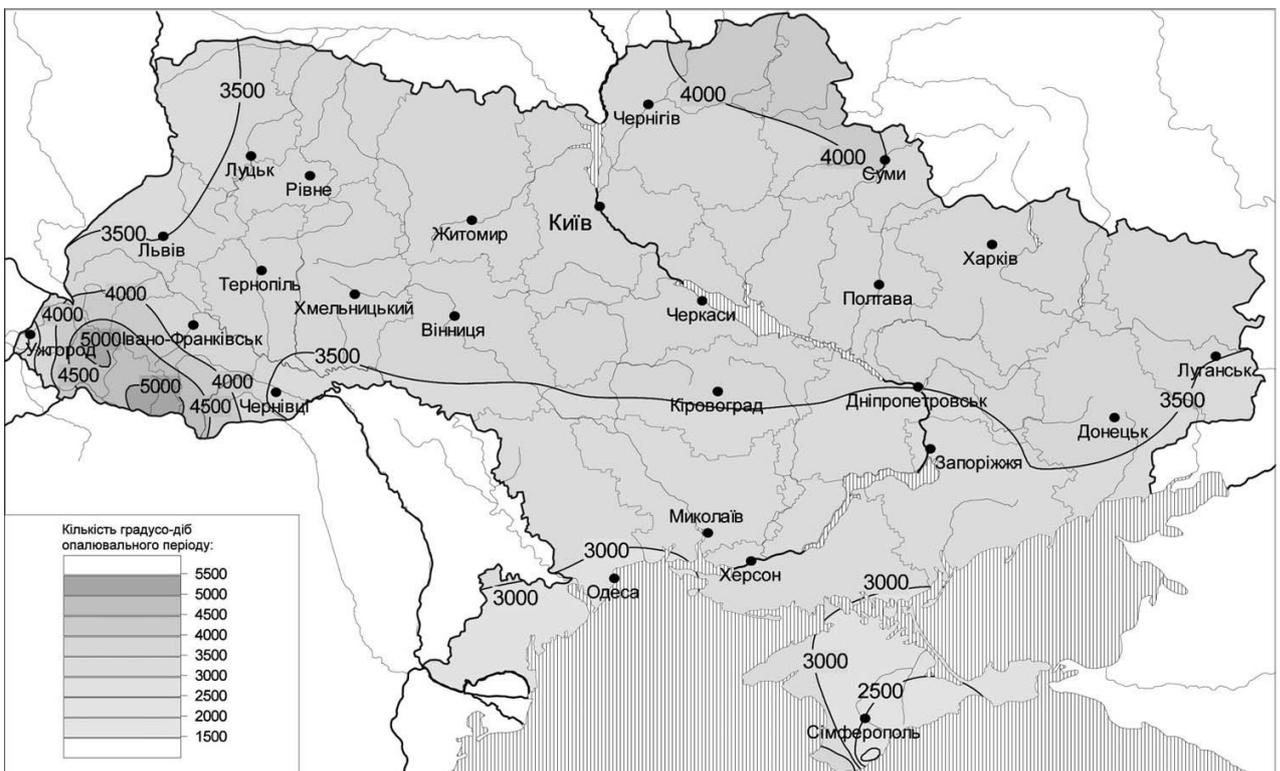


Рисунок 2.3 – Районування України за кількістю градусо-днів опалювального періоду згідно ДСТУ-Н Б В.1.1-27:2010 [10]

Шляхом інтерполяції визначаємо кількість градусодіб для Полтави – близько 3700. Перевіримо отримане значення розрахунком:

$$ГДОП = Z_{оп} (t_B - t_{ср.оп}) = 178*(20+0,8) = 3702,4.$$

($Z_{оп}$ - тривалість опалювального періоду при середньорічній температурі повітря $\leq +8^{\circ}C$; t_B - температура внутрішнього повітря будівлі, $^{\circ}C$; $t_{ср.оп}$ - середня температура опалювального періоду, $^{\circ}C$).

Основні розрахункові параметри будинку в умовах м. Полтава подані в таблиці 2.3.

Таблиця 2.3 –Розрахункові параметри будинку для умов м. Полтава [9, 10]

| Найменування розрахункових параметрів | Поз. | Од. | Величин |
|---|------------|----------------------|---------|
| Розрахункова температура внутрішнього повітря | t_B | $^{\circ}C$ | 20 |
| Розрахункова температура зовнішнього повітря | $t_з$ | $^{\circ}C$ | -23 |
| Розрахункова температура горища | $t_{вг}$ | $^{\circ}C$ | 2 |
| Тривалість опалювального періоду | n_o | діб | 178 |
| Середня температура зовнішнього повітря з опалювального періоду | $t_{ср.о}$ | $^{\circ}C$ | -0,8 |
| Розрахункова кількість градусо-днів опалювального періоду | D_d | $^{\circ}C \cdot дн$ | 3702,4 |

Розташування будинку на генплані показано на рисунку 2.4.

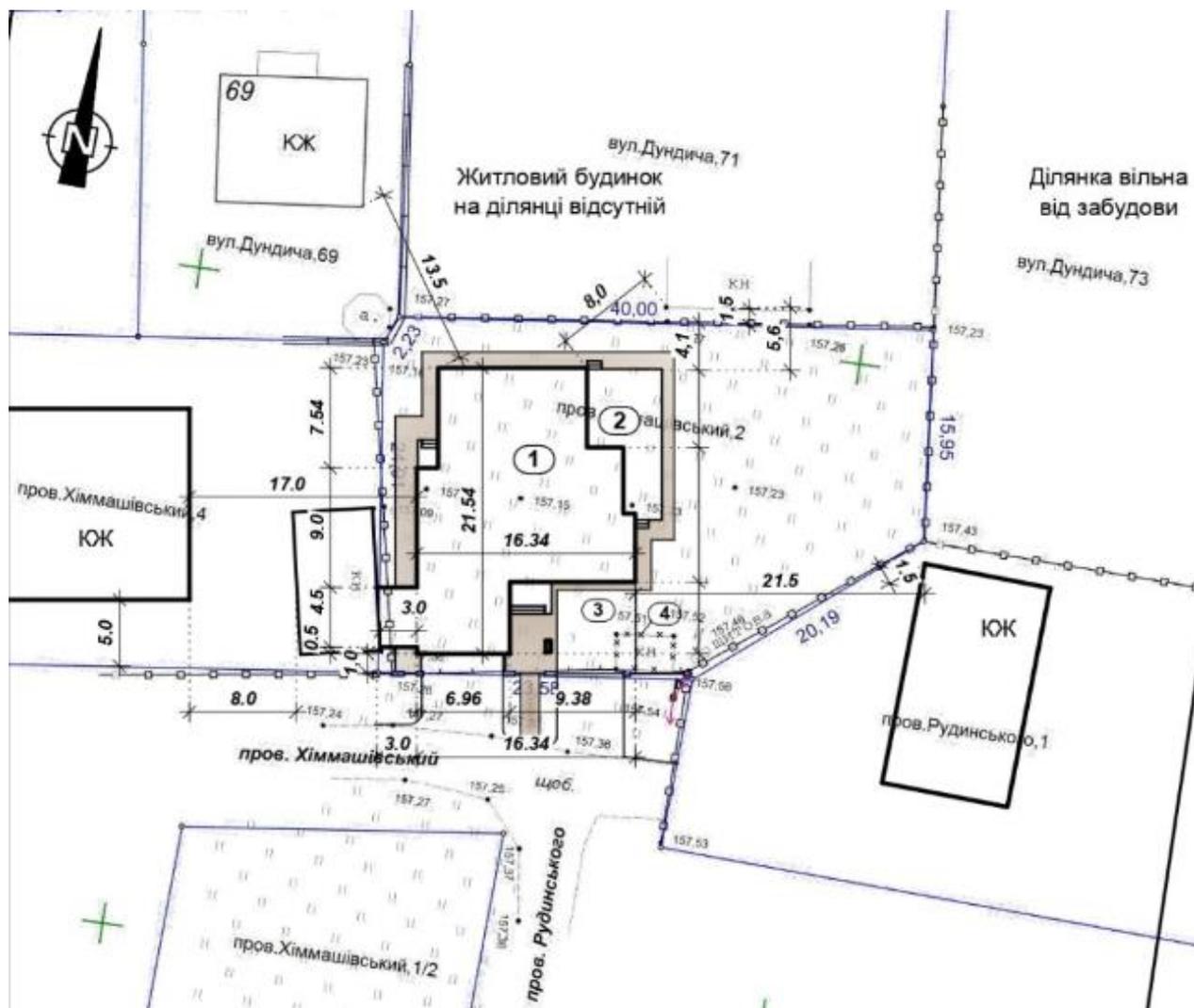


Рисунок 2.4 – Генеральний план ділянки

1 – житловий будинок, 2 – тераса, 3 – майданчик для авто,
4 – сарай демонтований

План будинку показано на рисунку 2.5.

| | | | | |
|------|------|----------|--------|------|
| | | | | |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |

601-НТ-20342-МР

Арк.

30

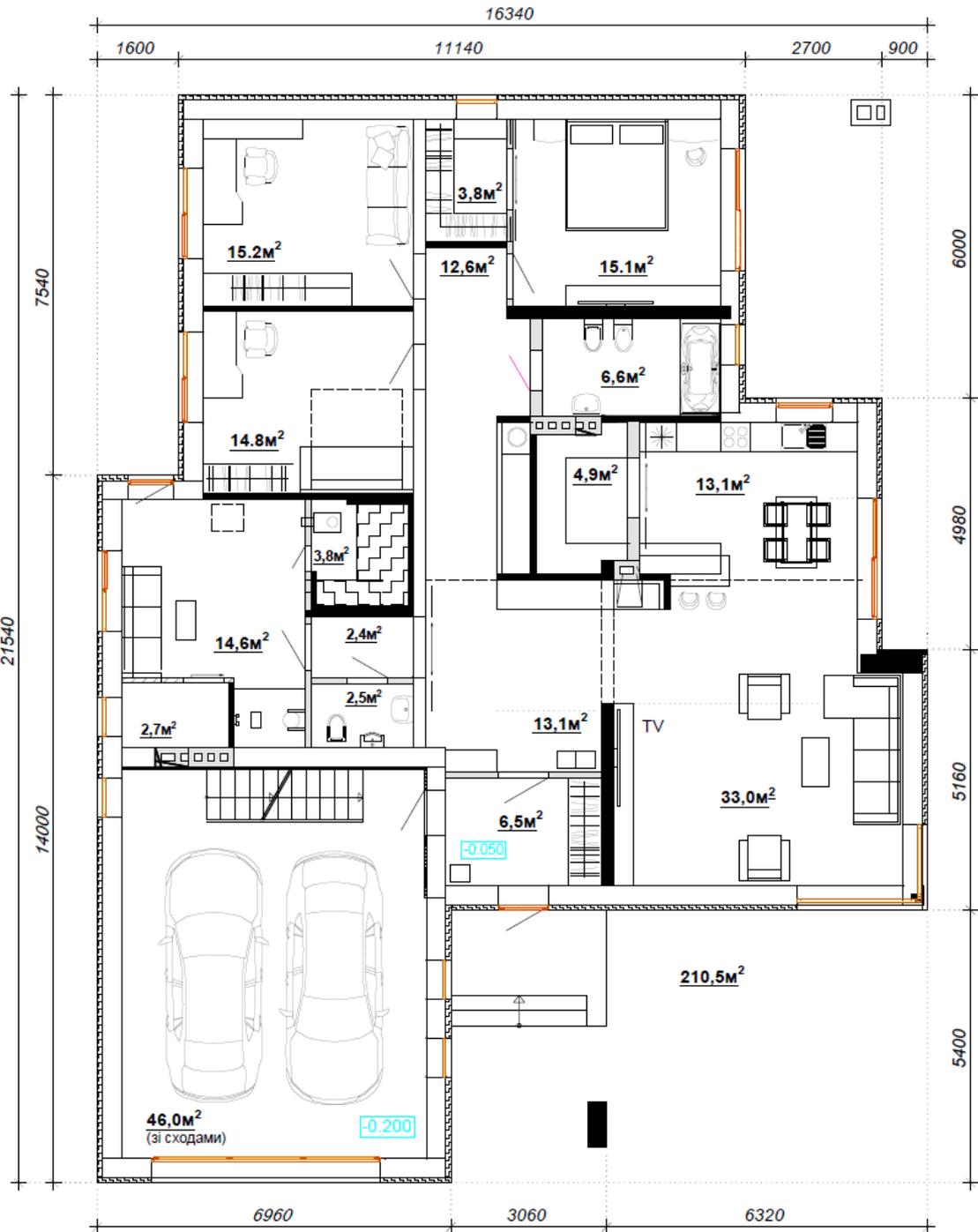


Рисунок 2.5 – План будинку

Житловий будинок побудовано з глиняної (червоної) цегли, товщина стін – 380 мм. Додаткова теплоізоляція наразі відсутня. За проектом передбачена наступна конструкція стіни:

- мінеральна штукатурка 5мм;
- фасадна сітка;

| | | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|--|------------------------|------|
| | | | | | | 601-НТ-20342-МР | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | | 31 |

- клей для теплоізоляції армуючий;
- утеплювач фасадний Roswool Fasrock – 150мм ;
- клей для теплоізоляції;
- ґрунтовка;
- кладка з керамічної цегли – 380мм;
- штукатурка – 20мм.

Склопрозорі конструкції будівлі – це двокамерні металопластикові вікна типової для м. Полтава конструкції 4-10-4-10-4.

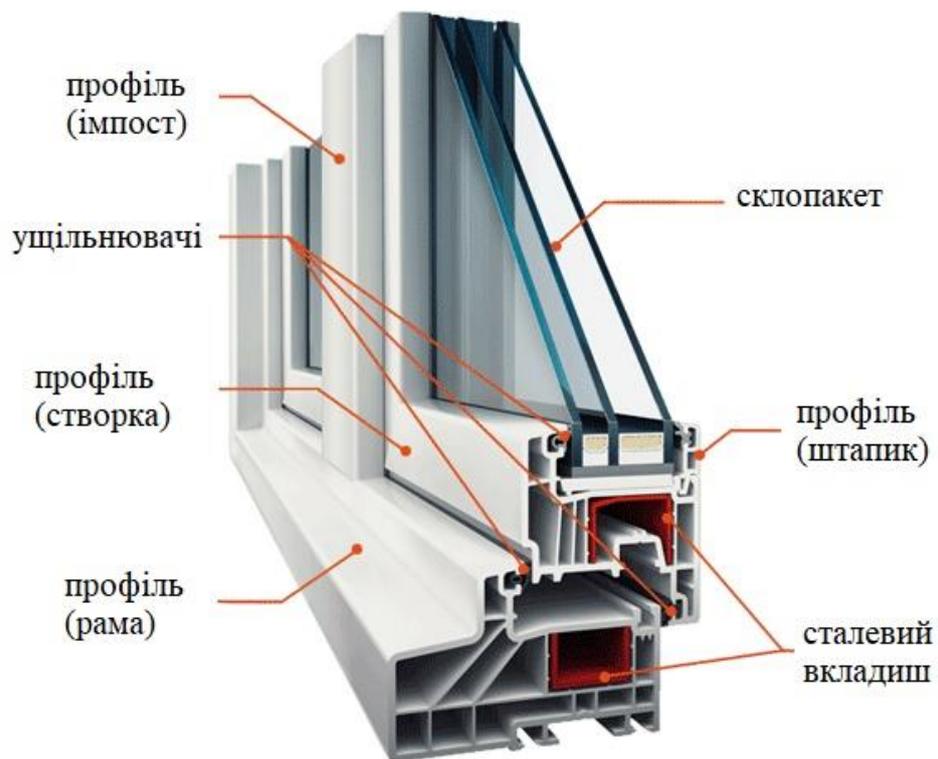


Рис.2.6 – Будова віконної конструкції

Конструкція перекриття стелі:

- ходова дошка (шпунтована дошка) 32мм;
- лаги (крок 450) – 50 мм;
- контр лаги 30 мм;
- супердифузійна мембрана;
- балки перекриття h100мм;
- утеплювач базальтовий між дерев'яними констр. перекриття 200мм;

| | | | | |
|------|------|----------|--------|------|
| | | | | |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |

601-НТ-20342-МР

Арк.

32

- утеплювач рулонний Ursa 50мм;
- пароізоляція фольгована;
- рейка 30мм крок 500мм;
- повітряний прошарок 30мм;
- конструкція підвісної стелі.

Конструкція підлоги:

- керамічна плитка для підлоги;
- клей для плитки - 20мм;
- цементно-пісчана стяжка з конструкцією;
- теплої підлоги - 100мм;
- фольга для теплої підлоги;
- екструдований пінополістирол - 50мм;
- вирімнююча цементнопісчана стяжка 50мм;
- гідроізоляція аквоізол;
- бетон кл. в 15 армований сіткою 150x150;
- з арматури а300с ø8 - 100мм;
- плівка пвх;
- ущільнений ґрунт, без рослинного шару.

Загальні дані про будівлю представлені в таблиці 2.3.

Таблиця 2.3 – Загальні дані про будівлю

| Параметр | Одиниці вимірювання | Значення |
|--|---------------------|----------|
| Рік забудови | | 2020 |
| Кількість поверхів | | 1 |
| Площа забудови, $S_{\text{заб}}$ | м^2 | 275,5 |
| Об'єм загальний, $V_{\text{заг}}$ | м^3 | 826,5 |
| Чиста висота приміщення, $h_{\text{прим}}$ | м^3 | 3,0 |

2.1.4 Опис способу виконання систем опалення та гарячого водопостачання в будинку.

Опалення і гаряче водопостачання забезпечується двохоконтурним газовим котлом Ferroli Diva C20.



Рисунок 2.7 – Фото котла та розподільних трубопроводів

Труби системи гарячого водопостачання поліпропіленові Ø25x3мм, прокладені в конструкції підлоги в ізоляції до кухні та ванної кімнати.

Система опалення двотрубна, металопластикові трубопроводи прокладені приховано й мають діаметр від 15 до 25 мм.

Опалювальні прилади – біметалеві радіатори. Зовнішній вигляд показано на рисунку 2.8.

| | | | | |
|------|------|----------|--------|------|
| | | | | |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |

601-НТ-20342-МР

Арк.

34



Рисунок 2.8 – Підключення опалювальних приладів

2.2 Методика експериментальних досліджень

Перед початком експерименту потрібно визначитися з необхідними приладами та правилами їх використання. Розглянемо методику проведення натурних досліджень за допомогою тепловізора, а для теоретичних досліджень будемо використовувати методику теплотехнічних розрахунків огороджувальних конструкцій.

2.2.1 Опис приладів для проведення вимірювань при виконанні тепловізійного обстеження.

Для дослідження будинку будемо використовувати тепловізор ULIRVISION TI384.

На рисунку 2.10 показано фотографії тепловізора з офіційного сайту виробника [28].

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|------------------------|------|
| | | | | | 601-НТ-20342-МР | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | 35 |



Рисунок 2.10 – Фотографії тепловізора ULIRVISION TI384 [28]

Серед переваг тепловізора як прилада для дистанційного вимірювання температур на поверхнях та досліджень витоків тепла через огорожуючу конструкції:

- 1) висока чутливість;
- 2) багатофункціональність;
- 3) висока точність вимірювань;
- 4) висока швидкість вимірювань;
- 5) зручність у роботі;
- 6) наочність результатів та їх висока інформативність.

Головним недоліком є дуже висока вартість. За даними офіційного сайту [28] ULIRVISION TI384 коштує 99794 грн.

Принцип дії тепловізора базується на ефекті термографії, який дозволяє отримувати зображення в інфрачервоному діапазоні випромінювання. Камера приладу фіксує випромінювання й перетворює їх у цифровий сигнал, який відображається на моніторі приладу як кольорова тепловізійна картинка.

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|------------------------|------|
| | | | | | 601-НТ-20342-МР | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | 36 |

Методика досліджень за допомогою тепловізора полягає в зніманні даних про витоки тепла із будинку в інфрачервоному спектрі. За отриманими результатами визначаються зони підвищених тепловтрат, які наочно видно в більш теплих тонах на кольоровій термограмі. Окрім кольорової картини тепловізор показує значення температур на досліджуваних поверхнях у 4-х точках, відповідно може використовуватися для дистанційного вимірювання температур як пірометр. Для цього достатньо навести тепловізор на потрібну поверхню й зафіксувати зображення, за потреби більш точного наведення на конкретну точку є можливість додаткового увімкнення лазерного прицілу.

Методика обстеження складається з наступних кроків:

- 1) перевірка загальних тепловтрат через стіни, вікни й дах;
- 2) пошук ділянок із підвищеними тепловтратами в характерних проблемних зонах;
- 3) аналіз розсіювання тепла через щілини на створках вікон та дверних прорізів;
- 4) оцінка витоків тепла через системи вентиляції та кондиціонування (за їх наявності).

Для отримання достовірних результатів при проведенні тепловізійного обстеження необхідно виконати низку умов, інакше результати можуть виявитися недійсними.

Умови виконання тепловізійного обстеження:

- 1) різниця температур між внутрішнім та зовнішнім повітрям має бути не менше 10 – 20 °С;
- 2) вимірювання краще проводити рано вранці до того як фасади й дах нагріються сонячними променями;
- 3) обов'язкова відсутність атмосферних опадів та вітру швидкістю понад 8 м/с.

Найточніші результати тепловізійної зйомки можна отримати при виконанні умови прогрівання огорожуючих конструкцій сонцем на протязі не більше трьох годин, тобто починати роботу найкраще через 3 години після сходу сонця.

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|------------------------|------|
| | | | | | 601-НТ-20342-МР | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | 37 |

Крім теплозахисних властивостей огорожувальних конструкцій тепловізор дозволяє досліджувати також роботу опалювального обладнання.

Результатом робіт, проведених із тепловізором є тепловізійні знімки – термограми. На них досить яскраво видно холодні та гарячі ділянки. Теплі кольори свідчать про витоки енергії, а холодні відповідають поверхням із меншою температурою й відповідно кращими теплоізоляційними властивостями. Термограми, як і знімки цифрових фотоапаратів, залишаються в пам'яті приладу, мають стандартне графічне розширення jpeg й можуть переглядатися екрані приладу. Для зручності розгляду та проведення аналізу термограми переносять на ПК за допомогою спеціального кабелю, що міститься в комплекті приладу.

На основі отриманих результатів можна розробляти:

- 1) рекомендації до проведення енергозберігаючих заходів;
- 2) кошторис на впровадження необхідних заходів;
- 3) плани робіт із термомодернізації;
- 4) висновки про енергоефективність об'єкту;
- 5) перелік ділянок надмірних тепловтрат із детальним описом і зазначенням причин їх появи;
- 6) способи усунення недоліків та підвищення енергоефективності будинку;
- 7) список заходів, які необхідно провести для скорочення втрат тепла;
- 8) розрахунок економії коштів за рахунок впровадження енергозберігаючих заходів;
- 9) прогнозований термін окупності капітальних затрат на термомодернізацію.

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|------------------------|------|
| | | | | | 601-НТ-20342-МР | Арк. |
| | | | | | | 38 |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

2.2.2 Методика проведення теплотехнічних розрахунків зовнішніх огорожувальних конструкцій будинку

Метою теплотехнічного розрахунку є визначення нормативного опору теплопередачі огорожувальних конструкцій R_0^H , м²·К/Вт і відповідний підбір товщини утеплюючого шару огорожень, при якому забезпечується досягнення загального опору теплопередачі не нижче нормативного, а також підбір конструкції заповнення вікон та дверей.

Отже, теплотехнічний розрахунок виконується з урахуванням виконання вимоги:

$$R_0 \geq R_0^H, \quad (2.1)$$

де R_0 – опір теплопередачі огорожувальної конструкції, м²·°С/Вт ;

R_0^H – нормативний опір теплопередачі огорожувальної конструкції, м²·°С/Вт .

Нормативний опір теплопередачі огороження , R_0^H , м²·К/Вт, може бути розрахований за формулою:

$$R_0^H = \frac{n \cdot (t_g - t_3)}{\Delta t^H \cdot a_g}, \quad (2.2)$$

де t_g - значення розрахункової температури повітря у приміщенні, °С,
(додаток В);

Δt^H - нормативний температурний перепад між температурою внутрішнього повітря і температурою внутрішньої поверхні огорожувальної конструкції, °С;

n - коефіцієнт, який враховує положення огороження відносно зовнішнього повітря;

t_3 - значення розрахункової зимової температури зовнішнього повітря, °С.
Зовнішня температура приймається з урахуванням теплової інерції огорожувальної конструкції D .

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|------------------------|------|
| | | | | | 601-НТ-20342-МР | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | 39 |

Теплова інерція багатошарової конструкції розраховується:

$$D = R_1 \cdot S_1 + R_2 \cdot S_2 + R_3 \cdot S_3 + R_4 \cdot S_4 + R_5 \cdot S_5, \quad (2.3)$$

де S_1, S_2, S_3, S_4, S_5 - розрахункові коефіцієнти теплосвоєння матеріалу окремих шарів огорожувачої конструкції, Вт/м²·К.

Для високоінерційних стін із $D > 7$ у якості розрахункової t_3 приймається температура холодної п'ятиденки t_{x5d} із забезпеченістю 0,92.

Залежно від призначення будинку та температурної зони, в якій він розташований за додатком Б [9] (рис. 2.1), встановлюється мінімальний опір теплопередачі огорожувальних конструкцій $R_{q \min}$. Оскільки будинок розташований у першій температурній зоні, то приймаються дані, наведені в таблиці 2.4.

Таблиця 2.4 – Мінімум допустиме значення опору теплопередачі ($R_{q \min}$) для зони I

| № | Вид огорожувальної конструкції | Значення $R_{q \min}$, м ² ·К/Вт, для температурної зони I |
|---|---|--|
| 1 | Зовнішні стіни | 3,3 |
| 2 | Суміщені покриття | 6,0 |
| 3 | Покриття опалюваних горищ (технічних поверхів) та покриття мансардного типу | 4,95 |
| 4 | Горищні перекриття неопалюваних горищ | 4,95 |
| 5 | Перекриття над проїздами та неопалювальними підвалами | 3,75 |
| 6 | Світлопрозорі огорожувальні конструкції | 0,75 |
| | Зовнішні двері | 0,6 |

Опір теплопередачі багатошарової огорожувальної конструкції визначають за формулою:

$$R_0 = \frac{1}{\alpha_B} + \sum \frac{\delta_i}{\lambda_i} + \frac{\delta_{yt}}{\lambda_{yt}} + \frac{1}{\alpha_3}, \quad (2.4)$$

де α_B , α_3 – коефіцієнти теплообміну біля внутрішньої і зовнішньої поверхні огорожувачої конструкції, $\text{м}^2 \cdot \text{°C} / \text{Вт}$, згідно [9] (таблиця 2.5);

$\sum \frac{\delta_i}{\lambda_i}$ – сума термічних опорів усіх шарів огорожувачої конструкції, $\text{м}^2 \cdot \text{°C} / \text{Вт}$;

$\frac{\delta_{\text{ут}}}{\lambda_{\text{ут}}}$ – опір теплопередачі шару утеплювача, $\text{м}^2 \cdot \text{°C} / \text{Вт}$;

δ і λ – відповідно товщина й теплопровідність і-го шару огорожувачої конструкції.

Теплотехнічний розрахунок виконується для всіх огорожувачих конструкцій, через які є втрати теплоти: зовнішні стіни, вікна, перекриття над неопалювальними підвалами, горищне перекриття, зовнішні двері, а також внутрішні стіни, котрі відокремлюють суміжні приміщення, якщо різниця температур у них перевищує 3 °C .

Товщина утеплювача визначається за формулою:

$$\delta_{\text{ут}} = \lambda_{\text{ут}} \left(R_o - \frac{1}{\alpha_B} - \sum \frac{\delta_i}{\lambda_i} - \frac{1}{\alpha_3} \right). \quad (2.5)$$

Після уточнення товщини теплової ізоляції відповідно до наявних типорозмірів будівельних матеріалів визначається відповідний їй опір теплопередачі за формулою (2.3).

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|------------------------|------|
| | | | | | 601-НТ-20342-МР | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | 41 |

Таблиця 2.5 – Розрахункові значення коефіцієнтів тепловіддачі внутрішньої $\alpha_{в}$ та зовнішньої $\alpha_{з}$ поверхонь огорожувальних конструкцій [9]

| Тип конструкції | Коефіцієнт | |
|--|--------------|--------------|
| | $\alpha_{в}$ | $\alpha_{з}$ |
| Зовнішні стіни, дахи, покриття, перекриття над проїздами плоскі та з ребрами при відношенні висоти ребра h до відстані між гранями b сусідніх ребер $h/b \leq 0,3$ $h/b > 0,3$ | 8,7 7,6 | 23 23 |
| Перекриття горищ та холодних підвалів | 8,7 | 12 |
| Перекриття над холодними підвалами та технічними поверхами, що розташовані нижче рівня землі | 8,7 | 6 |
| Вікна, балконні двері, вітражі та світлопрозорі фасадні системи | 8,0 | 23 |
| Зенітні ліхтарі | 9,9 | 23 |

Опір теплопередачі склопакета відповідно до ДСТУ Б В.2.6-17-2000 [37] може бути знайдений за формулою:

$$R_o = 1 / [(1-B) / R_p + B / R_{sp}], \quad (2.6)$$

де B - відношення площі скління до площі всього віконного прорізу;

R_p - опір теплопередачі профілю;

R_{sp} - опір теплопередачі склопакета.

Згідно додатка М [9] приведений опір теплопередачі світлопрозорих огорожувальних конструкцій розраховується за формулою:

$$R_{np} = \frac{F_{cn} + \sum_{i=1}^n F_i}{\frac{F_{cn}}{R_{\Sigma cn}} + \sum_{i=1}^n \frac{F_i}{R_{\Sigma i}} + \sum_{j=1}^m k_j L_j},$$

де $R_{\Sigma cn}$ - приведений опір теплопередачі світлопрозорої ділянки, що приймається залежно від характеристик скління (склопакетів) - відстані між шарами скла, виду газонаповнення та ступеня чорноти поверхні скла згідно з таблицею М.1;

F_{cn} - площа світлопрозорої частини, м²;

$R_{\Sigma i}$, F_i , - опір теплопередачі та площа i -го непрозорого елемента;

n - кількість непрозорих елементів конструкції з певними значеннями $R_{\Sigma i}$, F_i ;

k_j - лінійний коефіцієнт теплопередачі, Вт/(м·К), j -го теплопровідного включення, який визначають згідно И.4 [9] на підставі розрахунків двомірних (тримірних) температурних полів або згідно з ДСТУ-Н Б В.2.6-146;

L_j - лінійний розмір, м, j -го конструктивного непрозорого елемента світлопрозорої конструкції;

m - кількість непрозорих елементів конструкції, для яких необхідно визначати k_j .

Досить швидко й точно термічний опір віконних конструкцій можна визначити за допомогою спеціального он-лайн калькулятора [25].

Для підлоги, розташованої безпосередньо на ґрунті, коефіцієнт теплопередачі $k_{\text{підлоги}}$ розраховується за формулою:

$$k = \frac{1}{R_c + \frac{\delta}{\lambda}}, \quad (2.7)$$

де δ – товщина шару утеплювача, м;

λ – коефіцієнт теплопровідності утеплювального шару, Вт/(м²·°С);

Термічний опір R_c , м²·°С/Вт, визначається по зонах шириною 2 м, паралельним зовнішнім стінам:

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|------------------------|------|
| | | | | | 601-НТ-20342-МР | Арк. |
| | | | | | | 43 |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

- для 1-ої зони -2,1;
- для 2-ої зони - 4,3;
- для 3-ої зони - 8,6;
- для площі, що залишилася -14,2.

2.2.3 Розрахунок теплостійкості стінової огорожуючої конструкції.

Розрахунок теплостійкості зовнішньої стіни виконують для самого жаркого місяця теплого періоду року [28].

Метою розрахунку є визначення амплітуди коливання температури на внутрішній поверхні огороження $A_{\tau B}$ і порівняти її з потрібною амплітудою коливання $A_{\tau B}^{нотр}$. Якщо $A_{\tau B} > A_{\tau B}^{нотр}$, необхідно вжити заходи для зменшення дійсної амплітуди коливання температури на внутрішній поверхні стіни.

1. Визначення потрібної амплітуди коливання температури внутрішньої поверхні огороження (°C) для районів із середньомісячною температурою липня °C і вище

$$A_{\tau B}^{нотр} = 2.5 - 0.1 (t_3 - 21) \quad (2.8)$$

З температурою $t_H(VII) < 21^{\circ}\text{C}$ $A_{\tau B}^{нотр} = 2,5$.

Середньомісячна температура липня $t_H(VII) = 18,3^{\circ}\text{C}$, тому $A_{\tau B}^{нотр} = 2,5$.

Визначення коефіцієнта тепловіддачі на зовнішній поверхні огороження a_3 , для літніх умов

$$a_3 = 1.16 \cdot (5 + 10\sqrt{v}), \quad (2.9)$$

де v - мінімальна із середніх швидкостей вітру по румбах за липень (приймають за кліматичними даними, але не менше 1 м/с).

Визначення значення розрахункової амплітуди коливань температури зовнішнього повітря, °C

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|------------------------|------|
| | | | | | 601-НТ-20342-МР | Арк. |
| | | | | | | 44 |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

$$A_{\tau_3}^{розр} = 0.5 A_{\tau_3} + \frac{\rho (I_{макс} - I_{ср})}{a_3}, \quad (2.10)$$

де A_{τ_3} - максимальна амплітуда добових коливань температури зовнішнього повітря в липні, °С, за [28];

ρ - коефіцієнт поглинання сонячної радіації матеріалом зовнішньої поверхні огороження;

$I_{макс}, I_{ср}$ - максимальне та середнє значення сумарної сонячної радіації (прямої і розсіяної), Вт/м².

Коефіцієнт теплосасвоєння зовнішньої поверхні окремих шарів огорожуючої конструкції γ , Вт/м²·К. приймають залежно від його теплової інерції. Розрахунок починаємо з першого внутрішнього шару. Коефіцієнт теплосасвоєння зовнішньої поверхні першого шару γ_1 , Вт/м²·К, приймається залежно від його теплової інерції:

якщо $D > 1$, коефіцієнт γ_1 беремо рівним коефіцієнту теплосасвоєння матеріалу шару S_1 , тобто $\gamma_1 = S_1$;

при $D < 1$, коефіцієнт теплосасвоєння розраховуємо для першого шару

$$\gamma = \frac{R_1 S_1^2 + a_e}{1 + R_1 a_e}. \quad (2.11)$$

Коефіцієнт теплосасвоєння другого шару γ_2 , Вт/м²·К, приймається залежно від його теплової інерції $D_2 = S_2 \cdot R_2$:

Якщо $D_2 > 1$, то

$$\gamma_2 = S_2$$

Якщо $D_2 < 1$, то

$$\gamma_2 = \frac{R_2 S_2^2 + \gamma_2}{1 + R_2 \gamma_2}. \quad (2.12)$$

Коефіцієнт теплосасвоєння зовнішньої поверхні третього шару γ_3 :

$D_3 = 0,23 < 1$, коефіцієнт теплосасвоєння γ_3 , Вт/м²·К:

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|------------------------|------|
| | | | | | 601-НТ-20342-МР | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | 45 |

$$\gamma_3 = \frac{R_3 S_3^2 + \gamma_2}{1 + R_3 \gamma_2}, \quad (2.13)$$

Визначення величини загасання розрахункової амплітуди коливань температури зовнішнього повітря ν в тришаровому огороженні

$$\nu = 0.9 e^{\frac{D}{\sqrt{2}}} \frac{(S_1 + a_8) (S_2 + \gamma_1) (S_3 + \gamma_2)(a_3 + \gamma_3)}{(S_1 + \gamma_1) (S_2 + \gamma_2) (S_3 + \gamma_3) a_3}, \quad (2.14)$$

де e - основа натуральних логарифмів, $e=2,718$.

S_1, \dots, S_5 – розрахункові коефіцієнти тепло засвоєння матеріалів окремих шарів огорожуючої конструкції;

D - теплова інерція огорожуючої конструкції.

6. Визначення амплітуди коливання температури внутрішньої поверхні огороження, A_{τ_B} , °C

$$A_{\tau_B} = \frac{A_{\tau_3}^{розр}}{\nu}, \quad (2.15)$$

де $A_{\tau_3}^{розр}$ - розрахункова амплітуда коливань температури зовнішнього повітря;

ν - величина загасання розрахункової амплітуди коливань температури зовнішнього повітря в огорожуючій конструкції.

Якщо $A_{\tau_B}^{номр} > A_{\tau_B}$, то немає необхідності підвищувати теплостійкість огороження.

2.2.4 Розрахунок опору повітропроникненню стінової огорожуючої конструкції

Необхідний опір повітропроникненню огорожуючих конструкцій будинків, $R_i^{номр}$, м² · год · Па/кг, за винятком вікон

$$R_i^{номр} = \frac{\Delta P}{G^H}, \quad (2.16)$$

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|------------------------|------|
| | | | | | 601-НТ-20342-МР | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | 46 |

де ΔP - різниця тисків, що викликають рух повітря через огорожуючу конструкцію, Па;

G'' - нормативна повітропроникність, кг/(м² · год · Па).

Для стін $G''=0,5$ кг/(м² · год · Па).

Визначення різниці тисків, що викликають рух повітря через огорожуючу конструкцію, ΔP , Па:

$$\Delta P = 0.55 H (\gamma_{зовн} - \gamma_{вн}) + 0.03 \gamma_{зовн} w^2, \quad (2.17)$$

де H - висота будинку від поверхні землі до верху карниза, м, ($H=6$ м);

$\gamma_{зовн}, \gamma_{вн}$ - питома вага зовнішнього й внутрішнього повітря, Н/м³;

w - максимальна із швидкостей вітру по румбах за січень, повторюваність яких становить 16 % і більше, м/с.

Питому вагу повітря γ , Н/м³, залежно від його температури можна визначити за формулою

$$\gamma = \frac{3463}{273 + t}, \quad (2.18)$$

де t - температура повітря внутрішнього та зовнішнього повітря з урахуванням теплової інерції.

Визначення фактичного опору повітропроникненню для багатошарової конструкції, м² · год · Па/кг,

$$R_{\phi} = R_{i1} + R_{i2} + \dots + R_i, \quad (2.19)$$

де R_{iN} - опір повітропроникненню окремих шарів огорожуючої конструкції м² · год · Па/кг.

2.2.5 Визначення тепловтрат через огорожуючі конструкції

Однією з головних складових тепловтрат приміщення є втрати теплоти через зовнішні огорожувальні конструкції. Їх визначають за формулою

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|------------------------|------|
| | | | | | 601-НТ-20342-МР | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | 47 |

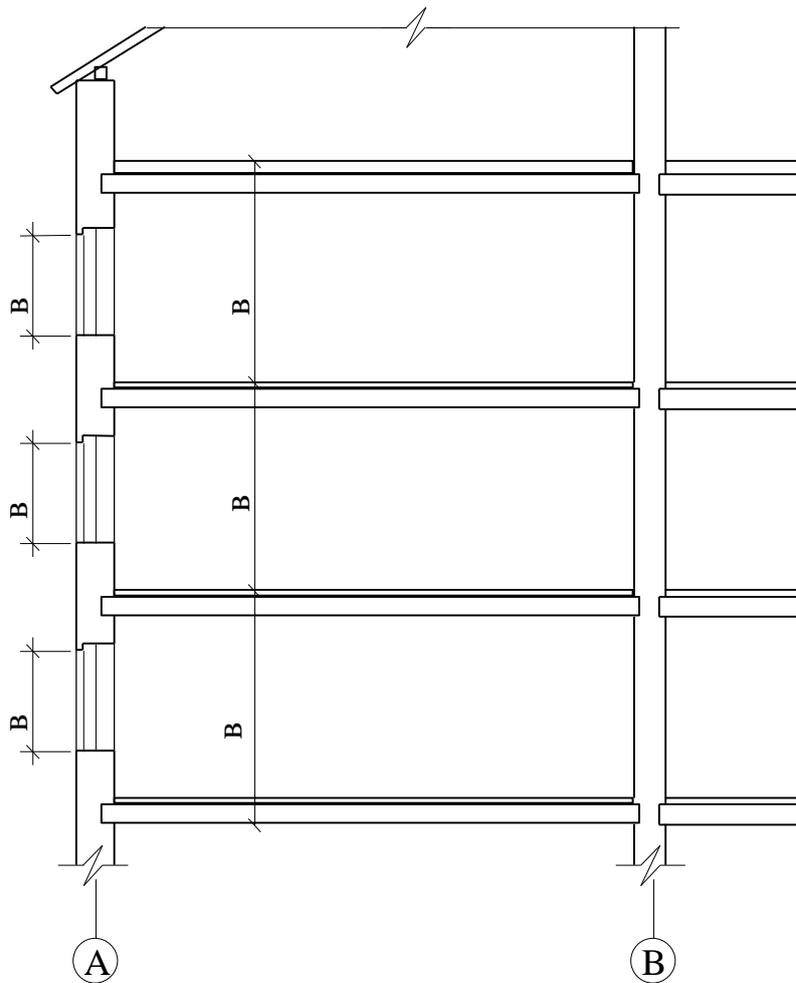
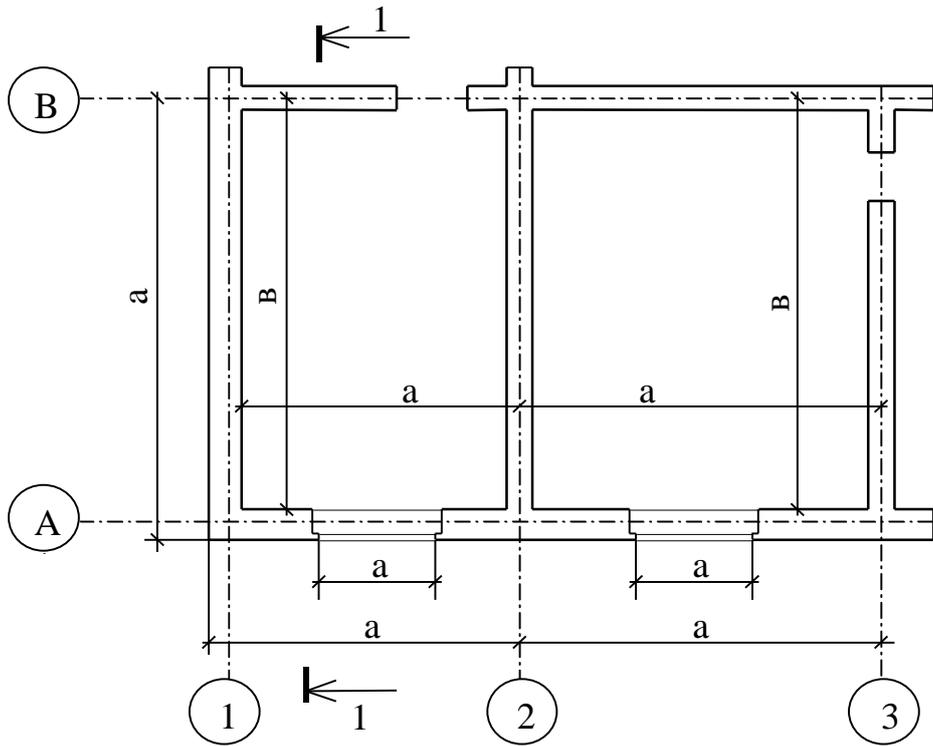


Рисунок 2.11– Правила визначення розмірів огорожуючих конструкцій

| | | | | |
|------|------|----------|--------|------|
| | | | | |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |

601-НТ-20342-МР

Арк.

49

Розрахунок втрат теплоти крізь огорожувальні конструкції слід вести у табличній формі (табл.2.6).

Таблиця 2.6– Розрахунок втрат теплоти через огорожувальні конструкції

| № прим. | Назва прим. | Характеристика огорожувальних конструкцій | | | | | Термічний опір R, м ² ·°C/Вт | Внутр. темпер. tв, °C | Різниця темпер. tв - tз, °C | n | Над-бавки Σβ | Втрати тепла через огор. конструкції Qок, Вт |
|---------|-------------|---|--------|---------|------|-------------------------|---|-----------------------|-----------------------------|----|--------------|--|
| | | Найм. | Орієнт | Розміри | | Площа F, м ² | | | | | | |
| | | | | a, м | h, м | | | | | | | |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 |

2.2.6 Втрати тепла на нагрівання зовнішнього повітря

Зовнішнє повітря надходить у приміщення внаслідок контрольованого провітрювання приміщень за рахунок короткочасного відкривання вікон та дверей або внаслідок негерметичності огорожувальних конструкцій будівлі та різниці тисків внутрішнього і зовнішнього повітря. Це повітря забезпечує нормальні параметри мікроклімату в приміщеннях та компенсує ту кількість, що видаляється з приміщень засобами природної витяжної вентиляції. Так відбувається гравітаційна вентиляція приміщень.

Втрати теплоти на здійснення нагріву припливного вентиляційного повітря розраховують за формулою

$$Q_B = 0,28 L \rho c (t_B - t_{35}), \quad (2.21)$$

де L - витрати повітря, м³/год (для житлових будинків питома нормована витрата приймається рівною 3 м³/год на 1 м² площі житлових приміщень і кухні);

ρ - густина внутрішнього повітря, кг/м³

$$\rho = \frac{353}{273 + t_B}, \quad (2.22)$$

c - питома теплоємність внутрішнього повітря, $c=1,005$ кДж/(кг·°C).

| | | | | | | | | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|-----------------|--|--|--|--|--|--|--|------|
| | | | | | | | | | | | | | Арк. |
| | | | | | | | | | | | | | 50 |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | 601-НТ-20342-МР | | | | | | | | |

2.2.7 Визначення потужності системи опалення будинку

Розрахунок за тепловим балансом базується на законі збереження енергії, за яким кількість енергії, що надходить, має бути рівною енергії, що втрачається.

У загальному випадку тепловий баланс будівлі має вигляд:

$$Q_{OG} + Q_B = Q_{CO} + Q_{PB} \quad (2.23)$$

Система опалення житлового будинку повинна компенсувати втрати теплоти усіма приміщеннями через огороджуючі конструкції та втрати теплоти на нагрів вентиляційного повітря. Додатковим (до системи опалення) джерелом теплоти є побутові теплонадходження.

Сума кількості тепла, що втрачається через огороджуючі конструкції та на нагрівання припливного вентиляційного повітря складає тепловтрати будівлі:

$$Q_{TP} = Q_{OG} + Q_B \quad (2.24)$$

де Q_{OG} – тепловий потік через огороджуючі конструкції, Вт;

Q_B – втрати теплоти на нагрів вентиляційного повітря, Вт.

Розрахункові теплонадходження Q_{PB} визначаються як:

$$Q_{PB} = Q_L + Q_{OCB} + Q_{CP} + Q_E, \quad (2.25)$$

де Q_L – теплонадходження від людей, Вт:

$$Q_L = q_x \cdot n \quad (2.26)$$

де q_x – теплонадходження від однієї людини, Вт;

n – кількість людей у будинку.

Q_{CP} – теплонадходження від сонячної радіації через вікна південної сторони:

$$Q_{CP} = q_{пд} \cdot F, \text{ Вт}, \quad (2.27)$$

де $q_{пд}$ – теплонадходження від 1 м² південного вікна, Вт;

F – площа вікон з південної сторони, м².

Q_{OCB} – теплонадходження від освітлення, Вт;

Q_E – теплонадходження від електричних приладів, Вт.

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|------------------------|------|
| | | | | | 601-НТ-20342-МР | Арк. |
| | | | | | | 51 |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

Теплонадходження $Q_{\text{ПБ}}$ також можуть бути знайдені за ДСТУ Б А.2.2-12:2015. Згідно табл.6 для одноквартирних будинків питомі теплонадходження включають:

- тепло від людей, які визначаються як метаболічна теплота й становлять $1,2 \text{ Вт/м}^2$;

- тепло від освітлення – 2 Вт/м^2 ;

- тепло від обладнання – 2 Вт/м^2 .

Помноживши суму вказаних теплонадходжень на загальну площу будинку, матимемо сумарні побутові надходження тепла $Q_{\text{ПБ}}$.

Таким чином, тепловтрати в будинку, які необхідно компенсувати надходженнями системи опалення, визначаються в такий спосіб:

$$Q_{\text{СО}} = \Sigma Q_{\text{ТП}} - Q_{\text{ПБ}}, \quad (2.28)$$

де $Q_{\text{ТП}}$ – тепловтрати, Вт;

$Q_{\text{ПБ}}$ – теплонадходження, Вт.

Розрахунок теплової потужності системи опалення будівлі доцільно виконувати за формулою, Вт

$$Q_{\text{СО}} = b_1 b_2 \sum (Q_{\text{ОК}} + Q_{\text{В}}) - Q_{\text{ПБ}}, \quad (2.29)$$

де b_1 – коефіцієнт, що враховує додаткову теплопередачу в приміщенні, яка пов'язана зі збільшенням площі поверхні опалювальних приладів порівняно з розрахунковою;

b_2 – коефіцієнт, котрий ураховує додаткові тепловтрати, пов'язані з розміщенням опалювальних приладів відносно зовнішніх стін;

$Q_{\text{В}}$ - витрати теплоти на нагрівання вентиляційного (інфільтрованого) зовнішнього повітря, Вт;

$Q_{\text{ОК}}$ - втрати теплоти через огорожувальні конструкції, Вт;

$Q_{\text{ПБ}}$ - побутові теплонадходження, Вт.

Розрахунок теплової потужності системи опалення окремого приміщення виконується за формулою, Вт

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|------------------------|------|
| | | | | | 601-НТ-20342-МР | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | 52 |

$$Q_{\text{ГР}} = \sum Q_{\text{ОК}} + Q_{\text{В}} - Q_{\text{ПБ}} \quad , \quad (2.30)$$

Затрати тепла на опалення можна також орієнтовно визначити за формулою, де тепловтрати визначаються за питомою тепловою потужністю q_v з урахуванням об'єму приміщення $V_{\text{п}}$ та різниці температур внутрішнього й зовнішнього повітря ($t_{\text{в}} - t_{\text{з}}$):

$$Q = q_v \cdot V_{\text{пр}} \cdot (t_{\text{в}} - t_{\text{з}}). \quad (2.31)$$

Питомі тепловтрати на опалення будинків повинні задовольняти умову:

$$q_{\text{буд}} \leq E_{\text{max}} \quad (2.32)$$

де: $q_{\text{буд}}$ – розрахункові або фактичні питомі тепловтрати за [23];

E_{max} – максимально допустиме значення питомих тепловтрат на опалення будинку за опалювальний період, кВт·год/м³, що визначаються згідно [23] залежно від призначення будинку, його поверховості і температурної зони експлуатації.

Питомі тепловтрати на опалення житлового будинку за опалювальний період $q_{\text{буд}}$, кВт·год/м², визначаються за формулою:

$$q_{\text{буд}} = Q_{\text{рік}}/F_{\text{h}} \quad (2.33)$$

де $Q_{\text{рік}}$ – витрати теплової енергії на опалення за опалювальний період, кВт·год, які визначаються на підставі результатів енергетичного аудита будинку або по результатам розрахунку;

F_{h} – опалювальна площа будинку, м², згідно положень ДБН В.2.2-9 [21].

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|------------------------|------|
| | | | | | 601-НТ-20342-МР | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | 53 |

3 ДОСЛІДНА ЧАСТИНА

3.1 Опис робіт по дослідженню енергоефективності будинку.

Теплотехнічні розрахунки та тепловізійне обстеження будинку виконуємо відповідно до описаних у розділі 2 методик.

3.1.1 Теплотехнічний розрахунок дійсного стану зовнішніх огорожуючих конструкцій із метою визначення теплових втрат у будинку

Термічні опори огорожуючих конструкцій розраховуємо за формулою (2.4):

$$R_0 = \frac{1}{\alpha_B} + \sum \frac{\delta_i}{\lambda_i} + \frac{\delta_{yT}}{\lambda_{yT}} + \frac{1}{\alpha_3}$$

де α_B, α_3 - коефіцієнти тепловіддачі внутрішньої і зовнішньої поверхонь огорожувальної конструкції, Вт/(м² · К), які приймаються згідно з табл. 2.2 [9];

δ_i - товщина i -го шару конструкції, м² · К/Вт;

λ_i – теплопровідність матеріалу i -го шару конструкції в розрахункових умовах експлуатації (згідно з додатком А ДСТУ Б В.2.6-189:2013 [36] та даними виробників), Вт/(м·К).

Знайдемо значення коефіцієнтів теплопровідності для шарів огорожуючих конструкцій, що відповідають матеріалам, вказаним у п. 2.1.3.

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|------------------------|------|
| | | | | | 601-НТ-20342-МР | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | 54 |

Конструкція стіни:

- мінеральна штукатурка $\delta = 5\text{мм}$: $\lambda = \mathbf{0,93 \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}}$ згідно з додатком А [36] (за додатком Л [20] $\lambda = 0,81 \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}$ для цементно-піщаного розчину, що є явною помилкою в [20], оскільки там поміняно місцями значення для цементно-піщаного та вапняно-піщаного розчинів, а більшу густину й відповідно теплопровідність має саме цементно-піщаний розчин);
- фасадна сітка: $\delta \approx 0 \text{ мм}$;
- клей для теплоізоляції армуючий: $\delta \approx 0 \text{ мм}$;
- утеплювач фасадний Roswool Fasrock $\delta = 150\text{мм}$: $\lambda = 0,05 \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}$ в умовах експлуатації Б при густині $\rho = 150 \text{ кг/м}^3$ згідно з додатком А [36] (або $0,054$ згідно з додатком Л [20] для плит негорючих теплоізоляційних базальтоволокнистих), варто зауважити, що за даними виробника, наведеними в додатку В, $\rho = 135 \text{ кг/м}^3$ і $\lambda = 0,039 \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}$, що відповідає значенню λ_0 , наведеному в додатку А [36] для матеріалу в сухому стані; у розрахунок приймаємо $\lambda_{ум} = \mathbf{0,05 \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}}$;
- клей для теплоізоляції: $\lambda \approx 0 \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}$;
- ґрунтовка: $\lambda \approx 0 \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}$;
- кладка з керамічної цегли $\delta = 380\text{мм}$: $\lambda = \mathbf{0,58 \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}}$ для керамічної порожнистої цегли з $\rho = 1300 \text{ кг/м}^3$ (згідно з додатком Л [20] та додатком А [36]);
- штукатурка $\delta = 20\text{мм}$: $\lambda = \mathbf{0,93 \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}}$ згідно з додатком А [36] для цементно-піщаного розчину (за додатком Л [20] $\lambda = 0,81 \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}$).

Конструкція перекриття стелі:

- ходова дошка (шпунтована дошка) $\delta = 32\text{мм}$: $\lambda = 0,23 \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}$ (згідно з додатком Л [20] та додатком А [36] для дуба поперек волокон);
- лаги (крок 450) $\delta = 50 \text{ мм}$: $\lambda = 0,23 \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}$ (згідно з додатком Л [20] та додатком А [36] для дуба поперек волокон);
- контр лаги $\delta = 30 \text{ мм}$: $\lambda = 0,23 \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}$ (згідно з додатком Л [20] та додатком А [36] для дуба поперек волокон);

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|------------------------|------|
| – | | | | | 601-НТ-20342-МР | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | 55 |

- супердифузійна мембрана: $\delta \approx 0$ мм;
- балки перекриття $\delta = 100$ мм: $\lambda = 0,23$ Вт/(м·К) (згідно з додатком Л [20] та додатком А [36] для дуба поперек волокон);
- утеплювач базальтовий між дерев'яними конструкціями перекриття $\delta = 200$ мм;
- утеплювач рулонний *ursa* $\delta = 550$ мм: $\lambda = 0,05$ Вт/(м·К) при $\rho = 20$ кг/м³ в умовах експлуатації Б за додатком А [36] або 0,064 згідно з додатком Л [20] для мінеральної вати, при цьому за даними виробника $\lambda = 0,035-0,044$ Вт/(м·К), що знову ж таки відповідає наведеним у [36] значенням для матеріалу в сухому стані, приймаємо для розрахунку значення за діючим нормативним документом [36] $\lambda = 0,05$ Вт/(м·К);
- пароізоляція фольгована: $\delta \approx 0$ мм;
- рейка $\delta = 30$ мм крок 500мм: $\lambda = 0,23$ Вт/(м·К) (згідно з додатком Л для дуба поперек волокон);
- повітряний прошарок $\delta = 30$ мм: $R=0,14$ згідно з додатком В [36] (так само за додатком И [20]);
- конструкція підвісної стелі: $\delta \approx 0$ мм.

Конструкція підлоги:

- керамічна плитка для підлоги: $\lambda = 1,1$ Вт/(м·К);
- клей для плитки $\delta = 20$ мм: $\lambda = 0,93$ Вт/(м·К);
- цементно-піщана стяжка з конструкцією теплої підлоги $\delta = 100$ мм: $\lambda = 0,93$ Вт/(м·К);
- фольга для теплої підлоги: $\delta \approx 0$ мм;
- екструдований пінополістирол $\delta = 50$ мм: $\lambda = 0,037$ Вт/(м·К) ;
- вирівнююча цементно-піщана стяжка $\delta = 50$ мм: $\lambda = 0,93$ Вт/(м·К);
- гідроізоляція аквоізол: $\delta \approx 0$ мм;
- бетон кл. в 15 армований сіткою 150x150 з арматури а300с $\varnothing 8$ $\delta = 100$ мм: $\lambda = 2,04$ Вт/(м·К);
- плівка ПВХ: $\delta \approx 0$ мм;

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|------------------------|------|
| | | | | | 601-НТ-20342-МР | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | 56 |

– ущільнений ґрунт, без рослинного шару.

Підставивши отримані значення коефіцієнтів теплопровідності у формулу 2.4, виконаємо розрахунки:

- термічний опір стіни

$$R_{cm} = \frac{1}{8,7} + \frac{0,38}{0,58} + \frac{0,150}{0,05} + \frac{0,025}{0,93} + \frac{1}{23} = 3,84 \text{ м}^2 \cdot \text{К/Вт};$$

- термічний опір орищного перекриття

$$R_{cop} = \frac{1}{8,7} + \frac{0,032}{0,23} + \frac{0,03}{0,23} + \frac{0,05}{0,23} + \frac{0,200}{0,05} + \frac{0,05}{0,05} + \frac{0,05}{0,23} + \frac{0,03}{0,23} + 0,14 + \frac{1}{12} = 6,17 \text{ м}^2 \cdot \text{К/Вт};$$

- термічний опір вхідних дверей без тамбура

$$R_{dv} = \frac{1}{8} + \frac{0,08}{0,07} + \frac{1}{23} = 1,31 \text{ м}^2 \cdot \text{К/Вт};$$

- приведений опір теплопередачі підлоги на ґрунті

$$R_n = R_{\Sigma} + \frac{\delta}{\lambda} = R_{\Sigma} + \frac{0,100}{2,04} + \frac{0,150}{0,93} + \frac{0,050}{0,037} + \frac{0,02}{0,93} + \frac{0,005}{1,1} = R_{\Sigma} + 1,59 \text{ м}^2 \cdot \text{К/Вт}.$$

Склопрозорі конструкції будівлі – це двокамерні металопластикові вікна конструкції 4-10-4-10-4. За розрахунком у он-лайн калькуляторі [24] термічний опір вікна при розмірах 1,0x1,2 складатиме 0,52 м²·К/Вт.

Результати розрахунку показані на рисунку 3.1.

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|------------------------|------|
| | | | | | 601-НТ-20342-МР | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | 57 |

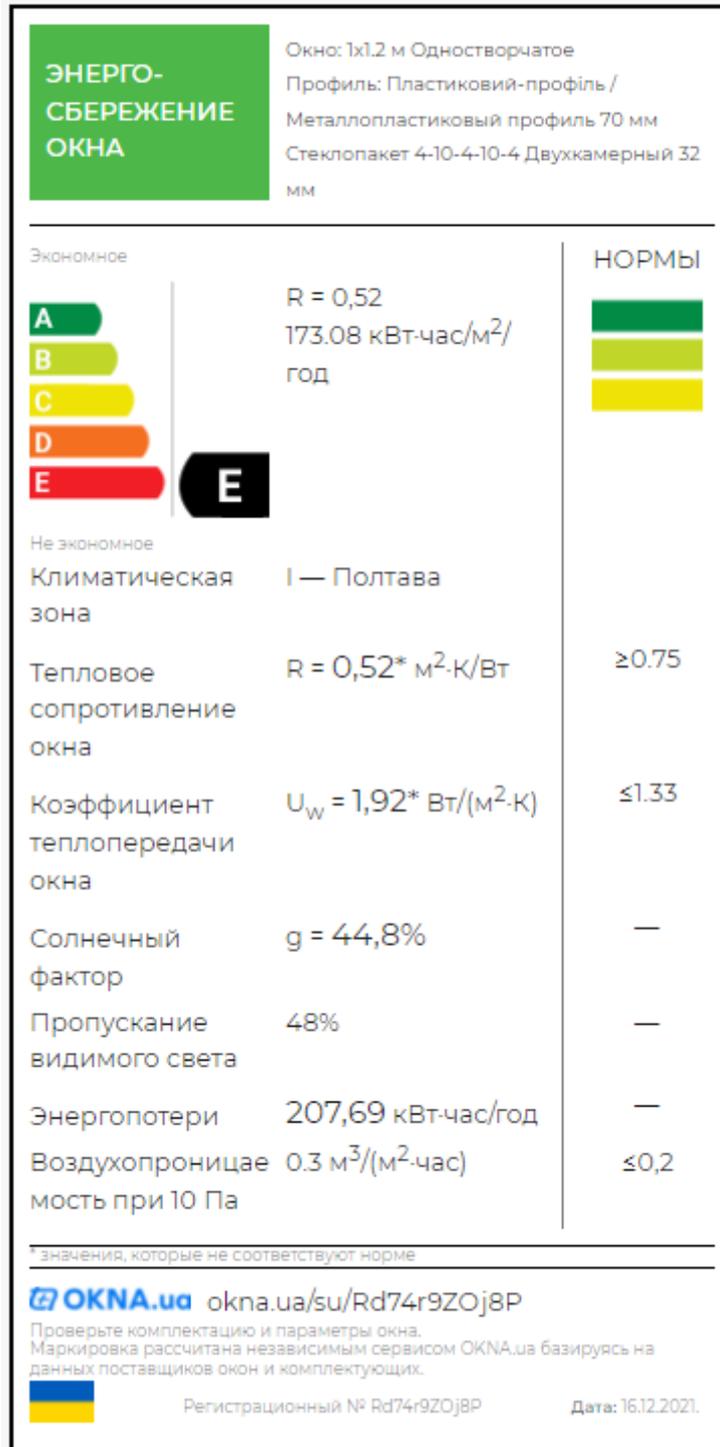


Рисунок 3.1 – Результаты розрахунку вікна в он-лайн калькуляторі

3.1.2 Теплотехнічний розрахунок дійсного стану зовнішніх огорожуючих конструкцій з метою досягнення нормативних вимог по теплоізоляції

За додатком Б до ДБН В.2.6-31:2016 [9] знаходимо нормативні значення опору теплопередачі для наявних у будинку видів огорожуючих конструкцій .

Порівняння нормативних і реальних значень, розрахованих у п. 3.1.1, виконаємо в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – Порівняння нормативних і реальних значень термічного опору

| № | Назва | Термічний опір, $\text{м}^2 \cdot \text{К}/\text{Вт}$ | |
|---|---|---|-----------------|
| | | нормативний $R_{q \min}$ | фактичний R_0 |
| 1 | Зовнішні стіни | 3,3 | 3,84 |
| 2 | Горищне перекриття неопалюваного горища | 4,95 | 6,17 |
| 3 | Вікна | 0,75 | 0,5 |
| 4 | Зовнішні двері | 0,6 | 1,31 |

Виконаємо розрахунок стінової конструкції за схемою, показаною на рисунку 3.2.

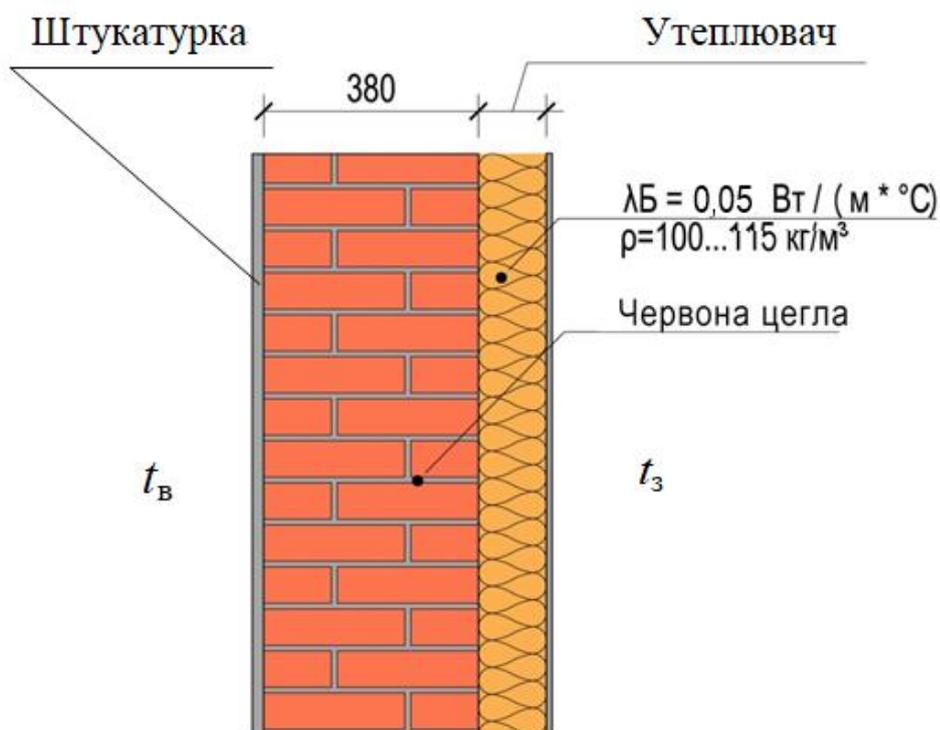


Рисунок 3.2 – Розрахункова схема стіни

| | | | | |
|------|------|----------|--------|------|
| | | | | |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |

601-НТ-20342-МР

Арк.

59

Визначимо необхідний опір теплопередачі огороження за санітарно-гігієнічними вимогами

$$R_0^H = \frac{n (t_в - t_з)}{\Delta t^H \cdot a_в} :$$

$$R_0^H = \frac{1 (20 + 22)}{6 \cdot 8,7} = 0,766 \text{ м}^2 \cdot \text{К/Вт}$$

Опір теплопередачі огорожуючої конструкції R_0 житлових і громадських будинків вибираємо найбільший із значень необхідного опору теплопередачі, що визначений за санітарно-гігієнічними нормами R_0^H і нормативним значенням опору теплопередачі огорожуючих конструкцій $R_{q \min}$

Маємо $R_0^H = 0,766 < R_{q \min} = 3,3 \text{ м}^2 \cdot \text{К/Вт}$. Отже, розрахунок ведемо за нормативним значенням.

Визначення термічного опору стінової огорожуючої конструкції, R_0 здійснюється за формулою :

$$R_0 = R_{вн} + R_1 + R_2 + R_{ут} + R_{зовн} . \quad (3.1)$$

Звідси товщина утеплювача може бути знайдена наступним чином:

$$R_{ут} = R_0 - (R_{вн} + R_1 + R_2 + R_{зовн}) , \quad (3.2)$$

де R_1, R_2 - опір теплопровідності окремих шарів огороження;

$R_{зовн}$ - опір тепловіддачі зовнішнього огороження, $\text{м}^2 \cdot \text{К/Вт}$;

$R_{вн}$ - опір теплосприйняття внутрішнього огороження, $\text{м}^2 \cdot \text{К/Вт}$.

Виходячи з умови досягнення нормативного опору теплопередачі, формула (3.2) набуває вигляду:

$$R_{ут} = R_{q \min} - (R_{вн} + R_1 + R_2 + R_{зовн}) . \quad (3.3)$$

Підставивши значення у (3.3), одержимо:

$$R_{ут} = 3,3 - \left(\frac{1}{8,7} + \frac{0,38}{0,58} + \frac{0,025}{0,93} + \frac{1}{23} \right) = 3,3 - 0,84 = 2,46 \text{ м}^2 \cdot \text{К/Вт}.$$

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|------------------------|------|
| | | | | | 601-НТ-20342-МР | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | 60 |

Знайдемо необхідну товщину шару утеплювача у різних варіантах, приймаючи характеристики утеплювачів за додатком В [36] :

1) плити теплоізоляційні з мінеральної вати на основі базальтового волокна ($\rho=150 \text{ кг/м}^3$, коефіцієнт теплопровідності $\lambda=0,05 \text{ Вт/ м}\cdot\text{К}$)

$\delta_3 = 2,46 \cdot 0,05 = 0,123 \text{ м}$ – приймаємо значення, округлене в більшу сторону до стандартної товщини – 150 мм.

плити теплоізоляційні з мінеральної вати на основі базальтового волокна ($\rho=225 \text{ кг/м}^3$, коефіцієнт теплопровідності $\lambda=0,054 \text{ Вт/ м}\cdot\text{К}$)

$\delta_3 = 2,46 \cdot 0,054 = 0,133 \text{ м}$ – приймаємо значення, округлене в більшу сторону до стандартної товщини – 150 мм.

2) плити з резольно-формальдегідного пінопласту

($\rho=100 \text{ кг/м}^3$, коефіцієнт теплопровідності $\lambda=0,076 \text{ Вт/ м}\cdot\text{К}$)

$\delta_3 = 2,46 \cdot 0,076 = 0,187$ – приймаємо значення, округлене в більшу сторону до стандартної товщини – 200 мм.

3) плити із жорсткого пінополіуретану

($\rho=80 \text{ кг/м}^3$, коефіцієнт теплопровідності $\lambda=0,05 \text{ Вт/ м}\cdot\text{К}$)

$\delta_3 = 2,46 \cdot 0,05 = 0,123 \text{ м}$. – приймаємо значення, округлене в більшу сторону до стандартної товщини – 150 мм.

Отже, матимемо 3 варіанти утеплення , для яких знайдемо термічні опори при прийнятій товщині ізоляції:

$$1. R_0 = 0,84 + 0,15 / 0,05 = 3,84 \text{ м}^2 \cdot \text{К/Вт.}$$

$$R_0 = 0,84 + 0,15 / 0,054 = 3,63 \text{ м}^2 \cdot \text{К/Вт.}$$

$$2. R_0 = 0,84 + 0,2 / 0,076 = 3,47 \text{ м}^2 \cdot \text{К/Вт.}$$

$$3. R_0 = 0,84 + 0,15 / 0,05 = 3,84 \text{ м}^2 \cdot \text{К/Вт.}$$

Усі 3 варіанта задовольняють вимогам до житлових будівель з теплоізоляції, оскільки отримані значення перевищують мінімальне нормативне $3,3 \text{ м}^2 \cdot \text{К/Вт}$, прийняте за [9] для першої температурної зони.

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|------------------------|------|
| | | | | | 601-НТ-20342-МР | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | 61 |

При цьому з огляду на можливість використання базальтової вати різної густини було додатково виконано розрахунок для мінеральної вати найбільшої густини. Виявлено, що вата з будь-якою густиною задовольнятиме необхідну умову.

За проектною документацією індивідуальний житловий будинок, що розглядається має утеплення зовнішніх стін саме з базальтової вати виробництва ROCWOOL товщиною 150 мм. Отже, утеплювач підібрано правильно, додаткових заходів виконувати не потрібно.

Для горищного перекриття розрахуємо один варіант утеплювача – базальтову вату додатково до конструктивних шарів дерева та рулонної ізоляції з мінеральної вати:

$$R_{ym} = R_{q\min} - (R_{вн} + R_1 + R_2 + R_3 + R_5 + R_6 + R_7 + R_8 + R_{зовн}) = \text{м}^2 \cdot \text{К/Вт}.$$

$$= 4,95 - \left(\frac{1}{8,7} + \frac{0,032}{0,23} + \frac{0,03}{0,23} + \frac{0,05}{0,23} + \frac{0,05}{0,05} + \frac{0,05}{0,23} + \frac{0,03}{0,23} + 0,14 + \frac{1}{12} \right) =$$

$$= 4,95 - 2,17 = 2,78 \text{ м}^2 \cdot \text{К/Вт}$$

Тоді товщина утеплювача:

$\delta_{ym} = 2,78 \cdot 0,05 = 0,139 \text{ м}$ – приймаємо товщину, найближчу до існуючих типорозмірів – 150 мм.

Навіть, якщо термічний опір повітряного прошарка не враховувати й прийняти $R_{ym} = 2,78 + 0,14 = 2,92$

$$\delta_{ym} = 2,92 \cdot 0,05 = 0,146 \text{ м} \approx 0,150 \text{ м}.$$

$$R_{\text{cop}} = 2,17 + 0,15 / 0,05 = 5,17 \text{ м}^2 \cdot \text{К/Вт}.$$

Отримане значення термічного опору перевищує нормативне, отже, розрахунок виконано вірно.

Таким чином, можна зробити висновок, що зазначена в проектній документації товщина утеплювача горищного перекриття з базальтової вати у 200 мм є завищеною, нормативні вимоги до ізоляції виконуються вже при товщині 150 мм.

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|------------------------|------|
| | | | | | 601-НТ-20342-МР | Арк. |
| | | | | | | 62 |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

Загальна концепція утеплення будинку мінераловатними базальтовими утеплювачами Rockwool показана в додатку Д.

Як видно з таблиці 3.3, термічний опір металевих дверей з мінераловатним утеплювачем цілком задовольняє нормативним вимогам, а от вікна мають недостатні теплоізоляційні характеристики.

Користуючись он-лайн калькулятором [24] підберемо оптимальну конструкцію вікна. Розглянемо розрахунки на прикладі найменшого вікна одного з найменших наявних у будинку типорозмірів, оскільки склопакети мають кращі характеристики за металопластикові рами, що призводить до гірших теплоізоляційних характеристик вікон меншої площі.

Результати розрахунку показані на рисунку 3.3.

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|------------------------|------|
| | | | | | 601-НТ-20342-МР | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | 63 |

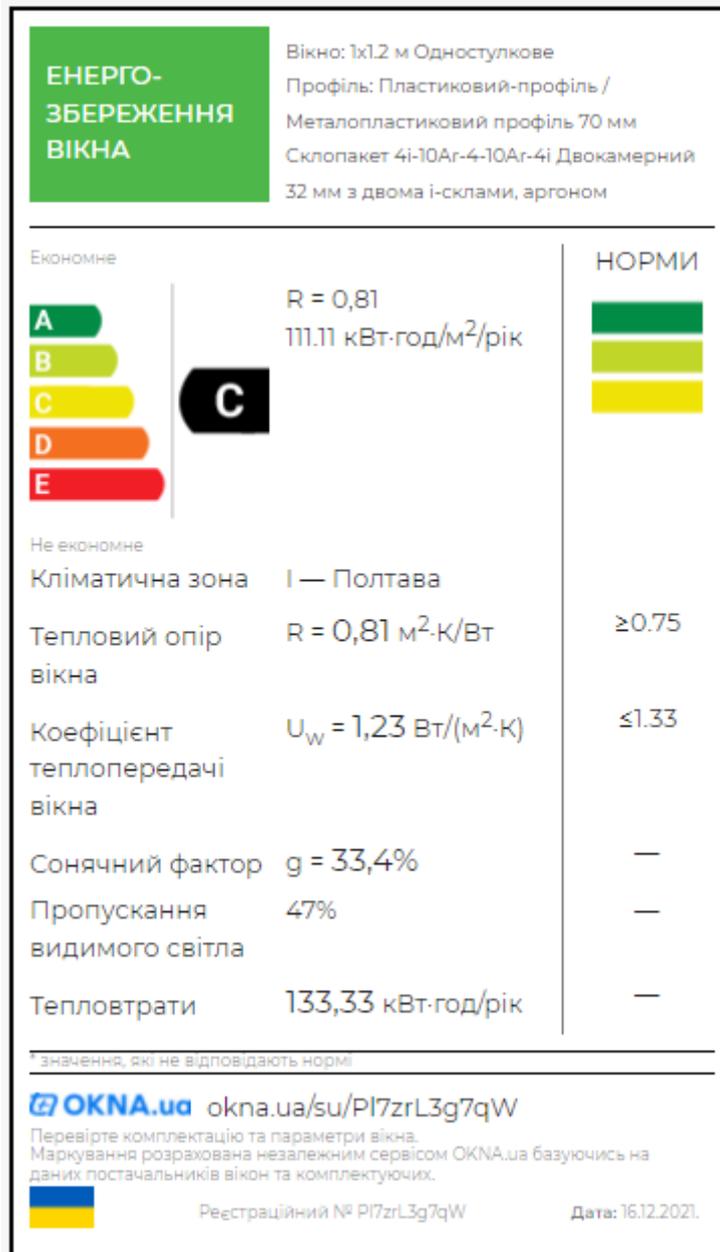


Рисунок 3.3 – Результати підбору вікна в он-лайн калькуляторі

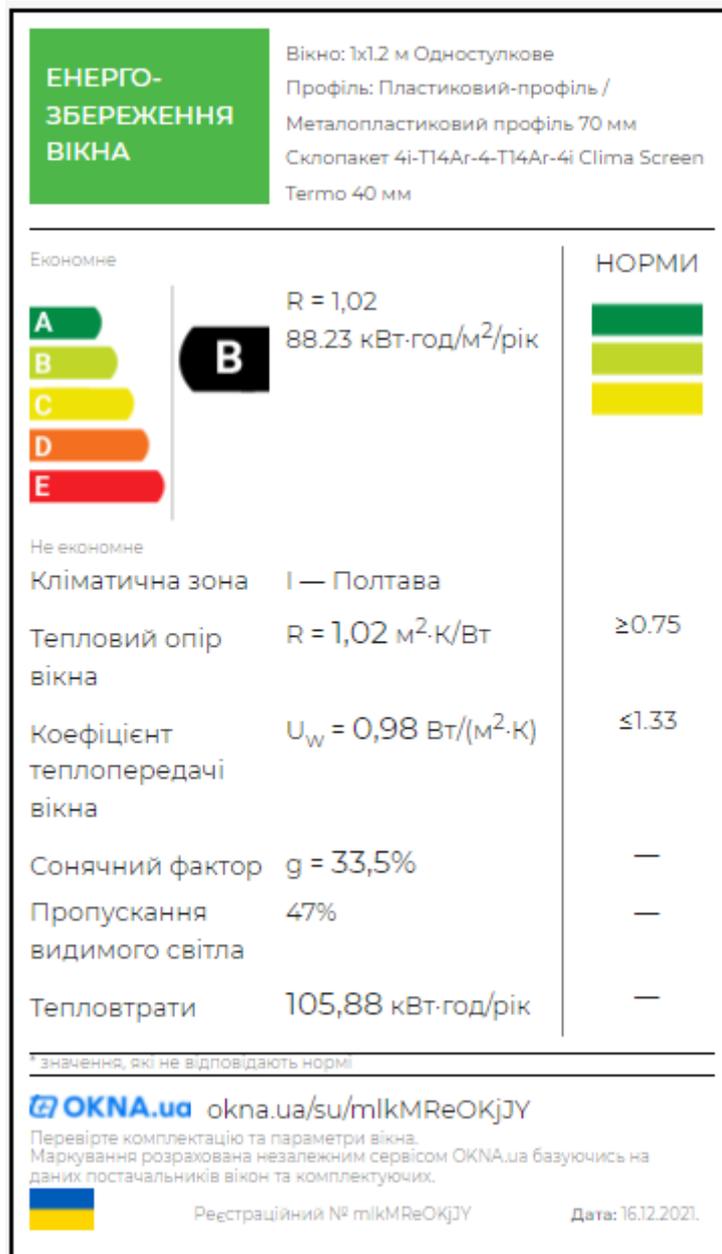


Рисунок 3.4 – Результати підбору вікна в он-лайн калькуляторі

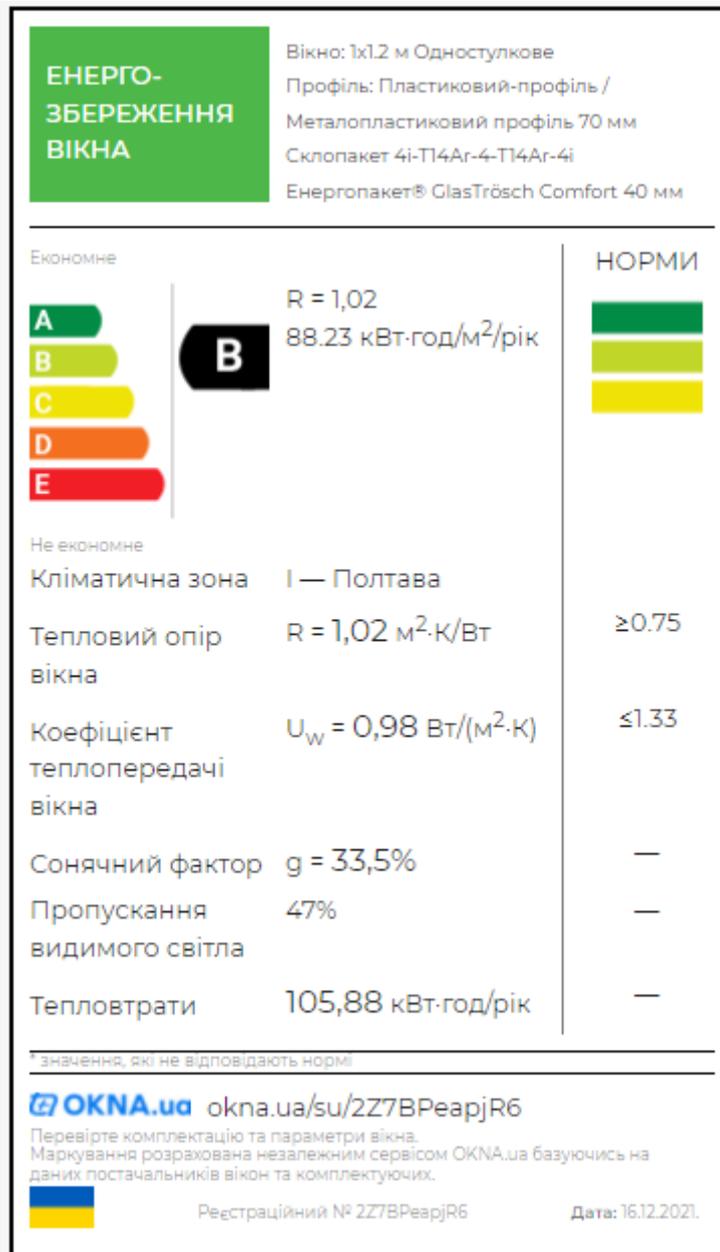


Рисунок 3.5 – Результати підбору вікна в он-лайн калькуляторі

Отже, для задоволення нормативних вимог щодо теплоізоляційних властивостей вікна повинні мати як мінімум конструкцію за схемою 4i-10Ar-4-10Ar-4i, тобто повинні мати м'яке селективне покриття зовнішнього та внутрішнього скла, а повітряні прошарки мають бути заповнені інертним газом аргоном.

Зважаючи на наявність великих панорамних вікон, виконаємо розрахунок також для вікна спальні (рисунки 3.6 – 3.8).

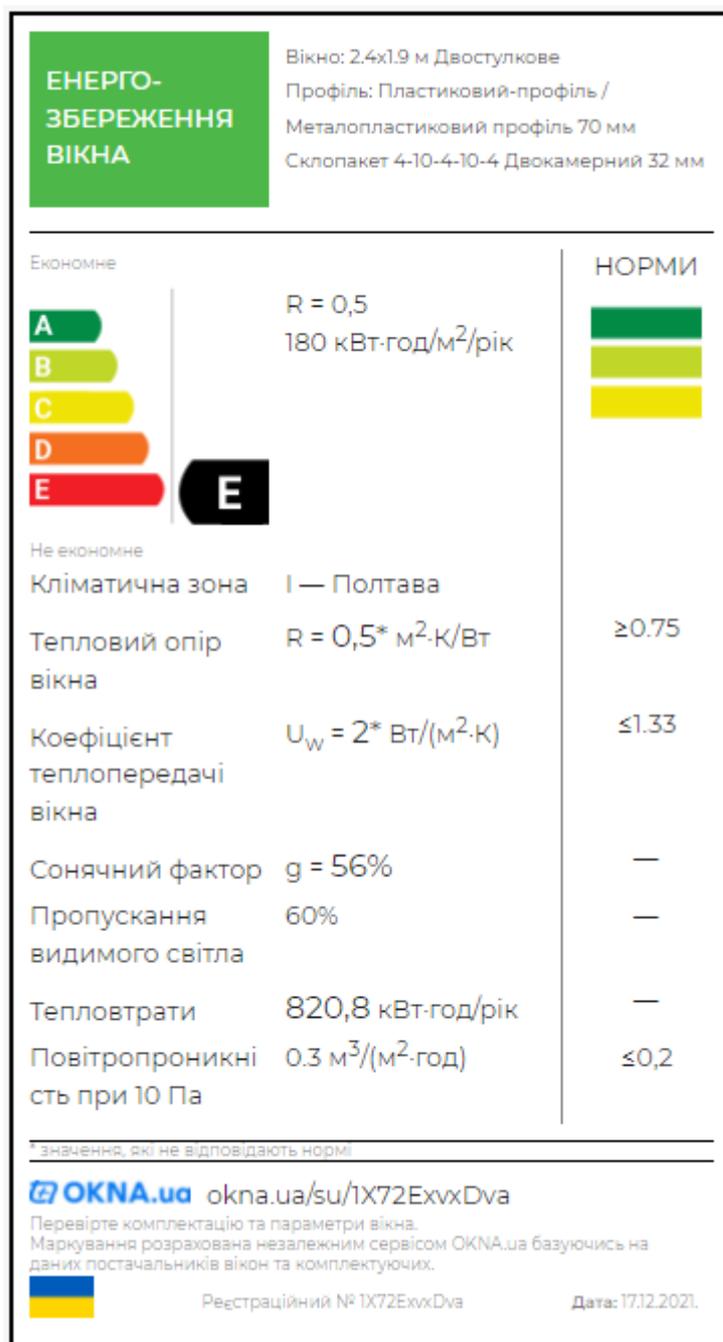


Рисунок 3.6 – Результати розрахунку для панорамного вікна 4-10-4-10-4

За розрахунком у он-лайн калькуляторі [24] термічний опір вікна 4-10-4-10-4 при розмірах 2,4x1,9 складатиме 0,5 м²·К/Вт, що значно менше за мінімальне нормативне значення $R_{q \min} = 0,75 \text{ м}^2 \cdot \text{К}/\text{Вт}$. Отже, треба підбирати вікна з кращими характеристиками.

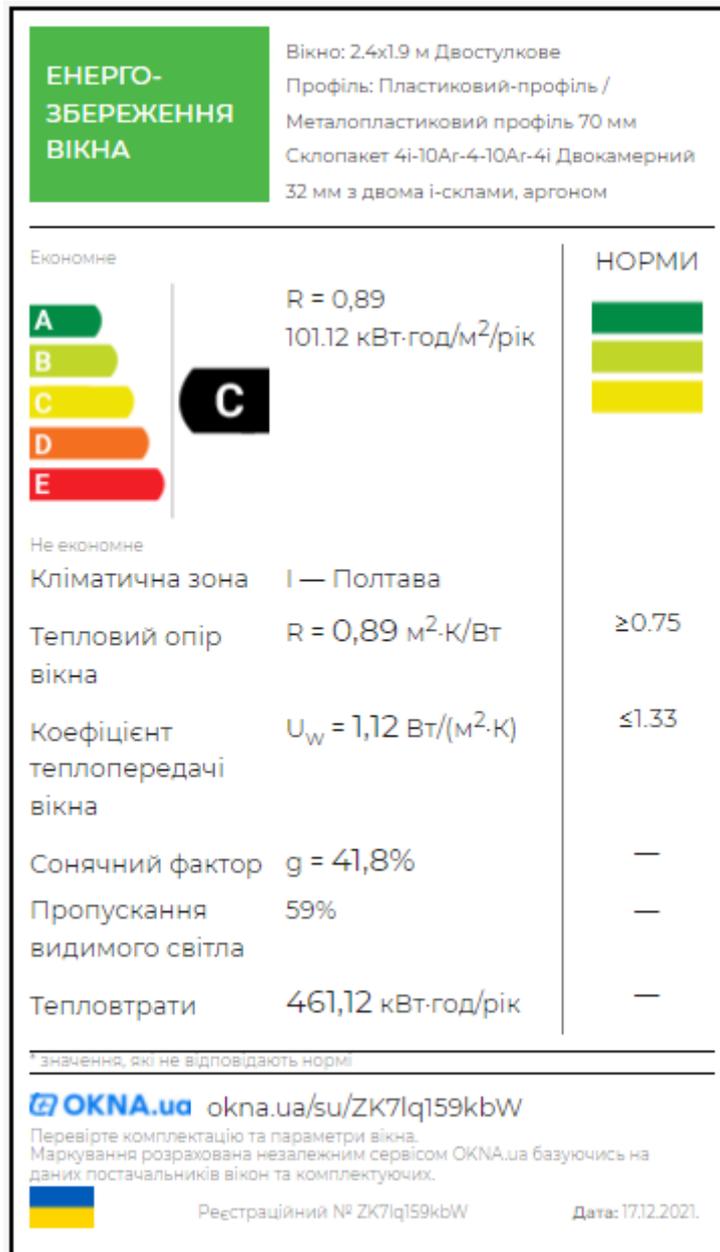


Рисунок 3.7 – Результати розрахунку для панорамного вікна 4i-10Ar-4-10Ar-4i

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|------------------------|------|
| | | | | | 601-НТ-20342-МР | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | 68 |

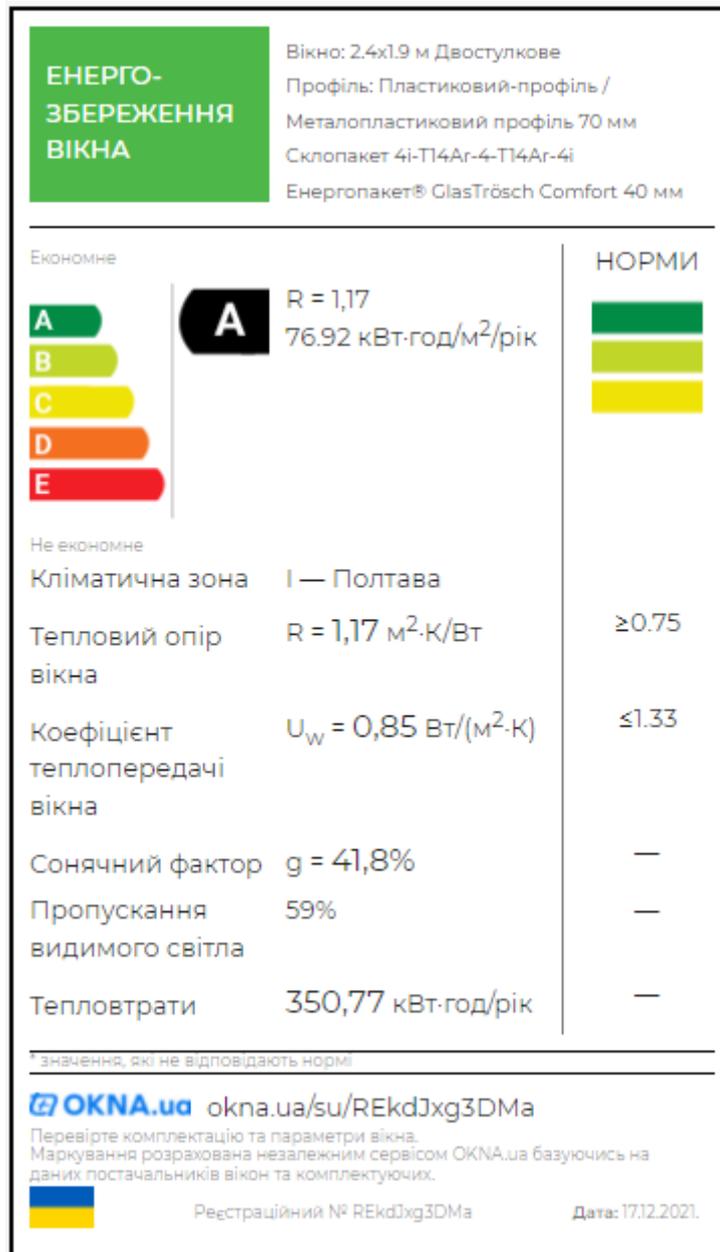


Рисунок 3.8 – Результати для панорамного вікна 4i-T14Ar-4-T14Ar-4i

З огляду на велику площу скління фасадів і високу вартість енергоносіїв, можна рекомендувати розглянути як основний варіант конструкцію вікна з найвищими характеристиками, представлену на рисунках 3.5 і 3.8.

3.1.3 Розрахунок теплостійкості огорожуючих конструкцій.

Середню температуру липня приймаємо за [10] для м. Полтава (див. таблиця 2.4).

Середньомісячна температура липня t_3 (VII) = 20,5 °С.

Оскільки t_3 (VII) < 21°С, то потрібну амплітуду коливання температури внутрішньої поверхні огороження приймаємо $A_{\tau_B}^{номп} = 2,5$.

2) Коефіцієнт тепловіддачі на зовнішній поверхні огороження a_3 , для літніх умов визначимо за формуло 2.13:

$$a_3 = 1,16 \left(5 + 10\sqrt{2,6} \right) = 24,5 \text{ Вт/м}^2\cdot\text{К.}$$

3) Значення розрахункової амплітуди коливань температури зовнішнього повітря визначимо за формуло 2.14:

$$A_{\tau_3}^{розр} = 0,5 \cdot 11 + \frac{0,3}{24,5} (844 - 241) = 12,88^\circ\text{С}$$

Коефіцієнт теплосасвоєння зовнішньої поверхні окремих шарів огорожуючої конструкції γ , Вт/м²·К. приймають залежно від його теплової інерції. Розрахунок починаємо з першого внутрішнього шару. Коефіцієнт тепло засвоєння зовнішньої поверхні першого шару γ_1 , Вт/м²·К, приймається залежно від його теплової інерції:

Оскільки в цьому випадку тепла інерція першого шару $D_1 = 0,117 < 1$, то коефіцієнт теплосасвоєння розраховуємо за (2.27):

$$\gamma_1 = \frac{0,012}{1+0,012} \frac{9,76^2 + 8,7}{8,7} = 9,91 \text{ Вт/м}^2\cdot\text{К.}$$

Коефіцієнт теплосасвоєння другого шару γ_2 , Вт/м²·К, приймається залежно від його теплової інерції: $D_2 = S_2 \cdot R_2$

Теплова інерція другого шару $D_2 = 3,127 > 1$, отже, коефіцієнт теплосасвоєння $\gamma_2 = S_2$, $\gamma_2 = 10,12$ Вт/м²·К.

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|------------------------|------|
| | | | | | 601-НТ-20342-МР | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | 70 |

Коефіцієнт теплосасвоєння зовнішньої поверхні третього шару γ_3 :

$$D_3 = 0,23 < 1,$$

$$\gamma_3 = \frac{0,021 \cdot 11,09^2 + 10,9}{1 + 0,021 \cdot 10,9} = 10,97 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{К.}$$

5) Визначення величини загасання розрахункової амплітуди коливань температури зовнішнього повітря ν в тришаровому огороженні

$$\nu = 0,9 \cdot e^{\frac{D}{\sqrt{2}}} \frac{(S_1 + a_6) (S_2 + \gamma_1) (S_3 + \gamma_2) (a_3 + \gamma_3)}{(S_1 + \gamma_1) (S_2 + \gamma_2) (S_3 + \gamma_3) a_3},$$

де e - основа натуральних логарифмів, $e = 2,718$.

S_1, \dots, S_5 – розрахункові коефіцієнти тепло засвоєння матеріалів окремих шарів огороджуючої конструкції;

D - теплова інерція огороджуючої конструкції.

$$\nu = 331,2.$$

б) Визначення амплітуди коливання температури внутрішньої поверхні огороження виконаємо за формулою (2.30)

$$A_{\tau_B} = \frac{12,88}{331,2} = 0,04 \text{ } ^\circ\text{C.}$$

Оскільки $A^{\text{норм}}_{\tau_B} > A_{\tau_B}$, $2,5 > 0,04$, тому немає необхідності підвищувати теплостійкість огороження.

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|------------------------|------|
| | | | | | 601-НТ-20342-МР | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | 71 |

3.1.4 Розрахунок опору повітропроникненню дійсного стану стінової огорожуючої конструкції.

Питома вага повітря:

- зовнішнього

- внутрішнього

$$\gamma_{зовн} = \frac{3463}{273 - 22} = 13,69 \text{ Н/м}^3,$$

$$\gamma_{вн} = \frac{3463}{273 + 20} = 11,82 \text{ Н/м}^3.$$

Різниця тисків, що викликають рух повітря через огорожуючу конструкцію, розраховуємо за формулою:

$$\Delta P = 0,55 \cdot 5 \cdot (13,69 - 11,82) + 0,03 \cdot 11,82 \cdot 4,9^2 = 13,66 \text{ Па.}$$

Необхідний опір повітропроникненню стіни:

$$R_i^{нотр} = \frac{13,66}{0,5} = 27,32 \text{ м}^2 \cdot \text{год} / \text{кг}$$

Визначення фактичного опору повітропроникненню для багатошарової конструкції:

Перший шар:

штукатурка цементно -піщана 10 мм – 142 м² · год · Па/кг

штукатурка цементно -піщана 10 мм - R_{i1} м² · год · Па/кг,

звідси R_{i1}=94,6 м² · год · Па/кг.

Другий шар:

цегельна кладка 380 мм- 18 м² · год · Па/кг,

цегельна кладка 380 мм- R_{i2} м² · год · Па/кг,

звідси R_{i2}=18 м² · год · Па/кг.

Третій шар:

штукатурка цементно-піщана 10 мм – 373 м² · год · Па/кг

штукатурка цементно -піщана 10 мм - R_{i5} м² · год · Па/кг,

звідси R_{i5}=497,3 м² · год · Па/кг.

$$R_\phi = 96,4 + 18 + 497,3 = 611,7 \text{ м}^2 \cdot \text{год} \cdot \text{Па/кг.}$$

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|------------------------|------|
| | | | | | 601-НТ-20342-МР | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | 72 |

Опір повітропроникненню $R_{\phi} > R_i^{номр}$, $611,7 > 27,32 \text{ м}^2 \cdot \text{год} \cdot \text{Па/кг}$.

Отже, заходів для збільшення опору повітропроникненню проводити не потрібно.

3.1.5 Розрахунок теплових втрат в будинку

Виконуємо в табличному редакторі Excel.

Покроково вводимо значення розрахованих вище термічних опорів та характеристики огороджуючих конструкцій. Результати розрахунку представлені в таблиці 3.2.

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|------------------------|------|
| | | | | | 601-НТ-20342-МР | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | 73 |

Таблиця 3.2 – Результати розрахунку тепловтрат при $R_{\text{вікна}}=0,5 - 0,52 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$

| Розрахунок тепловтрат через огорожуючі конструкції | | | | | | | | | | | | |
|--|---|--|--------|---------|------|-----------------------|--|--------------------------------|--------------------------------------|----|-------------------------|--|
| № прим. | Назва прим. | Характеристика огорожуючих конструкцій | | | | | Термічний опір R, $\text{м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$ | Внутр. темпер. тв, °C | Різниця темпер. тв - тз, °C | n | Над-бавки $\Sigma\beta$ | Втрати тепла через огор. конструкції Qок, Вт |
| | | Найм. | Орієнт | Розміри | | Площа F, м^2 | | | | | | |
| | | | | a, м | h, м | | | | | | | |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 |
| 3 | Загальна $t = 22^\circ \text{C}$ | ЗС1 | ПдСх | 3,63 | 3 | 10,89 | 3,84 | 22 | 45 | 1 | 1 | 128 |
| | | ЗС2 | ПнСх | 4,1 | 3 | 12,30 | 3,84 | 22 | 45 | 1 | 1 | 144 |
| | | В1 | ПдСх | 2,73 | 1,9 | 5,19 | 0,5 | 22 | 45 | 1 | 1 | 467 |
| | | В2 | ПнСх | 1,83 | 1,9 | 3,48 | 0,5 | 22 | 45 | 1 | 1 | 313 |
| | | В3 | ПнСх | 0,71 | 1,9 | 1,35 | 0,5 | 22 | 45 | 1 | 1 | 121 |
| | | ВС | - | 2,22 | 3 | 6,66 | 0,66 | 22 | 31,5 | 1 | 1 | 318 |
| | | СТ | - | - | - | 32,9 | 6,17 | 22 | 20,0 | 1 | 1 | 107 |
| | | П | - | 5,7 | 6,1 | 32,9 | 1,59 | 22 | 33,8 | 1 | 1 | 307 |
| | | | | | | | | | | | Qв | 1765 |
| | | | | | | | | | | | Σ | 3670 |
| 4 | Кухня $t = 20^\circ \text{C}$ | ЗС1 | ПнСх | 1,96 | 3 | 5,88 | 3,84 | 20 | 43 | 1 | 1 | 66 |
| | | ЗС2 | ПнЗх | 2,97 | 3 | 8,91 | 3,84 | 20 | 43 | 1 | 1 | 100 |
| | | В1 | ПнСх | 1,69 | 2,26 | 3,82 | 0,5 | 20 | 43 | 1 | 1 | 328 |
| | | В2 | ПнЗх | 1,15 | 1,4 | 1,61 | 0,5 | 20 | 43 | 1 | 1 | 138 |
| | | СТ | - | - | - | 13,3 | 6,17 | 20 | 32,3 | 1 | 1 | 70 |
| | | П | - | 3,12 | 4,23 | 13,3 | 1,59 | 20 | 32,3 | 1 | 1 | 130 |
| | | | | | | | | | | | Qв | 682 |
| | | | | | | | | | | | Σ | 1514 |
| 9 | Госп. прим. $t=20^\circ \text{C}$ | ЗС1 | ПнЗх | 1,82 | 3 | 5,46 | 3,84 | 20 | 43 | 1 | 1 | 61 |
| | | ЗС2 | ПдЗх | 5,58 | 3 | 16,74 | 3,84 | 20 | 43 | 1 | 1 | 187 |
| | | В1 | ПдЗх | 1,83 | 1,2 | 2,20 | 0,52 | 20 | 43 | 1 | 1 | 182 |
| | | В2 | ПдЗх | 0,79 | 1,2 | 0,95 | 0,52 | 20 | 43 | 1 | 1 | 78 |
| | | Д | ПдЗх | 0,9 | 2,05 | 1,85 | 1,31 | 20 | 43 | 1 | 1 | 61 |
| | | СТ | - | - | - | 15,6 | 6,17 | 20 | 32,3 | 1 | 1 | 82 |
| | | П | - | 3,61 | 4,91 | 15,6 | 1,59 | 20 | 32,3 | 1 | 1 | 157 |
| | | | | | | | | | | | Qв | 800 |
| | | | | | | | | | | | Σ | 1607 |
| 12 | Дитяча $t=20^\circ \text{C}$ | ЗС | ПдЗх | 3,4 | 3 | 10,20 | 3,84 | 22 | 45 | 1 | 1 | 120 |
| | | В | ПдЗх | 1,83 | 1,4 | 2,56 | 0,52 | 22 | 45 | 1 | 1 | 222 |
| | | СТ | - | - | - | 14,9 | 6,17 | 22 | 33,8 | 1 | 1 | 82 |
| | | П | - | 3,6 | 4,15 | 14,9 | 1,59 | 22 | 33,8 | 1 | 1 | 112 |
| | | | | | | | | | | | Qв | 799 |
| | | | | | | | | | | | Σ | 1334 |
| 13 | Дитяча $t=22^\circ \text{C}$ | ЗС1 | ПдЗх | 4,29 | 3 | 12,87 | 3,84 | 22 | 45 | 1 | 1 | 151 |
| | | ЗС2 | ПнЗх | 4,81 | 3 | 14,43 | 3,84 | 22 | 45 | 1 | 1 | 169 |
| | | В | ПдЗх | 1,83 | 1,4 | 2,56 | 0,52 | 22 | 45 | 1 | 1 | 222 |
| | | СТ | - | - | - | 15,3 | 6,17 | 22 | 33,8 | 1 | 1 | 84 |
| | | П | - | 3,7 | 4,15 | 15,3 | 1,59 | 22 | 33,8 | 1 | 1 | 145 |
| | | | | | | | | | | | Qв | 821 |
| | | | | | | | | | | | Σ | 1591 |

| | | | | |
|------|------|----------|--------|------|
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |
|------|------|----------|--------|------|

601-НТ-20342-МР

Арк.

74

Таблиця 3.2 – Результати розрахунку тепловтрат при $R_{\text{вікна}}=0,5 - 0,52 \text{ м}^2 \cdot \text{°C/Вт}$
(продовження)

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 |
|--|------------------------|-----|------|------|-----|-------|------|----|------|----|----------------|--------------|
| 14 | Спальня | ЗС1 | ПдЗх | 4,36 | 3 | 13,08 | 3,84 | 22 | 45 | 1 | 1 | 153 |
| | $t=22^{\circ}\text{C}$ | ЗС2 | ПнЗх | 4,67 | 3 | 14,01 | 3,84 | 22 | 45 | 1 | 1 | 164 |
| | | В | ПдЗх | 2,4 | 1,9 | 4,56 | 0,5 | 22 | 45 | 1 | 1 | 410 |
| | | СТ | - | - | - | 15,1 | 6,17 | 22 | 33,8 | 1 | 1 | 83 |
| | | П | - | 3,7 | 4,1 | 15,1 | 1,59 | 22 | 33,8 | 1 | 1 | 144 |
| | | | | | | | | | | | Q _в | 810 |
| | | | | | | | | | | | Σ | 1764 |
| 15 | Гардероб | ЗС | ПнЗх | 1,77 | 3 | 5,31 | 3,84 | 18 | 41 | 1 | 1 | 57 |
| | $t=18^{\circ}\text{C}$ | В | ПнЗх | 0,79 | 1,2 | 0,95 | 0,52 | 18 | 41 | 1 | 1 | 75 |
| | | СТ | - | - | - | 3,8 | 6,17 | 18 | 30,8 | 1 | 1 | 19 |
| | | П | - | 1,6 | 2,4 | 3,8 | 1,59 | 18 | 30,8 | 1 | 1 | 30 |
| | | | | | | | | | | | Q _в | 186 |
| | | | | | | | | | | | Σ | 366 |
| 16 | Санвузол | ЗС | ПнЗх | 1,92 | 3 | 5,76 | 3,84 | 22 | 45 | 1 | 1 | 68 |
| | $t=22^{\circ}\text{C}$ | В | ПнЗх | 0,89 | 1 | 0,89 | 0,52 | 22 | 45 | 1 | 1 | 77 |
| | | СТ | - | - | - | 6,7 | 6,17 | 22 | 33,8 | 1 | 1 | 37 |
| | | П | - | 1,93 | 3,5 | 6,7 | 1,59 | 22 | 33,8 | 1 | 1 | 52 |
| | | | | | | | | | | | Q _в | 359 |
| | | | | | | | | | | | Σ | 592 |
| Сумарні тепловтрати $\Sigma Q_{\text{тп}} =$ | | | | | | | | | | | | 12438 |

| | | | | |
|------|------|----------|--------|------|
| | | | | |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |

601-НТ-20342-МР

Арк.

75

Таблиця 3.3 – Результати розрахунку тепловтрат при $R_{\text{вікна}}=0,81 - 0,89 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$

| № прим. | Назва прим. | Характеристика огорожуючих конструкцій | | | | | Термічний опір R, $\text{м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$ | Внутр. темпер. t_w , °C | Різниця темпер. $t_w - t_z$, °C | n | Над-бавки $\Sigma \beta$ | Втрати тепла через огор. конструкції $Q_{ок}$, Вт |
|---------|-----------------------------------|--|--------|---------|------|-----------------------|--|------------------------------------|---|----|--------------------------|--|
| | | Найм. | Орієнт | Розміри | | Площа $F, \text{м}^2$ | | | | | | |
| | | | | a, м | h, м | | | | | | | |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 |
| 3 | Загальна $t = 22^\circ \text{C}$ | ЗС1 | ПдСх | 3,63 | 3 | 10,89 | 3,84 | 22 | 45 | 1 | 1 | 128 |
| | | ЗС2 | ПнСх | 4,1 | 3 | 12,30 | 3,84 | 22 | 45 | 1 | 1 | 144 |
| | | В1 | ПдСх | 2,73 | 1,9 | 5,19 | 0,89 | 22 | 45 | 1 | 1 | 262 |
| | | В2 | ПнСх | 1,83 | 1,9 | 3,48 | 0,89 | 22 | 45 | 1 | 1 | 176 |
| | | В3 | ПнСх | 0,71 | 1,9 | 1,35 | 0,89 | 22 | 45 | 1 | 1 | 68 |
| | | ВС | - | 2,22 | 3 | 6,66 | 0,66 | 22 | 31,5 | 1 | 1 | 318 |
| | | СТ | - | - | - | 32,9 | 6,17 | 22 | 33,8 | 1 | 1 | 180 |
| | | П | - | 5,7 | 6,1 | 32,9 | 1,59 | 22 | 33,8 | 1 | 1 | 307 |
| | | | | | | | | | | | Q_B | 1765 |
| | | | | | | | | | | | Σ | 3348 |
| 4 | Кухня $t = 20^\circ \text{C}$ | ЗС1 | ПнЗх | 1,96 | 3 | 5,88 | 3,84 | 20 | 43 | 1 | 1 | 66 |
| | | ЗС2 | ПнЗх | 2,97 | 3 | 8,91 | 3,84 | 20 | 43 | 1 | 1 | 100 |
| | | В1 | ПнСх | 1,69 | 2,26 | 3,82 | 0,89 | 20 | 43 | 1 | 1 | 185 |
| | | В2 | ПнЗх | 1,15 | 1,4 | 1,61 | 0,89 | 20 | 43 | 1 | 1 | 78 |
| | | СТ | - | - | - | 13,3 | 6,17 | 20 | 32,3 | 1 | 1 | 70 |
| | | П | - | 3,12 | 4,23 | 13,3 | 1,59 | 20 | 32,3 | 1 | 1 | 130 |
| | | | | | | | | | | | Q_B | 682 |
| | | | | | | | | | | | Σ | 1309 |
| 9 | Госп. прим. $t=20^\circ \text{C}$ | ЗС1 | ПнЗх | 1,82 | 3 | 5,46 | 3,84 | 20 | 43 | 1 | 1 | 61 |
| | | ЗС2 | ПдЗх | 5,58 | 3 | 16,74 | 3,84 | 20 | 43 | 1 | 1 | 187 |
| | | В1 | ПдЗх | 1,83 | 1,2 | 2,20 | 0,81 | 20 | 43 | 1 | 1 | 117 |
| | | В2 | ПдЗх | 0,79 | 1,2 | 0,95 | 0,81 | 20 | 43 | 1 | 1 | 50 |
| | | Д | ПдЗх | 0,9 | 2,05 | 1,85 | 1,31 | 20 | 43 | 1 | 1 | 61 |
| | | СТ | - | - | - | 15,6 | 6,17 | 20 | 32,3 | 1 | 1 | 82 |
| | | | | | | | | | | | Q_B | 157 |
| | | | | | | | | | | | Q_B | 800 |
| | | | | | | | | | | | Σ | 1514 |
| 12 | Дитяча $t=20^\circ \text{C}$ | ЗС | ПдЗх | 3,4 | 3 | 10,20 | 3,84 | 22 | 45 | 1 | 1 | 120 |
| | | В | ПдЗх | 1,83 | 1,4 | 2,56 | 0,81 | 22 | 45 | 1 | 1 | 142 |
| | | СТ | - | - | - | 14,9 | 6,17 | 22 | 33,8 | 1 | 1 | 82 |
| | | П | - | 3,6 | 4,15 | 14,9 | 1,59 | 22 | 33,8 | 1 | 1 | 112 |
| | | | | | | | | | | | Q_B | 799 |
| | | | | | | | | | | | Σ | 1255 |
| 13 | Дитяча $t=22^\circ \text{C}$ | ЗС1 | ПдЗх | 4,29 | 3 | 12,87 | 3,84 | 22 | 45 | 1 | 1 | 151 |
| | | ЗС2 | ПнЗх | 4,81 | 3 | 14,43 | 3,84 | 22 | 45 | 1 | 1 | 169 |
| | | В | ПдЗх | 1,83 | 1,4 | 2,56 | 0,81 | 22 | 45 | 1 | 1 | 142 |
| | | СТ | - | - | - | 15,3 | 6,17 | 22 | 33,8 | 1 | 1 | 84 |
| | | П | - | 3,7 | 4,15 | 15,3 | 1,59 | 22 | 33,8 | 1 | 1 | 145 |
| | | | | | | | | | | | Q_B | 821 |
| | | | | | | | | | | | Σ | 1512 |

Таблиця 3.3 – Результати розрахунку тепловтрат при $R_{\text{вікна}}=0,81 - 0,89 \text{ м}^2 \cdot \text{°C/Вт}$
(продовження)

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 |
|---------------------|------------------------------------|-----|------|------|-----|-------|------|----|------|----|--------------------|--------------|
| 14 | Спальня $t=22^{\circ}\text{C}$ | ЗС1 | ПдЗх | 4,36 | 3 | 13,08 | 3,84 | 22 | 45 | 1 | 1 | 153 |
| | | ЗС2 | ПнЗх | 4,67 | 3 | 14,01 | 3,84 | 22 | 45 | 1 | 1 | 164 |
| | | В | ПдЗх | 2,4 | 1,9 | 4,56 | 0,89 | 22 | 45 | 1 | 1 | 231 |
| | | СТ | - | - | - | 15,1 | 6,17 | 22 | 33,8 | 1 | 1 | 83 |
| | | П | - | 3,7 | 4,1 | 15,1 | 1,59 | 22 | 33,8 | 1 | 1 | 144 |
| | | | | | | | | | | | Q _в | 810 |
| | | | | | | | | | | | Σ | 1584 |
| 15 | Гардероб $t=18^{\circ}\text{C}$ | ЗС | ПнЗх | 1,77 | 3 | 5,31 | 3,84 | 18 | 41 | 1 | 1 | 57 |
| | | В | ПнЗх | 0,79 | 1,2 | 0,95 | 0,81 | 18 | 41 | 1 | 1 | 48 |
| | | СТ | - | - | - | 3,8 | 6,17 | 18 | 30,8 | 1 | 1 | 19 |
| | | П | - | 1,6 | 2,4 | 3,8 | 1,59 | 18 | 30,8 | 1 | 1 | 30 |
| | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | Σ | 339 |
| 16 | Санвузол $t=22^{\circ}\text{C}$ | ЗС | ПнЗх | 1,92 | 3 | 5,76 | 3,84 | 22 | 45 | 1 | 1 | 68 |
| | | В | ПнЗх | 0,89 | 1 | 0,89 | 0,81 | 22 | 45 | 1 | 1 | 49 |
| | | СТ | - | - | - | 6,7 | 6,17 | 22 | 33,8 | 1 | 1 | 37 |
| | | П | - | 1,93 | 3,5 | 6,7 | 1,59 | 22 | 33,8 | 1 | 1 | 52 |
| | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | Σ | 565 |
| Сумарні тепловтрати | | | | | | | | | | | ΣQ _{тп} = | 11426 |

| | | | | |
|------|------|----------|--------|------|
| | | | | |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |

601-НТ-20342-МР

Арк.

77

Таблиця 3.4 – Результати розрахунку тепловтрат при $R_{\text{вікна}}=1,02 - 1,17 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$

| № прим. | Назва прим. | Характеристика огорожуючих конструкцій | | | | | Термічний опір $R, \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$ | Внутр. темпер. $t_{\text{в}}, \text{ °C}$ | Різниця темпер. $t_{\text{в}} - t_{\text{з}}, \text{ °C}$ | n | Над-бавки $\Sigma \beta$ | Втрати тепла через огор. конструкції $Q_{\text{ок}}, \text{ Вт}$ |
|---------|-------------------------------------|--|--------|---------|------|------------------------|---|---|---|----|--------------------------|--|
| | | Найм. | Орієнт | Розміри | | Площа $F, \text{ м}^2$ | | | | | | |
| | | | | a, м | h, м | | | | | | | |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 |
| 3 | Загальна $t = 22^{\circ} \text{C}$ | ЗС1 | ПдСх | 3,63 | 3 | 10,89 | 3,84 | 22 | 45 | 1 | 1 | 128 |
| | | ЗС2 | ПнСх | 4,1 | 3 | 12,30 | 3,84 | 22 | 45 | 1 | 1 | 144 |
| | | В1 | ПдСх | 2,73 | 1,9 | 5,19 | 1,17 | 22 | 45 | 1 | 1 | 200 |
| | | В2 | ПнСх | 1,83 | 1,9 | 3,48 | 1,17 | 22 | 45 | 1 | 1 | 134 |
| | | В3 | ПнСх | 0,71 | 1,9 | 1,35 | 1,17 | 22 | 45 | 1 | 1 | 52 |
| | | ВС | - | 2,22 | 3 | 6,66 | 0,66 | 22 | 31,5 | 1 | 1 | 318 |
| | | СТ | - | - | - | 32,9 | 6,17 | 22 | 33,8 | 1 | 1 | 180 |
| | | П | - | 5,7 | 6,1 | 32,9 | 1,59 | 22 | 33,8 | 1 | 1 | 307 |
| | | | | | | | | | | | $Q_{\text{в}}$ | 1765 |
| | | | | | | | | | | | Σ | 3227 |
| 4 | Кухня $t = 20^{\circ} \text{C}$ | ЗС1 | ПнСх | 1,96 | 3 | 5,88 | 3,84 | 20 | 43 | 1 | 1 | 66 |
| | | ЗС2 | ПнЗх | 2,97 | 3 | 8,91 | 3,84 | 20 | 43 | 1 | 1 | 100 |
| | | В1 | ПнСх | 1,69 | 2,26 | 3,82 | 1,17 | 20 | 43 | 1 | 1 | 140 |
| | | В2 | ПнЗх | 1,15 | 1,4 | 1,61 | 1,17 | 20 | 43 | 1 | 1 | 59 |
| | | СТ | - | - | - | 13,3 | 6,17 | 20 | 32,3 | 1 | 1 | 70 |
| | | П | - | 3,12 | 4,23 | 13,3 | 1,59 | 20 | 32,3 | 1 | 1 | 130 |
| | | | | | | | | | | | $Q_{\text{в}}$ | 682 |
| | | | | | | | | | | | Σ | 1246 |
| 9 | Госп. прим. $t=20^{\circ} \text{C}$ | ЗС1 | ПнЗх | 1,82 | 3 | 5,46 | 3,84 | 20 | 43 | 1 | 1 | 61 |
| | | ЗС2 | ПдЗх | 5,58 | 3 | 16,74 | 3,84 | 20 | 43 | 1 | 1 | 187 |
| | | В1 | ПдЗх | 1,83 | 1,2 | 2,20 | 1,17 | 20 | 43 | 1 | 1 | 81 |
| | | В2 | ПдЗх | 0,79 | 1,2 | 0,95 | 1,17 | 20 | 43 | 1 | 1 | 35 |
| | | Д | ПдЗх | 0,9 | 2,05 | 1,85 | 1,31 | 20 | 43 | 1 | 1 | 61 |
| | | СТ | - | - | - | 15,6 | 6,17 | 20 | 32,3 | 1 | 1 | 82 |
| | | П | - | 3,61 | 4,91 | 15,6 | 1,59 | 20 | 32,3 | 1 | 1 | 157 |
| | | | | | | | | | | | $Q_{\text{в}}$ | 800 |
| | | | | | | | | | | | Σ | 1463 |
| 12 | Дитяча $t=20^{\circ} \text{C}$ | ЗС | ПдЗх | 3,4 | 3 | 10,20 | 3,84 | 22 | 45 | 1 | 1 | 120 |
| | | В | ПдЗх | 1,83 | 1,4 | 2,56 | 1,02 | 22 | 45 | 1 | 1 | 113 |
| | | СТ | - | - | - | 14,9 | 6,17 | 22 | 33,8 | 1 | 1 | 82 |
| | | П | - | 3,6 | 4,15 | 14,9 | 1,59 | 22 | 33,8 | 1 | 1 | 112 |
| | | | | | | | | | | | $Q_{\text{в}}$ | 799 |
| | | | | | | | | | | | Σ | 1225 |
| 13 | Дитяча $t=22^{\circ} \text{C}$ | ЗС1 | ПдЗх | 4,29 | 3 | 12,87 | 3,84 | 22 | 45 | 1 | 1 | 151 |
| | | ЗС2 | ПнЗх | 4,81 | 3 | 14,43 | 3,84 | 22 | 45 | 1 | 1 | 169 |
| | | В | ПдЗх | 1,83 | 1,4 | 2,56 | 1,02 | 22 | 45 | 1 | 1 | 113 |
| | | СТ | - | - | - | 15,3 | 6,17 | 22 | 33,8 | 1 | 1 | 84 |
| | | П | - | 3,7 | 4,15 | 15,3 | 1,59 | 22 | 33,8 | 1 | 1 | 145 |
| | | | | | | | | | | | $Q_{\text{в}}$ | 821 |
| | | | | | | | | | | | Σ | 1482 |

| | | | | |
|------|------|----------|--------|------|
| | | | | |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |

601-НТ-20342-МР

Арк.

78

Таблиця 3.4 – Результати розрахунку тепловтрат при $R_{\text{вікна}}=1,02 - 1,17 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$
(продовження)

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 |
|----------------------------|------------------------------------|-----|------|------|-----|-------|------|----|------|----|--------------------------|--------------|
| 14 | Спальня $t=22^{\circ}\text{C}$ | ЗС1 | ПдЗх | 4,36 | 3 | 13,08 | 3,84 | 22 | 45 | 1 | 1 | 153 |
| | | ЗС2 | ПнЗх | 4,67 | 3 | 14,01 | 3,84 | 22 | 45 | 1 | 1 | 164 |
| | | В | ПдЗх | 2,4 | 1,9 | 4,56 | 1,17 | 22 | 45 | 1 | 1 | 175 |
| | | СТ | - | - | - | 15,1 | 6,17 | 22 | 33,8 | 1 | 1 | 83 |
| | | П | - | 3,7 | 4,1 | 15,1 | 1,59 | 22 | 33,8 | 1 | 1 | 144 |
| | | | | | | | | | | | Q _В | 810 |
| | | | | | | | | | | | Σ | 1529 |
| 15 | Гардероб $t=18^{\circ}\text{C}$ | ЗС | ПнЗх | 1,77 | 3 | 5,31 | 3,84 | 18 | 41 | 1 | 1 | 57 |
| | | В | ПнЗх | 0,79 | 1,2 | 0,95 | 1,02 | 18 | 41 | 1 | 1 | 38 |
| | | СТ | - | - | - | 3,8 | 6,17 | 18 | 30,8 | 1 | 1 | 19 |
| | | П | - | 1,6 | 2,4 | 3,8 | 1,59 | 18 | 30,8 | 1 | 1 | 30 |
| | | | | | | | | | | | Q _В | 186 |
| | | | | | | | | | | | Σ | 329 |
| 16 | Санвузол $t=22^{\circ}\text{C}$ | ЗС | ПнЗх | 1,92 | 3 | 5,76 | 3,84 | 22 | 45 | 1 | 1 | 68 |
| | | В | ПнЗх | 0,89 | 1 | 0,89 | 1,02 | 22 | 45 | 1 | 1 | 39 |
| | | СТ | - | - | - | 6,7 | 6,17 | 22 | 33,8 | 1 | 1 | 37 |
| | | П | - | 1,93 | 3,5 | 6,7 | 1,59 | 22 | 33,8 | 1 | 1 | 52 |
| | | | | | | | | | | | Q _В | 359 |
| | | | | | | | | | | | Σ | 555 |
| Сумарні тепловтрати | | | | | | | | | | | ΣQ_{тп} = | 11057 |

Розглянемо структуру тепловтрат будинку та її зміну при підвищенні термічного опору вікон. Розрахунок виконуємо в середовищі Excel, результати представлені в таблицях 3.5 – 3.7.

Таблиця 3.5 – Структура тепловтрат будинку при $R_{\text{вікна}}=0,5 - 0,52 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$

| Вид тепловтрат | Кількість тепловтрат | % від загальних тепловтрат |
|---|----------------------|----------------------------|
| Зовнішні стіни | 1567 | 12,6 |
| Вікна | 2634 | 21,2 |
| Горищне перекриття | 561 | 4,5 |
| Підлога | 1077 | 8,7 |
| Нагрів вентиляційного повітря та інфільтрація | 6221 | 50,0 |

| | | | | |
|------|------|----------|--------|------|
| | | | | |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |

601-НТ-20342-МР

Арк.

79

Таблиця 3.6 – Структура тепловтрат будинку при $R_{\text{вікна}} = 0,81 - 0,89 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$

| Вид тепловтрат | Кількість тепловтрат | % від загальних тепловтрат |
|---|----------------------|----------------------------|
| Зовнішні стіни | 1567 | 13,7 |
| Вікна | 1548 | 13,5 |
| Горищне перекриття | 634 | 5,6 |
| Підлога | 1077 | 9,4 |
| Нагрів вентиляційного повітря та інфільтрація | 6221 | 54,4 |

Таблиця 3.7 – Структура тепловтрат будинку при $R_{\text{вікна}} = 1,02 - 1,17 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$

| Вид тепловтрат | Кількість тепловтрат | % від загальних тепловтрат |
|---|----------------------|----------------------------|
| Зовнішні стіни | 1567 | 14,2 |
| Вікна | 1179 | 10,7 |
| Горищне перекриття | 634 | 5,7 |
| Підлога | 1077 | 9,7 |
| Нагрів вентиляційного повітря та інфільтрація | 6221 | 56,3 |

Для аналізу отриманих даних зручно зібрати в табличну форму теплотехнічні характеристики існуючих огорожуючих конструкцій (таблиця 3.8) та геометричні характеристики будівлі (таблиця 3.9).

Таблиця 3.8 – Опір теплопередачі існуючих огорожуючих конструкцій

| Назва конструкцій | Одиниця вимірювання | R |
|--------------------|--|--------------------------|
| Стіни | $\text{м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$ | 3,84 |
| Вікна | $\text{м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$ | 0,52 |
| Горищне перекриття | $\text{м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$ | 6,17 |
| Підлога | $\text{м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$ | $R_{\text{зони}} + 1,59$ |

Таблиця 3.9 – Геометричні характеристики будівлі

| Параметр | Одиниця вимірювання | Значення |
|----------------------------|---------------------|----------|
| Площа стін | м^2 | 135,84 |
| Площа вікон | м^2 | 30,11 |
| Коефіцієнт скління фасадів | | 0,22 |
| Площа опалювальна | м^2 | 143,2 |
| Площа загальна | м^2 | 228,4 |

| | | | | |
|------|------|----------|--------|------|
| | | | | |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |

601-НТ-20342-МР

Арк.

80

На основі аналізу таблиць 3.3 – 3.9 можна зробити висновки:

1. Тепловтрати на інфільтрацію та нагрів вентиляційного повітря в загальному балансі займають 50% від загальних тепловтрат. При покращенні теплоізоляційних характеристик вікон їх частка зростає до 56,3%.
2. При існуючих характеристиках світлопрозорих конструкцій, що мають термічний опір у межах 0,5 – 0,52 м²·°C/Вт тепловтрати через вікна займають друге місце по величині й складають 21,2 %. При цьому коефіцієнт скління всього 0,22.
3. Доведення термічного опору вікон до нормативних значень практично зрівнює частки тепловтрат через стіни та вікна. При $R_{\text{вікна}} = 0,81 - 0,89$ м²·°C/Вт маємо 13,7 та 13,5% відповідно.
4. Подальше зростання термічного опору вікна до $R_{\text{вікна}} = 1,02 - 1,17$ м²·°C/Вт (за рахунок збільшення товщини склопакетів й відповідно простору, заповненого інертним газом) знижує частку тепловтрат через вікна до 10,7 % і забезпечує скорочення загальних тепловтрат на 11,1%.

Отже, до першочергових завдань з підвищення енергоефективності варто віднести встановлення вікон з енергопакетом Glas Trosch Comfort товщиною 40 мм, виконаного за схемою 4i-T14Ar-4-T14Ar-4i, який забезпечує термічний опір вікна на рівні від 1,2 до 1,17 залежно його від площі.

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|------------------------|------|
| | | | | | 601-НТ-20342-МР | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | 81 |

3.1.6 Визначення необхідної кількості теплової енергії для опалення

Теплова потреба будинку за 2.24:

$$Q_{\text{ТП}} = Q_{\text{ОГ}} + Q_{\text{В}}$$

$Q_{\text{ОГ}}$ – тепловий потік, через огороджуючі конструкції, Вт;

$Q_{\text{В}}$ – втрати теплоти, на нагрів вентиляційного повітря, Вт;

За результатами розрахунку, наведеними в таблиці 3.2, загальні теплові втрати $Q_{\text{ОГ}} + Q_{\text{В}}$ складають 13,085 кВт.

Необхідна теплова потужність системи опалення за формулою 2.29:

$$Q_{\text{СО}} = b_1 b_2 \sum (Q_{\text{ОК}} + Q_{\text{В}}) - Q_{\text{ПБ}}$$

$Q_{\text{ПБ}}$ – побутові теплонадходження, Вт.

$$Q_{\text{ПБ}} = Q_{\text{Л}} + Q_{\text{О}} + Q_{\text{Обл}} = (1,2 + 2 + 2) \cdot F = 5,2 \text{ Вт/м}^2 \cdot 228,4 \text{ м}^2 = 1188 \text{ Вт.}$$

Отже, необхідна потужність системи опалення будинку складає:

$$Q_{\text{СО}} = 1,1 \cdot 13,085 \text{ кВт} - 1,188 \text{ кВт} = 13,2 \text{ кВт.}$$

3.1.7 Проведення натурних досліджень енергоефективності огороджуючих конструкцій будинку за допомогою тепловізора

З метою отримання найкращих результатів рекомендується проводити вимірювання при якомога більшому перепаді температур зовнішнього та внутрішнього повітря. Тому вибираємо найхолодніший період за прогнозом погоди й плануємо проведення робіт на період сталих морозів. За методикою проведення досліджень тепловізором, викладеною в розділі 2, працювати з тепловізором доцільно рано вранці або пізно ввечері, щоб поверхні фасадів і даху не нагрівалися сонячними променями довше 3-х годин. З урахуванням цього роботу починаємо о 8 годині ранку при ясній погоді, без опадів, температура зовнішнього повітря -12°C , що забезпечує перепад температур зовні та всередині будівлі близько 32°C . На початку роботи перевіряємо достовірність вимірювань на поверхні з відомими температурами.

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|------------------------|------|
| | | | | | 601-НТ-20342-МР | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | 82 |

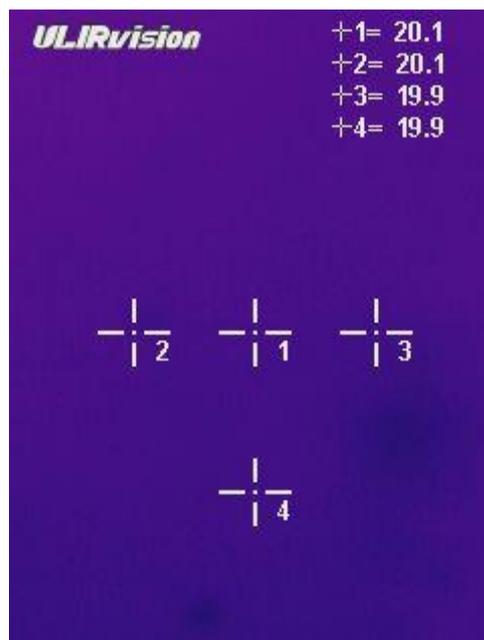


Рисунок 3.9 – Термограма для внутрішньої поверхні стіни з $t = 20^{\circ}\text{C}$.

Пересвідчившись у відповідності отриманих температур, переходимо до основних вимірювань.

Для отримання найбільш репрезентативних даних тепловізор намагаємося направляти на поверхні так, щоб точки вимірювання потрапляли на поверхні з контрастними характеристиками.

Виявляємо та детально обстежуємо місця витоків теплової енергії через характерні ділянки огорожуючих конструкцій стіни, покрівля, вікна. Оцінюємо також якість роботи кабельної теплої підлоги. Термограми, отримані в результаті тепловізійного обстеження представлені в додатку Г.

3.2 Аналіз результатів теоретичних та експериментальних досліджень об'єкту

Аналіз проведених досліджень виконаємо на основі порівняння зображень на термограмах, що дозволяють оцінити енергоефективність досліджених конструкцій, а також виконаємо розрахунок енергозбереження від проведення енергоефективних заходів.

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|------------------------|------|
| | | | | | 601-НТ-20342-МР | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | 83 |

3.2.1 Аналіз результатів досліджень, отриманих за допомогою тепловізора

На рисунках Г.1 і Г.2 показані термограми стіни, де вже виконано утеплення за допомогою пінопласту товщиною 100мм. Як видно, досить добре прослідковуються лінії стиків листів, які буквально світяться на термограмах теплими кольорами. Це свідчить про те, що утеплення проводилося лише в один шар і підтверджує рекомендації виробників щодо двошарової технології утеплення з перекриванням стиків. При цьому температура на поверхні стін з пінопластом є досить близькою до температури зовнішнього повітря на відміну від розташованої поряд стіни без утеплення. Як видно, за рахунок утеплення пінопластом товщиною всього 100 мм температура на зовнішній поверхні стіни знизилася з -1 до -8 °С (рис. Г.2). З урахуванням того, що розрахунок утеплювачів показав, що необхідна товщина пінопласту для досягнення нормативних вимог з теплоізоляції має становити 200 мм можна прогнозувати істотне покращення мікроклімату в приміщенні після доутеплення ще одним шаром пінопласту товщиною 100 мм із перекриванням стиків попереднього шару. При цьому температура на зовнішній поверхні стіни впритул наблизатиметься до температури зовнішнього повітря. На рисунку Г.2 також видно як вплинув декоративний виступ із пінопласту товщиною 2 см на термічний опір конструкції – температура на поверхні зменшилася з -7,7 до -9,4 °С

Аналіз термограм на рис. Г.1 свідчить про помітні витоки тепла через контури ущільнення вікон. Видно, що на поверхні одного вікна температура коливається від 0 до -4 °С залежно від точки вимірювання, що свідчить про неоднорідність теплового потоку, який проходить через вікно, та відповідно неоднорідність термічних опорів його складових.

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|------------------------|------|
| | | | | | 601-НТ-20342-МР | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | 84 |

3.2.2 Розрахунок енергозбереження від реконструкції огорожуючих конструкцій

Для аналізу ефективності проведення теплоізоляції стін виконаємо розрахунок енергозбереження від реконструкції огорожуючих конструкцій

Середні за опалювальний сезон втрати теплоти через стіни обчислюються за формулою:

$$Q_o^c = (1/R) \cdot F \cdot (t_e - t_n^c) \cdot 10^{-3} \quad (3.2)$$

Підставивши характеристики до та після утеплення, тримаємо:

$$Q_{cm} = (1/0,84) \cdot 135,84 \cdot (20 - (-0,8)) \cdot 10^{-3} = 3,364$$

$$Q'_{cm} = (1/3,84) \cdot 135,84 \cdot (20 - (-0,8)) \cdot 10^{-3} = 0,736$$

Кількість тепла, що втрачається за опалювальний період, визначається множенням отриманих значень на тривалість опалювального періоду в годинах згідно [10]. За таблицею 2.3 $n=178$ діб, тобто $178 \cdot 24=4272$ год):

$$Q_p = 3,364 \cdot 4272 = 14371,0 \text{ кВт} \cdot \text{год/рік}$$

$$Q'_p = 0,736 \cdot 4272 = 3144,2 \text{ кВт} \cdot \text{год/рік.}$$

Економія теплової енергії за рік для будинку після утеплення стін базальтовою ватою:

$$\Delta Q_e = (Q_p - Q'_p) = (14371 - 3144,2) = 11226,8 \text{ кВт} \cdot \text{год/рік} = 9,65 \text{ Гкал/рік}$$

$$\Delta Q_e = 4,184 \cdot 9,65 = 40,38 \text{ ГДж} = 40376 \text{ МДж.}$$

Нижча теплота згоряння природного газу в Україні становить 8300 ккал/м^3 [].

$$Q_{н^p} = 8300 \text{ ккал/м}^3 = 34,75 \text{ МДж/м}^3.$$

Отже, при теплотворній здатності газу $34,75 \text{ МДж/м}^3$ економія палива щорічно становитиме:

$$\Delta P_e = 40376/34,75 = 1162 \text{ м}^3 \text{ газу.}$$

Відповідно при вартості $7,96 \text{ грн/м}^3$ маємо економію коштів:

$$\Delta B_e = 1162 \cdot 7,96 = 9250 \text{ грн/рік.}$$

Капіталовкладення на утеплення розрахуємо умовно як вартість утеплювача з коефіцієнтом 2 на монтажні роботи та супутні матеріали.

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|------------------------|------|
| | | | | | 601-НТ-20342-МР | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | 85 |

Вартість 1 пачки Базальтової вати Roswool Fasrock 150 мм 1.2 м² складає 624 грн. Відповідно 1 м² при товщині 150 мм коштуватиме 624/1,2 = 520 грн.

Площа стін – 135,84 м². Відповідно $K = 2 \cdot 135,84 \cdot 520 = 141274$ грн.

Термін окупності:

$$T = K / \Delta B_e = 141274/9250 = 15,3 \text{ років.}$$

Отже, захід з утеплення стін має термін окупності близько 15 років і є не дуже доцільним.

Повторимо розрахунки за умови утеплення пінопластом.

Підставивши характеристики до та після утеплення, тримаємо:

$$Q_{cm} = (1/0,84) \cdot 135,84 \cdot (20 - (-0,8)) \cdot 10^{-3} = 3,364$$

$$Q'_{cm} = (1/3,47) \cdot 135,84 \cdot (20 - (-0,8)) \cdot 10^{-3} = 0,814$$

Кількість тепла, що втрачається за опалювальний період, визначається множенням отриманих значень на тривалість опалювального періоду в годинах згідно [10]. За таблицею 2.3 n=178 діб, тобто 178·24=4272 год):

$$Q_p = 3,364 \cdot 4272 = 14371,0 \text{ кВт} \cdot \text{год/рік}$$

$$Q'_p = 0,814 \cdot 4272 = 3477,4 \text{ кВт} \cdot \text{год/рік.}$$

Економія теплової енергії за рік для будинку після утеплення стін пінопластом:

$$\Delta Q_e = (Q_p - Q'_p) = (14371 - 3477,4) = 10893,6 \text{ кВт} \cdot \text{год/рік} = 9,37 \text{ Гкал/рік}$$

$$\Delta Q_e = 4,184 \cdot 9,37 = 39,20 \text{ ГДж} = 39204 \text{ МДж.}$$

Нижча теплота згоряння природного газу в Україні становить 8300 ккал/м³ [37].

$$Q_{н.р} = 8300 \text{ ккал/м}^3 = 34,75 \text{ МДж/м}^3.$$

Отже, при теплотворній здатності газу 34,75 МДж/м³ економія палива щорічно становитиме:

$$\Delta P_e = 39204/34,75 = 1128 \text{ м}^3 \text{ газу.}$$

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|------------------------|------|
| | | | | | 601-НТ-20342-МР | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | 86 |

Відповідно при вартості 7,96 грн/м³ маємо економію коштів:

$$\Delta B_e = 1128 \cdot 7,96 = 8977 \text{ грн/рік.}$$

Капіталовкладення на утеплення розрахуємо умовно як вартість утеплювача з коефіцієнтом 2 на монтажні роботи та супутні матеріали.

Вартість 1 листа пінопласту 25 Століт EPS-30 Optima 100 мм 1 м² складає 97,5 грн. Відповідно 1 м² при товщині 200 мм коштуватиме $2 \cdot 97,5 = 195$ грн.

Площа стін – 135,84 м². Відповідно $K = 2 \cdot 135,84 \cdot 195 = 52978$ грн.

Термін окупності:

$$T = K / \Delta B_e = 52978 / 8977 = 5,9 \text{ років.}$$

Отже, захід з утеплення стін має термін окупності близько 6 років і є цілком доцільним з економічної точки зору.

Не зважаючи на економічний розрахунок, що показав перевагу пінопласту, варіант з базальтовою ватою має право на існування завдяки екологічності матеріалу. Обидва матеріали задовольняють нормативним вимогам і можуть бути рекомендовані до впровадження.

3.2.3 Розрахунок енергозбереження від використання систем регулювання тепlopостачання.

До систем регулювання тепlopостачання в приватному будинку належать передусім терморегулятори на вході теплоносія в опалювальні прилади та програматори, що підключаються до джерела тепла й забезпечують у комплекті з виносними температурними датчиками погодозалежне та програмне регулювання параметрів системи відповідно до налаштувань, виконаних споживачем.

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|------------------------|------|
| | | | | | 601-НТ-20342-МР | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | 87 |

Терморегулятори призначені для автоматичного підтримання сталої заданої температури в приміщеннях і забезпечення комфортних умов для мешканців. Разом з тим, вони дозволяють зменшувати потік теплоносія в приміщення, які мають нижчі вимоги до теплового комфорту, або певний період часу не використовуються. На нагрівальних приладах зазвичай встановлюють сучасні терморегулятори фірм «Danfoss» , «Herz» та ін.(рис. 3.3).



Рисунок 3.3 – Види термостатичних головок для опалювального приладу

Використання термостату з програматором (рис. 3.4) дозволяє програмувати автоматичне зниження температури в будинку у період відсутності мешканців і створення комфортної температури до заданого часу повернення. Для котлів, які мають електронну плату управління, що передбачає можливість підключення зовнішнього термостату, встановлення термостату з програмним управлінням можна вважати найпершим обов'язковим енергозберігаючим заходом.

| | | | | |
|------|------|----------|--------|------|
| | | | | |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |

601-НТ-20342-МР

Арк.

88

швидко охолоджується і температурний датчик котла знову дає команду на включення. У випадку встановлення термостата для котла процес роботи останнього залежатиме тільки від результатів вимірювання температури повітря в приміщенні, де встановлений термостат чи його виносний датчик. Відповідно котел включатиметься тільки тді, коли в кімнаті почне знижуватися температура повітря, відповідно робота котла буде більш плавною.

Спочатку програмуються дві базові температури - «день» і «ніч». Далі можна розписати роботу котла на протязі доби, оперуючи цими температурами. Для прикладу можна порекомендувати наступний енергозберігаючий режим, обумовлений режимом роботи мешканців та їхніми вимогами до теплового комфорту:

| Час доби | режим | температура в кімнаті |
|---------------|--------|-----------------------|
| 0:00 – 6:00 | «ніч» | 20 °С |
| 6:00 – 8:00 | «день» | 22 °С |
| 8:00 – 18:00 | «ніч» | 20 °С |
| 16:00 – 24:00 | «день» | 22 °С |

У результаті роботи котла за заданою програмою комфортна температура буде підтримуватися в будинку не 24 години на добу, а лише 10 годин, а решту часу маємо більш економне споживання. При цьому для мешканців відчуття комфорту не зміниться, система підтримуватиме оптимальні умови лише в той період, коли це справді необхідно, а за відсутності господарів температура в приміщеннях буде трохи зниженою.

Економічні показники при впровадженні заходів по підвищенню ефективності роботи систем опалення за рахунок автоматизації оцінюються економією витрати теплоти, яка при цьому досягається.

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|------------------------|------|
| | | | | | 601-НТ-20342-МР | Арк. |
| | | | | | | 90 |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

Економію витрати теплоти за рахунок програматора, ГДж/рік , розрахуємо за формулою:

$$\Delta Q_e = \frac{k_e}{100} Q_0 \frac{t_b - t_{cp.o}}{t_b - t_{p.o}} n_0 24 \cdot 3,6, \quad (3.3)$$

де k_e – відсоток економії теплоти на опалення, що залежить від типу регулятора і за практичними рекомендаціями може бути прийнята на мінімальному рівні 8%;

Q_0 – розрахункова витрата теплоти на опалення будівлі, кВт;

T_b – розрахункова температура внутрішнього повітря;

$t_{cp.o}$ – середня температура зовнішнього повітря за опалювальний період;

n_0 – тривалість опалювального періоду;

$t_{p.o}$ – розрахункова температура зовнішнього повітря на опалення, °С.

$$\Delta Q_e = \frac{8}{100} 13,2 \cdot \frac{20 + 0,8}{20 + 23} \cdot 178 \cdot 24 \cdot 3,6 = 7855,8 \text{ кВт} = 7,86 \text{ МВт}.$$

3.3 Одержання та обґрунтування основних науково-технічних результатів досліджень.

3.3.1. Розрахунок річної та середньогодинної за сезон витрати теплоти на опалення при виконанні запропонованих заходів.

Середня за сезон теплова потужність системи опалення $Q_{опал}^{cp}$, кВт, може бути визначена за формулою:

$$Q_{опал}^{cp} = Q_{опал} \cdot \frac{t_6 - t_3^{cp}}{t_6 - t_3} \quad (3.1)$$

$$Q_{опал}^{cp} = 13,2 \cdot \frac{20 + 0,8}{20 + 23} = 6,385 \text{ кВт}$$

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|------------------------|------|
| | | | | | 601-НТ-20342-МР | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | 91 |

$$\Delta Q_e = (Q_p - Q'_p) = (14371 - 3144,2) = 11226,8 \text{ кВт}\cdot\text{год/рік} = 9,65 \text{ Гкал/рік}$$

$$\Delta Q_e = 4,184 \cdot 9,65 = 40,38 \text{ ГДж} = 40376 \text{ МДж.}$$

Річна витрата теплоти на опалення $\Phi_{опал}$ обчислюється за формулою :

$$\Phi_{опал} = Q_{опал}^{cp} \cdot n_0, \quad (3.2)$$

де n_0 - тривалість опалювального періоду в годинах.

$$\Phi_{опал} = 6,385 \cdot 4272 = 27276,7 \text{ кВт}\cdot\text{год.}$$

Із цієї кількості тепла щорічно заощаджуватиметься 11226,8 кВт·год за рахунок лише одного енергозберігаючого заходу – утеплення стін базальтовою ватою товщиною 150 мм.

Таким чином річна витрата тепла скоротиться до :

$$\Phi_{опал} = 27276,7 - 5855,5 = 16247,4 \text{ кВт}\cdot\text{год.}$$

3.3.2 Вибір джерела енергії

Вибір джерела теплоти почнемо з вивчення існуючого обладнання. Зараз джерелом теплової енергії для потреб опалення та гарячого водопостачання є двоконтурний котел FerroliDiva C20 потужністю 20 кВт.

Фото котла показано на рисунках 3.5 і 3.6.

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|------------------------|------|
| | | | | | 601-НТ-20342-МР | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | 92 |



Рисунок 3.5 – Зовнішній вигляд котла

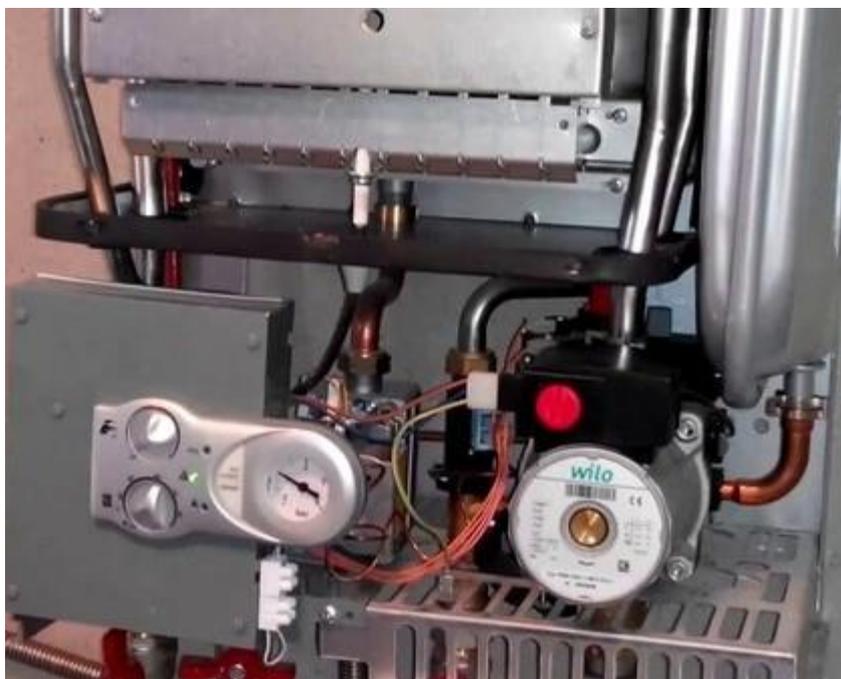


Рисунок 3.6 – Будова котла

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|------------------------|------|
| | | | | | 601-НТ-20342-МР | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | 93 |

Основні складові:

1. Первинний мідний теплообмінник високої потужності.
2. Вторинний теплообмінник із нержавіючої сталі.
3. Кнопки управління з індикацією на ЖК-дисплеї.
4. Відкрита камера згорання.
5. Циркуляційний насос Wilo, що має 3 швидкості.
6. Вбудований контур (байпас) в системі опалення.

Котел пристосований до вітчизняних умов експлуатації. Стійка робота плати управління забезпечується при перепадах напруги від 140 до 290 В. Передбачено анти блокування насоса та трьохходового клапана. Є захист від замерзання. У ввімкненому стані за наявності газу та електроенергії в мережі, котел вийде із режиму очікування й увімкнеться, якщо температура теплоносія знизиться до +5°C.

Котел може працювати як на природному, так і на зрідженому газі.

Розпалювання електричне, є іонізаційний контроль полум'я. У режимах «Опалення» та «ГВП» здійснюється електронна модуляція полум'я.

Ferrolі Diva C20 має функцію ECO/Comfort в режимі гарячого водопостачання, що дозволяє обирати між економним та комфортним режимом споживання газу.

Передбачена можливість підключення кімнатного пульта управління типу OSCAR/ROMEO.

Мікропроцесорна плата дозволяє розпізнавати помилки й зберігати їх у пам'яті котла. В історії зберігаються останні 10 помилок, що є дуже зручним для аналізу роботи котла.

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|------------------------|------|
| | | | | | 601-НТ-20342-МР | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | 94 |

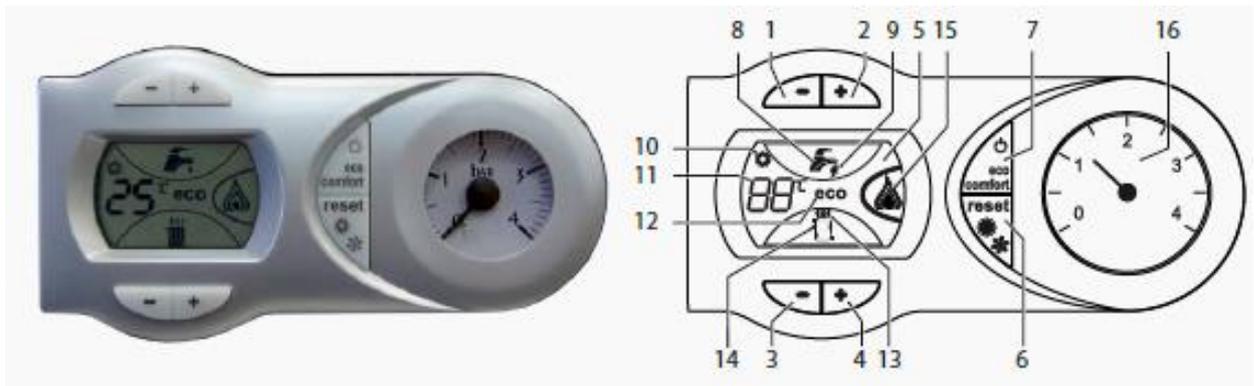


Рисунок 3.7 – Панель управління настінного котла Ferrolì Diva C

- 1 – Кнопка зменшення температури ГВП
- 2 – Кнопка збільшення температури ГВП
- 3 – Кнопка зменшення температури ОВ
- 4 – Кнопка збільшення температури ОВ
- 5 – Дисплей
- 6 – Кнопка «reset», а також зміна режимів «Літо/Зима»
- 7 – «Увімкнення/Вимкнення» котла, увімкнення режимів «економічний/Комфорт»
- 8 – Символ ГВП
- 9 – Символ роботи агрегата в режимі ГВП
- 10 – Індикація «Літній режим»
- 11 – Індикація багатофункціонального режиму
- 12 – Символ режиму «Економічний»
- 13 – Індикація роботи агрегату в режимі опалення
- 14 – Символ опалення
- 15 – Індикація роботи пальника на фактичній потужності
- 16 – Манометр

Передбачена можливість підключення котла до сонячної установки: інтегроване управління комбінованим нагрівом води за допомогою котла та сонячної установки.

З урахуванням росту цін на вуглеводневе паливо з метою термомодернізації будинку доцільно розглянути перехід на інше джерело енергії.

Враховуючи наявність вільної території на ділянці та відсутність благоустрою, розглянемо варіант застосування ґрунтового теплового насоса.

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|------------------------|------|
| | | | | | 601-НТ-20342-МР | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | 95 |

Підберемо марку теплового насоса з продуктивністю, найближчою до необхідної потужності системи опалення, розрахованої у п. 3.1.6, тобто $Q_{CO} = 13,2$ кВт.

З урахуванням потреб на гаряче водопостачання маємо:

$$Q_{\text{необх}} = 1,25 \cdot Q_{CO} = 1,25 \cdot 13,2 = 16,5 \text{ кВт.}$$

Приймаємо тепловий насос Viessmann Vitocal 300-G BW 301.B17.

Максимальна продуктивність такого обладнання складає 17,200 кВт.

Зовнішній вигляд теплового насоса показано на рисунку 3.8.



Рисунок 3.8 – Загальний вигляд теплового насоса
Viessmann Vitocal 300-G BW 301.B17

Схематично система опалення приватного будинку із тепловим насосом показана на рисунку 3.9, де для прикладу показано 2 основні типи ґрунтових колекторів: горизонтальний і вертикальний у вигляді свердловин.

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|------------------------|------|
| | | | | | 601-НТ-20342-МР | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | 96 |

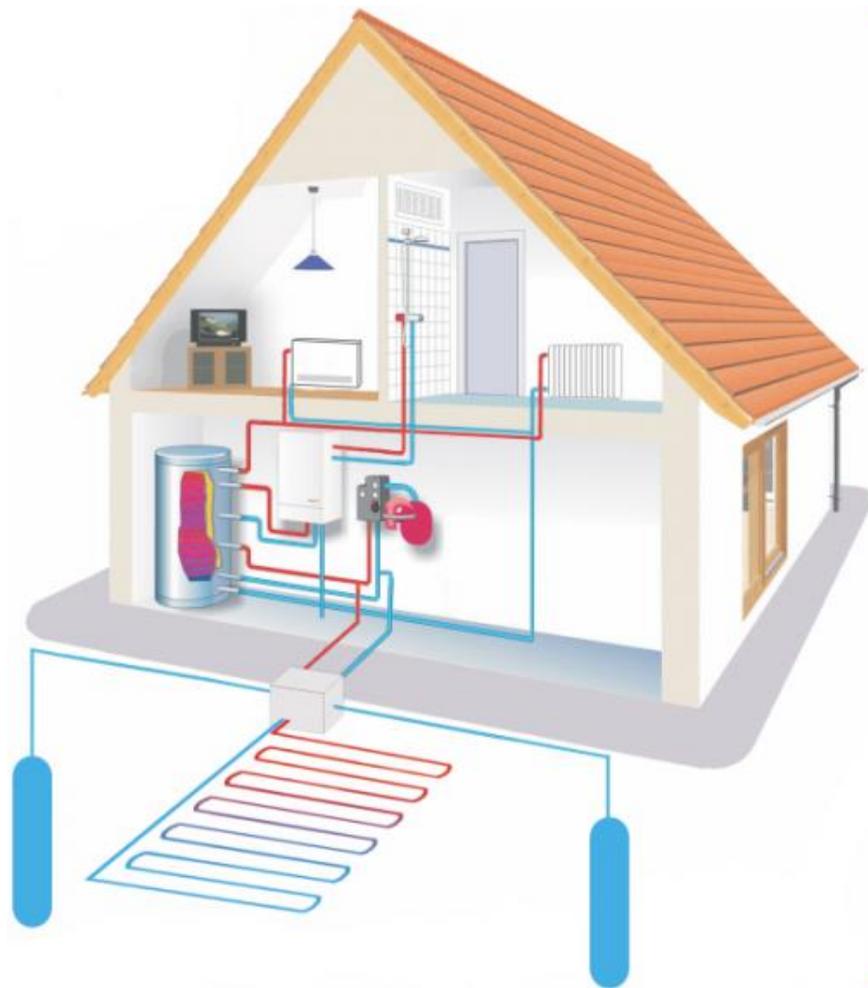


Рисунок 3.9 – Схема системи опалення будинку із тепловим насосом

Горизонтальні геоконтури (геополя) являють собою пластикові труби довжиною від 100 до 200 м кожна, які укладаються на 0,2 м нижче глибини промерзання ґрунту, тобто в умовах м. Полтава на 2 м від поверхні землі.



Рисунок 3.9 – Горизонтальний геоконтур

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|------------------------|------|
| | | | | | 601-НТ-20342-МР | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | 97 |

Вертикальні геоконтури представляють собою геотермальні зонди, які опущені у свердловини, пробурені на глибину від 40 до 200 м. Застосовуються у випадках, коли площа ділянки обмежена.



Рисунок 3.10 – Геотермальний зонд

Частковим випадком вертикальних є похилі зонди, які під кутом сходяться в загальний колектор.



Рисунок 3.11 – Похилі (кластерні) геозонди

| | | | | |
|------|------|----------|--------|------|
| | | | | |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |

601-НТ-20342-МР

Арк.
98

Спиральні колектори застосовуються при дуже обмеженій площі ділянки. Вони встановлюються в ґрунт на глибину до 5 м спіраллю в широку яму.



Рисунок 3.12 – Спіральний колектор

Оскільки влаштування горизонтального контура є найбільш простим та дешевим варіантом, то почнемо розрахунок саме з нього.

Розглянемо якою має бути його площа для забезпечення необхідної потужності відповідно до марки підібраного теплового насоса $Q = 17,2$ кВт.

Показники тепловіддачі від погонного метра геоконтура суттєво залежать від типу ґрунту. Найкращими вважаються території з високим вмістом вологи. Зазвичай це ділянки з неглибоким заляганням ґрунтових вод. Такі ґрунти забезпечують тепловіддачу на рівні 60 Вт/м. найгірший показник буде в засушливих місцевостях та в піщаному ґрунті – менше 25 Вт/м. Умовне середнє значення приймається 50 Вт/м і використовується в розрахунках за відсутності даних геологічних вишукувань. Очевидно, що чим вищий показник тепловіддачі ґрунту, тем менша довжина контуру потрібна, і відповідно загальна вартість геотермальної системи опалення буде меншою.

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|------------------------|------|
| | | | | | 601-НТ-20342-МР | Арк. |
| | | | | | | 99 |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

На ділянці за адресою пров. Хіммашівський, 2 у м. Полтава проводилися інженерно-геологічні вишукування ФОП Ягольник А.М. у 2021 році. За даними проведених досліджень був побудований інженерно-геологічний розріз, представлений в додатку Е. Як видно з розрізу, виконаному до глибини 8,5 м, основними ґрунтами на ділянці є лесові та лесоподібні суглинки. Ґрунтові води до вказаної глибини не були виявлені. При інтенсивних опадах і таненні снігу можлива поява верховодки на глибині 6 м.

Величина питомого відбору тепла геозондами з погонного метра ґрунту залежно від його характеристик може бути орієнтовно визначена за таблицею 3.10.

Таблиця 3.10 – Питомий відбір потужності для земляних зондів

| Ґрунт | Тепловіддача, Вт |
|---|------------------|
| Галька, сухий пісок | < 20 |
| Галька, вологий пісок | 55-65 |
| Волога глина, суглинок | 30-40 |
| Вапняк (масивний) | 45-60 |
| Піщаник | 55-65 |
| Кислі магматичні породи (наприклад, граніт) | 55-70 |
| Основні магматичні породи (наприклад, базалт) | 35-55 |
| Гнейс | 60-70 |

Отже, для наявних на ділянці ґрунтів можна прийняти $q = 30$ Вт/м як для суглинка. Так як для горизонтальних колекторів характерне зменшення тепловіддачі ґрунту приблизно на 10 Вт/м, то для розрахунку беремо $q = 20$ Вт/м.

При цьому варто враховувати, що верхні шари ґрунту накопичують сонячне тепло й по суті є акумуляторами сонячної енергії. Температура цих шарів є нерівномірною й має сезонні коливання протягом року, що відповідно впливатиме на ефективність теплового насоса в сезонному циклі експлуатації.

Так, на глибині 2 м температура ґрунту коливається від 7 °С до 13 °С на протязі року (рисунок 3.13).

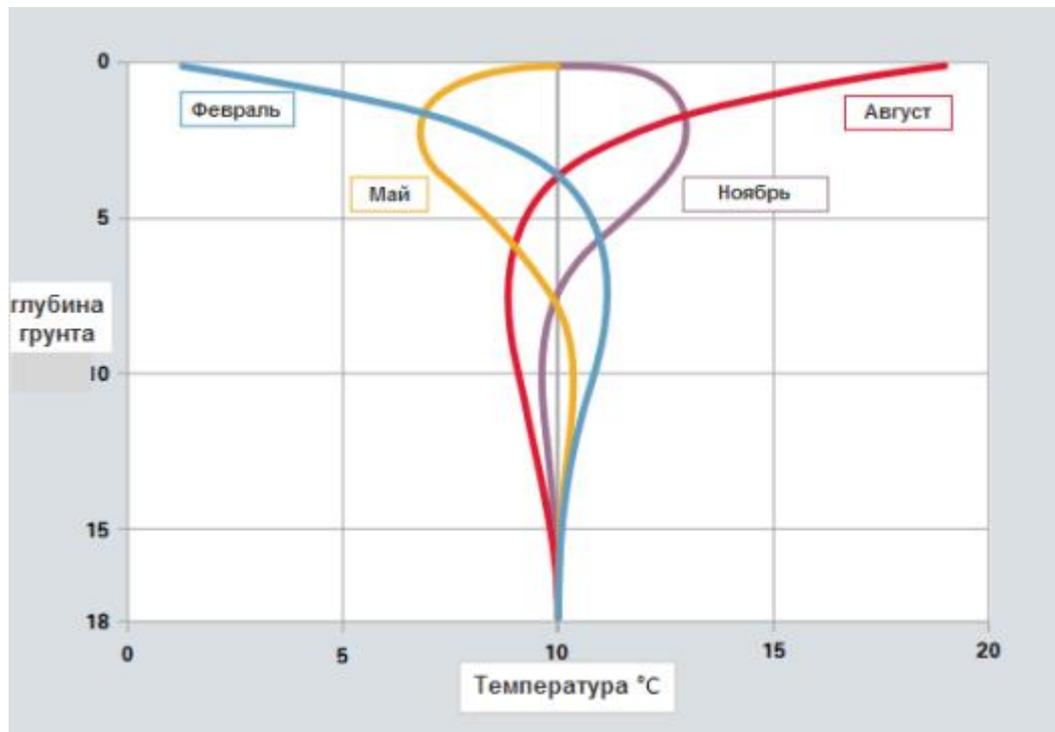


Рисунок 3.13 – Температура ґрунту залежно від глибини й пори року

Потужність контурів ґрунтового теплообмінника теплового насоса обчислюється відносно потужності й коефіцієнта перетворення енергії COP обранного теплового насоса за формулою, кВт:

$$P_e = P_n * (1 - 1/COP),$$

де P_n – номінальна потужність теплового насоса,
 COP – коефіцієнт перетворення енергії.

$$P_e = 17,2 * (1 - 1/5) = 13,76 \text{ кВт};$$

Необхідна довжина горизонтального теплообмінника теплового насоса дорівнює відношенню необхідної потужності P_e до тепловіддачі одного метра труби:

$$L = P_e/q, \text{ м.}$$

$$L = 13,76 / 0,02 = 688 \text{ м.}$$

Рекомендується використовувати контури приблизно одного розміру довжиною до 150 м через значний гідравлічний опір. Відповідно можемо розрахувати довжину та кількість контурів: $688/6 = 114,7$ м. Отже, потрібно 6 контурів по 115 м.

Для ефективної роботи колектора крок укладання труб має бути в межах 0,7 – 1,5 м, тому площа, необхідна для розташування розрахованого колектора, складає:

$$115 \cdot 6 \cdot 0,7 = 483 \text{ м}^2.$$

Вільна ділянка, на території має розміри близько 20x15 м, що відповідає площі 300 м². Оскільки $300 < 483$, то встановлення горизонтального контура неможливо через брак місця на ділянці.

До того ж суттєвим недоліком горизонтального геоконтура є повна непридатність території над ним для господарської діяльності. Через значне промерзання ґрунту під час роботи геотермального теплового насоса на цій площі зможе рости лише газонна трава, дерева і навіть кущі рости не будуть.

Виконаємо розрахунок вертикальних колекторів. Вони займають значно менше місця на ділянці й не перешкоджають росту зелених насаджень, що досить важливо, оскільки на території планується висадка дерев.

Питомий відбір потужності геозонда складає $q = 30$ Вт/м.

Необхідна глибина контура складає:

$$L = 13,76 / 0,03 = 459 \text{ м.}$$

Отже, приймаємо 9 свердловин глибиною по 51 м.

Діаметр свердловин – 150 мм, що обумовлюється простотою буріння та розмірами геоконтуру.

Для зменшення глибини свердловин можна використати спіральні контури, показані на рисунку 3.14, при відповідному збільшенні діаметра буріння.

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|------------------------|------|
| | | | | | 601-НТ-20342-МР | Арк. |
| | | | | | | 102 |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

Варто враховувати, що перші 2 метра глибини не використовуються, оскільки там немає труб через небезпеку промерзання. Це наочно видно на схемі ґрунтового контура (рис. 3.14).

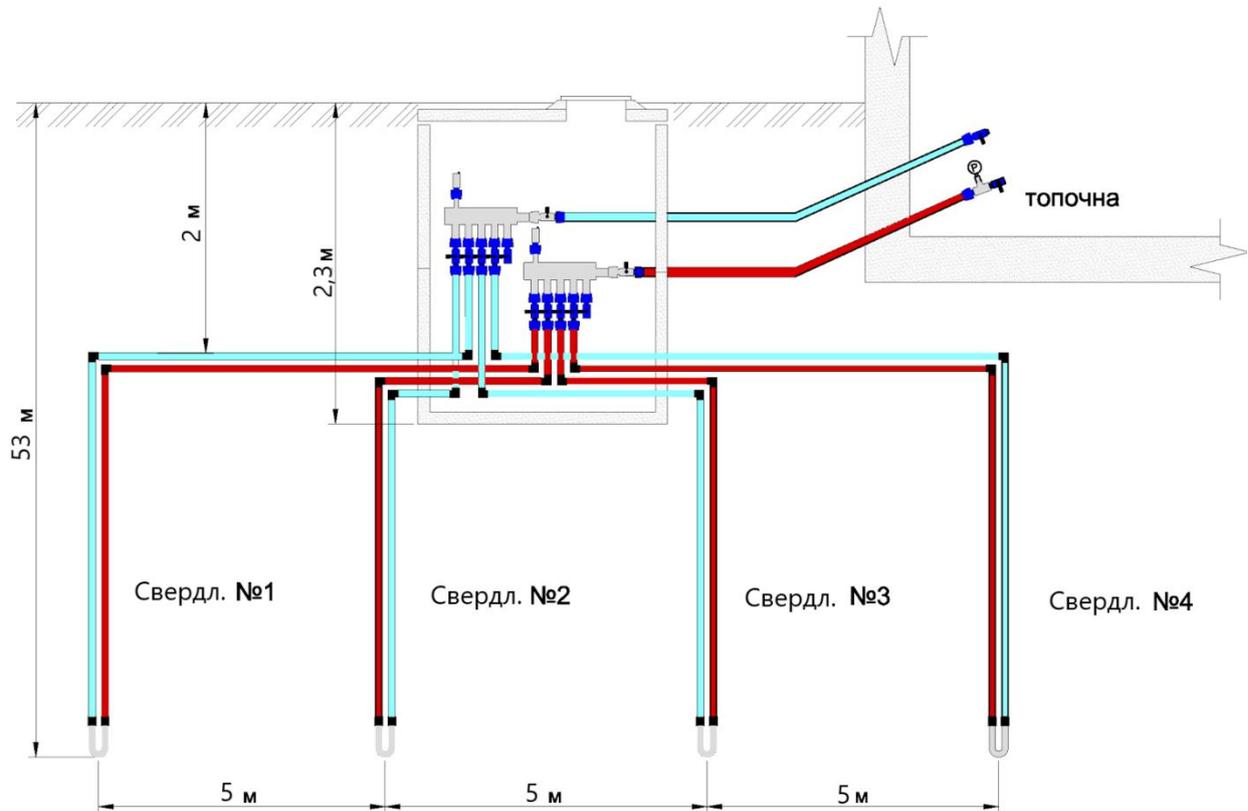


Рисунок 3.14 – Схема ґрунтового контура

Отже, приймаємо 9 свердловин глибиною по 53 м від поверхні землі. На принциповій схемі, показаній на рис. 3.14 показані всі характерні елементи та відстані між ними. Блакитним зображено охолоджений теплоносій, який виходить з теплового насоса в ґрунтовий контур. Температура теплоносія біля $-3\text{ }^{\circ}\text{C}$. Одна труба виходить із теплового насоса й потрапляє в розподільний колектор, який розташований у спеціальному колодязі із двох бетонних кілець діаметром від 1 до 1,5 м. Із колектора труби розходяться до свердловин, де теплоносій прогрівається й повертається в зворотний колектор. Далі з колектора однією трубою нагрітий теплоносій, що має температуру $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ заходить в будинок.

| | | | | |
|------|------|----------|--------|------|
| | | | | |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |

601-НТ-20342-МР

Арк.

103

Оскільки система має великий об'єм труб і відповідно теплоносія — близько 460 л (в одному метрі труби Д40 міститься 1 л теплоносія). Через це можливе потрапляння повітря в систему, особливо на початку експлуатації. Для спуску повітря на колекторі передбачаються автоматичні повітровідвідники. На кожному відгалуженні колектора встановлюються крани для можливості відсікання кожної з свердловин за потреби. Для заповнення та прокачки системи ґрунтового контура встановлюються додаткові крани. Фото типового колектора показано на рис. 3.15.



Рисунок 3.15 – Процес прокачки геоконтура теплового насоса ґрунт-вода.

Розподільний колектор

Тепловий насос дозволяє суттєво заощаджувати енергоносії, забезпечуючи оселю безкоштовним теплом ґрунту із невеликими затратами електроенергії на рух теплоносія, працюючи з COP=5, тобто споживаючи в 5 разів менше електричної енергії, ніж виробляється теплової.

Виконаємо техніко-економічний розрахунок для оцінювання ефективності капіталовкладень в тепловий насос і супутнє обладнання.

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|------------------------|------|
| | | | | | 601-НТ-20342-МР | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | 104 |

Згідно [41] вартість теплового насоса Viessmann Vitocal 300-G BW 301.B17. складає 311840 грн.

За розрахунками, проведеними в п.3.3.1 річна витрата теплоти на опалення

$$\Phi_{опал} = 6,385 \cdot 4272 = 27276,7 \text{ кВт} \cdot \text{год} = 3,6 \cdot 27276,7 \text{ МДж} = 98196 \text{ МДж}.$$

Нижча теплота згоряння природного газу в Україні становить 8300 ккал/м³ [38].

$$Q_{нр} = 8300 \text{ ккал/м}^3 = 34,75 \text{ МДж/м}^3.$$

Отже, при теплотворній здатності газу 34,75 МДж/м³ економія палива щорічно становитиме:

$$\Delta P_e = 98196 / 34,75 = 2826 \text{ м}^3 \text{ газу}.$$

Відповідно при вартості 7,96 грн/м³ маємо економію коштів:

$$\Delta B_e = 2826 \cdot 7,96 = 22493 \text{ грн/рік}.$$

Таким чином, капітальні затрати лише на сам тепловий насос без врахування вартості буріння свердловин, труб та іншого супутнього обладнання матимуть термін окупності:

$$T = 311840 / 22493 = 13,9 \text{ років}.$$

Якщо врахувати вартість усього додаткового обладнання та проведення монтажних робіт, то термін окупності буде приблизно вдвічі більшим, тобто близько 28 років.

Отже, захід із переходу на екологічно чисте джерело відновлюваної енергії у вигляді теплового насоса має дуже великий термін окупності капіталовкладень і не може вважатися економічно доцільним. Хоча якщо врахувати термін служби обладнання мінімум 50 років, то через 28 років споживач все ж виходить в плюс і наступні 22 роки користується екологічно чистою дешевою енергією. Тому такий захід може бути рекомендований як довгострокова інвестиція й може бути виправданим при наявності вільних коштів.

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|------------------------|------|
| | | | | | 601-НТ-20342-МР | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | 105 |

3.3.3. Висновки та рекомендації

Отже, на основі проведеного енергоаудиту можна сформулювати наступні рекомендації з термомодернізації будинку за адресою пров. Хімшавівський, 2 в м. Полтава Полтавської області:

1. Теплова ізоляція фасаду утеплювачем із базальтової вати товщиною 150 мм.
2. Теплова ізоляція горищного перекриття базальтовою ватою товщиною 150 мм.
3. Встановлення програматора для регулювання роботи котла.
4. Перехід на відновлюване джерело енергії та встановлення в якості джерела тепла теплового насоса Viessmann Vitocal 300-G BW 301.B17. Термін окупності капіталовкладень – близько 28 років.
5. Встановлення тепловідбивних екранів за радіаторами із фольгованого матеріалу «Алюфоам».
6. Застосування заходів з регулювання тепlopостачання дозволить отримати економію теплової енергії в кількості 7,86 МВт мінімум.
7. Запровадження теплоізоляції плитами із базальтової вати товщиною 150 мм для утеплення стін дозволить заощаджувати близько 40,3 МДж, а при використанні пінопласту 200 мм – 39,2 МДж теплової енергії щорічно.

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|------------------------|------|
| | | | | | 601-НТ-20342-МР | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | 106 |

4.2. Заміна ламп розжарювання на світлодіодні

Традиційним джерелом світла довгий час були лампи розжарювання з вольфрамовою ниткою. Проте за увесь свій період експлуатації виявилися їх істотні недоліки. Основний із них – великий рівень споживання енергії. Другий недолік – це термін служби, який становить максимум 1000 годин. Часте ввімкнення й вимкнення світла разом із перепадами напруги пришвидшують вихід їх із ладу.

Виконаємо розрахунок енергозбереження за рахунок заміни ламп розжарювання у будинку на світлодіодні LED – лампи.

Зараз у будинку експлуатується 10 лампочок, з них 4 на 60 Вт і 6 на 100 Вт.

За результатами енергоаудиту рекомендується встановити світлодіодні лампи замість традиційних ламп розжарювання.

За даними виробників LED-ламп термін служби складає близько 50000 годин експлуатації, тобто світлодіодні лампи слугуватимуть близько 7 років, а люмінесцентні лампи – біля 2 років.

Головна різниця – це ціна самих лампочок. Люмінесцентні коштують близько 25 грн., а LED – 80-250 грн. Висока вартість компенсується в майбутньому в процесі експлуатації, проте не всі готові ризикнути й одразу вкласти помітну суму в лампочки.

Для оцінки економії виконаємо розрахунок річної економії енергії.

Проведемо розрахунок економії за рахунок зниження споживання електроенергії на прикладі заміни 4 ламп розжарювання на LED 5Вт.

Споживання лампами електроенергії за рік знайдемо за формулою:

$$W = P \cdot n \cdot t;$$

$$W_{\text{ЛР}} = 0,06 \cdot 940 \cdot 137 = 7\,726,8 \text{ кВт} \cdot \text{год};$$

$$W_{\text{ЛР}} = 0,04 \cdot 940 \cdot 102 = 3\,835,2 \text{ кВт} \cdot \text{год};$$

$$W_{\text{LED}} = 0,005 \cdot 940 \cdot 239 = 1\,123,3 \text{ кВт} \cdot \text{год}.$$

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|------------------------|------|
| | | | | | 601-НТ-20342-МР | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | 107 |

$$W_{\text{ЛЛ}} = 0,06 \cdot 940 \cdot 4 = 225,6 \text{ кВт*год}$$

$$W_{\text{LED}} = 0,005 \cdot 940 \cdot 4 = 18,8 \text{ кВт*год}$$

Річна економія енергії складе:

$$\Delta W = 225,6 - 18,8 = 206,8 \text{ кВт*год.}$$

При тарифі – 1,68 грн / кВт*год річна економія коштів складе:

$$\Delta E = \Delta W \cdot t; \text{ грн.}$$

$$\Delta E = 206,8 \cdot 1,68 = 350,45 \text{ грн.}$$

Враховуючи, що вартість однієї лампочки складає 87 грн., а ми замінили 4 шт., то капітальні затрати складають:

$$K = 87 \cdot 4 = 348 \text{ грн.}$$

Маємо термін окупності:

$$T = 348 / 350,45 = 0,99 \text{ року.}$$

Отже, вкладення в енергозберігаючі світлодіодні лампочки окупаються за рік.

Капіталовкладення є вигідним.

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|------------------------|------|
| | | | | | 601-НТ-20342-МР | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | 108 |

ВИСНОВКИ

1. На основі аналізу літературних джерел щодо заходів з енергозбереження в житлових будинках, порядку проведення енергетичного аудиту, матеріального та програмного забезпечення для його проведення було сформульовано основні задачі дослідження, які полягають в обстеженні житлового будинку та розробці заходів для підвищення його енергоефективності.
2. Зібрана, досліджена та проаналізована технічна документація приватного житлового будинку за адресою пров. Хіммашівський, 2 у м. Полтава Полтавської області України, обладнання систем опалення та гарячого водопостачання.
3. Досліджено існуючий стан приватного житлового будинку за адресою пров. Хіммашівський, 2 у м. Полтава Полтавської області України, визначено тепловтрати будівлі в середовищі Excel. Розраховане значення тепловтрат з урахуванням інфільтрації складає $Q = 9,5$ кВт.
4. Проведено тепловізійне обстеження огорожуючих конструкцій будинку. Виявлено від зниження температури на зовнішній поверхні стін після утеплення пінопластом з $-1,3$ до -9 °С. На термограмах досить яскраво видно лінії стику листів пінопласту, що свідчить про недостатнє їх ущільнення й підтверджує рекомендації виробників щодо двошарового утеплення з перекриванням стиків першого шару наступним.
5. Запропоновано 3 варіанти утеплення огорожуючи конструкцій будинку, підібрана необхідна товщина ізоляції, що складає:
 - 1) плити гідрофобізованого мінераловатного утеплювача на основі базальтів ($\rho=115$ кг/м³, коефіцієнт теплопровідності $\lambda=0,048$ Вт/ м·К) – 150 мм
 - 2) плити пінопласту ($\rho=100$ кг/м³, коефіцієнт теплопровідності $\lambda=0,076$ Вт/ м·К) – 200 мм
 - 3) плити із жорсткого пінополіуретану ($\rho=80$ кг/м³, коефіцієнт теплопровідності $\lambda=0,054$ Вт/ м·К) – 150 мм.

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|------------------------|------|
| | | | | | 601-НТ-20342-МР | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | 109 |

6. Рекомендується до встановлення базальтова вата товщиною 150 мм. Вартість утеплення стін – 141274 грн. Термін окупності – 15 років.

7. Розроблено рекомендації щодо встановлення програматора для котла з метою економії теплової енергії в будівлі за рахунок автоматичного програмного зниження теплоспоживання в робочі години, коли мешканці відсутні. Економія тепла за рахунок автоматичного регулювання – 7,86 МВт/рік.

8. Виконано розрахунок енергозбереження від заміни ламп розжарювання на світлодіодні. Розраховано термін окупності вкладень в нові лампочки, що склав 1 рік, що є дуже вигідно з урахуванням терміну служби лампочок близько 7 років.

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|------------------------|------|
| | | | | | 601-НТ-20342-МР | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | 110 |

ДОДАТКИ

ДОДАТОК А



Рисунок А.1 – Загальний вигляд будинку

| | | | | |
|------|------|----------|--------|------|
| | | | | |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |

601-НТ-20342-МР

Арк.
112

ДОДАТОК В

Технічні характеристики утеплювача з базальтової вати за даними виробника

FASROCK

FASROCK



ОПИСАНИЕ ПРОДУКТА

FASROCK – жёсткие и плотные теплоизоляционные плиты, устойчивые к деформациям. Изготавливаются из каменной ваты на основе базальтовых пород. При производстве плиты подвергаются двойному обжигу, благодаря чему полностью исключается возможность появления пятен на фасаде.



ПРИМЕНЕНИЕ

Плиты из каменной ваты FASROCK используются в качестве теплоизоляционного слоя в системах фасадной изоляции с отделкой штукатурным слоем. Продукт обеспечивает не только теплоизоляцию, но также является основанием для нанесения штукатурного слоя.

КРЕПЛЕНИЕ

Механическое крепление осуществляется специальными дюбелями. Количество дюбелей определяется разработчиком теплоизоляционной фасадной системы.

Материал на паллете

| Длина, мм | Ширина, мм | Толщина, мм | Площадь, м2 |
|-----------|------------|-------------|-------------|
| 1000 | 600 | 20 | 134,4 |
| 1000 | 600 | 30 | 86,4 |
| 1000 | 600 | 40 | 72 |
| 1000 | 600 | 50 | 57,6 |
| 1000 | 600 | 60 | 48 |
| 1000 | 600 | 80 | 36 |
| 1000 | 600 | 100 | 28,8 |
| 1000 | 600 | 120 | 21,6 |
| 1000 | 600 | 130 | 21,6 |
| 1000 | 600 | 150 | 1,2 |
| 1000 | 600 | 160 | 19,2 |

Материал в упаковке

| | | | | |
|------|------|----------|--------|------|
| | | | | |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |

601-НТ-20342-МР

Арк.

114

| Длина, мм | Ширина, мм | Толщина, мм | Площадь, м ² |
|-----------|------------|-------------|-------------------------|
| 1000 | 600 | 20 | 4,8 |
| 1000 | 600 | 30 | 3,6 |
| 1000 | 600 | 40 | 3,6 |
| 1000 | 600 | 50 | 2,4 |
| 1000 | 600 | 60 | 2,4 |
| 1000 | 600 | 80 | 1,8 |
| 1000 | 600 | 100 | 1,8 |
| 1000 | 600 | 120 | 1,8 |
| 1000 | 600 | 130 | 1,8 |
| 1000 | 600 | 150 | 1,2 |
| 1000 | 600 | 160 | 1,2 |

ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ

| Параметр | Значение |
|---|-----------------------|
| Теплопроводность декларируемая плит толщ. 20-30 мм | $\leq 0,041$ Вт/(м·К) |
| Теплопроводность декларируемая плит толщ. 40-200 мм | $\leq 0,039$ Вт/(м·К) |
| Группа горючести | НГ |
| Прочность на сжатие при 10 % деформации, не менее | 40 кПа |
| Предел прочности на отрыв слоев, не менее | 15 кПа |
| Водопоглощение при частичном погружении, не более | 1,0 кг/м ² |
| Срок эффективной эксплуатации, не менее | 50 лет |
| Номинальная плотность плит толщиной 20 – 30 мм | 165 кг/м ³ |
| Номинальная плотность плит толщиной 40 – 200 мм | 135 кг/м ³ |

| | | | | |
|------|------|----------|--------|------|
| | | | | |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |

601-НТ-20342-МР

ДОДАТОК Г

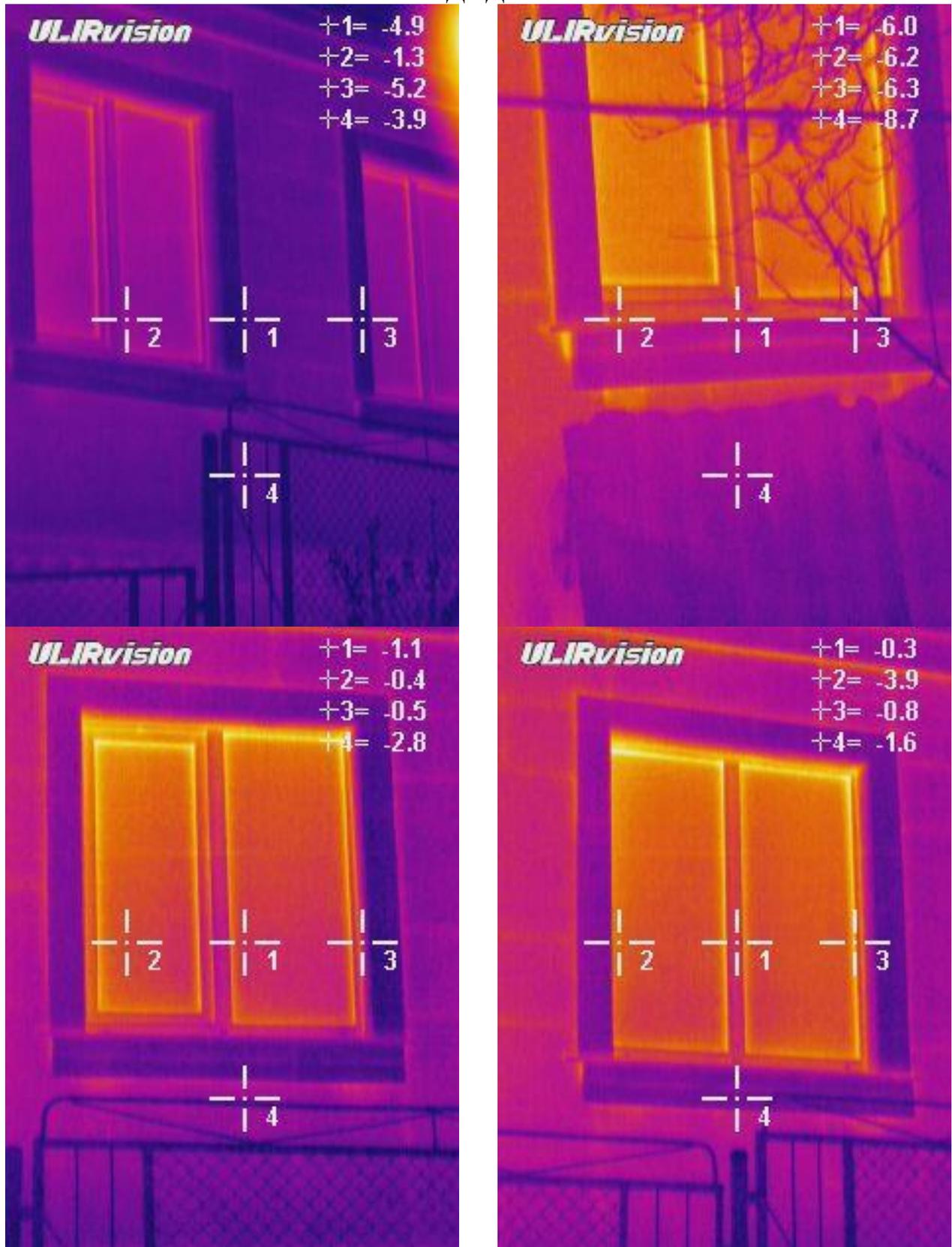


Рисунок Г.1 – Термограми, отримані в результаті досліджень вікон

| | | | | |
|------|------|----------|--------|------|
| | | | | |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |

601-НТ-20342-МР

Арк.

116

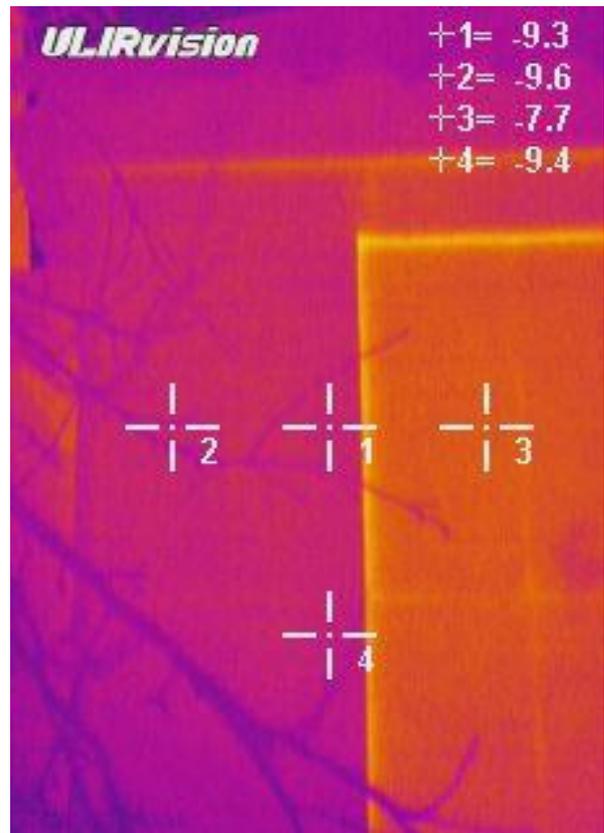
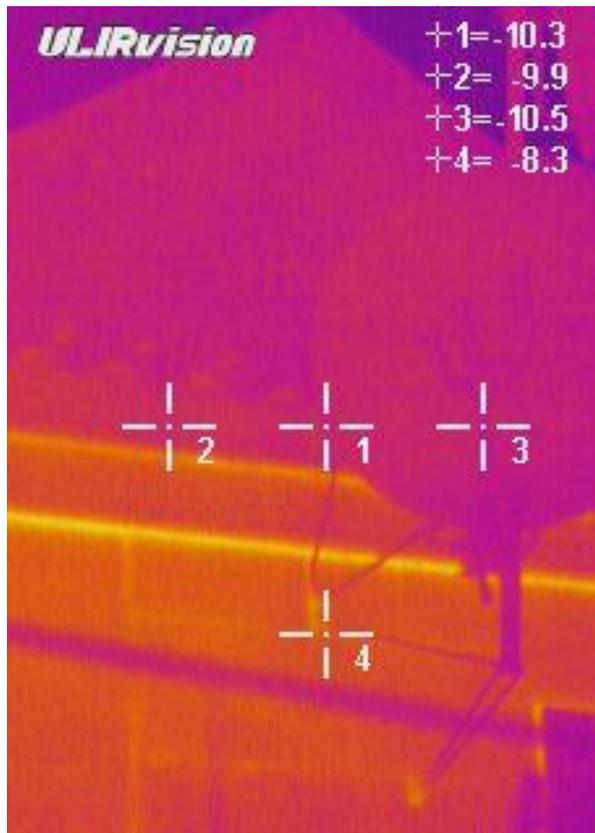
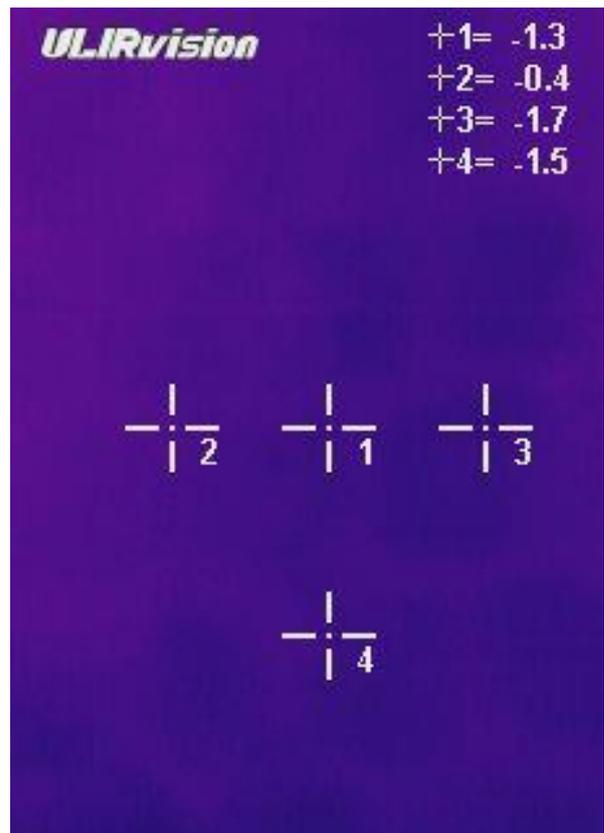
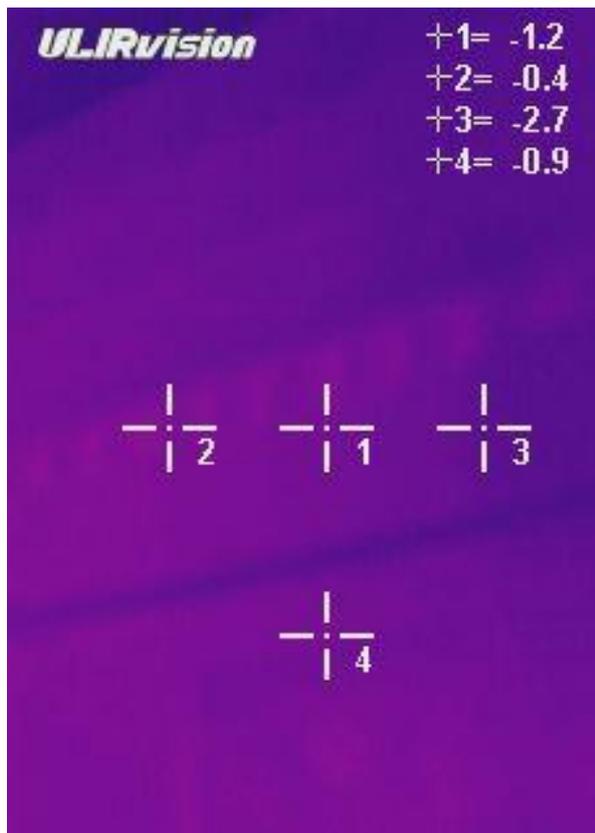


Рисунок Г.2 – Термограми стін до утеплення пінопластом та після

| | | | | |
|------|------|----------|--------|------|
| | | | | |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |

601-НТ-20342-МР

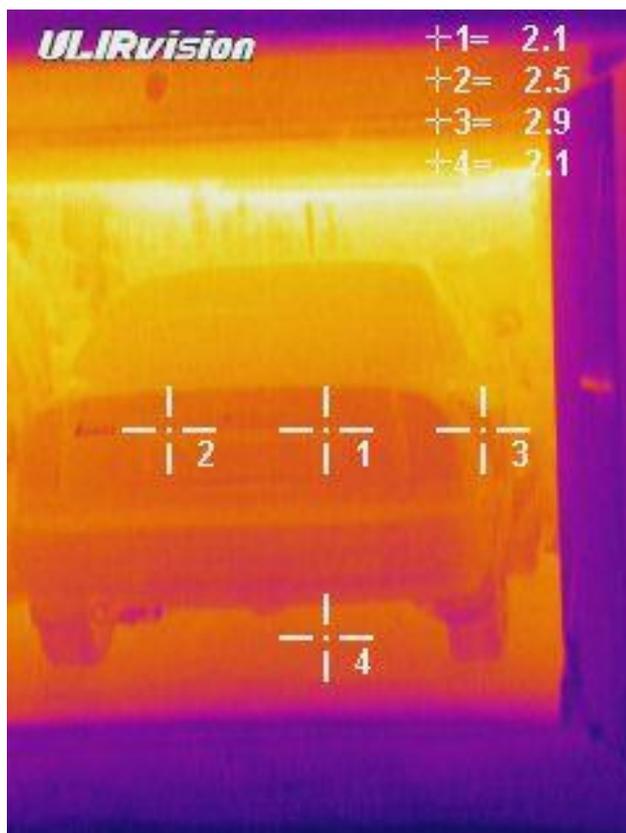


Рисунок Г.3 – Термограма гаража

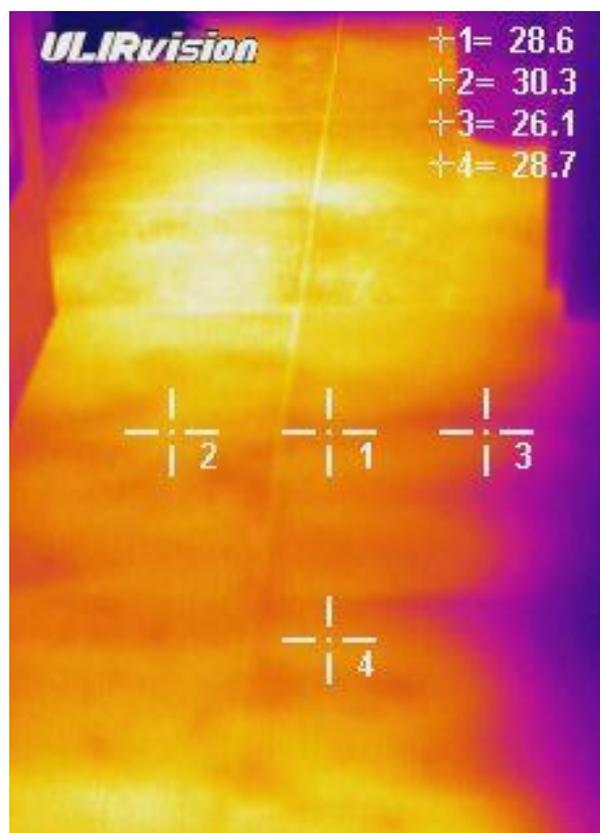
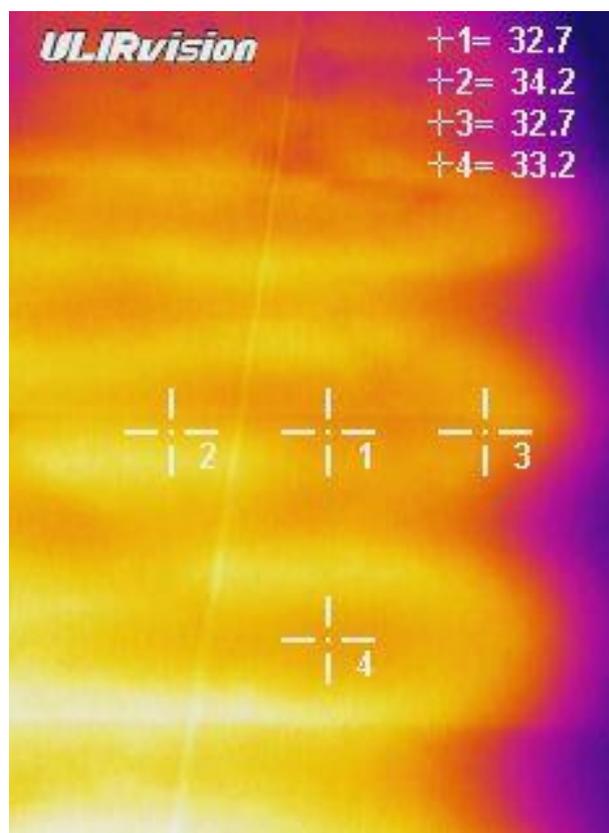


Рисунок Г.4 – Термограми кабельної теплої підлоги різної потужності

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|------------------------|------|
| | | | | | 601-НТ-20342-МР | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | 118 |

ДОДАТОК Д

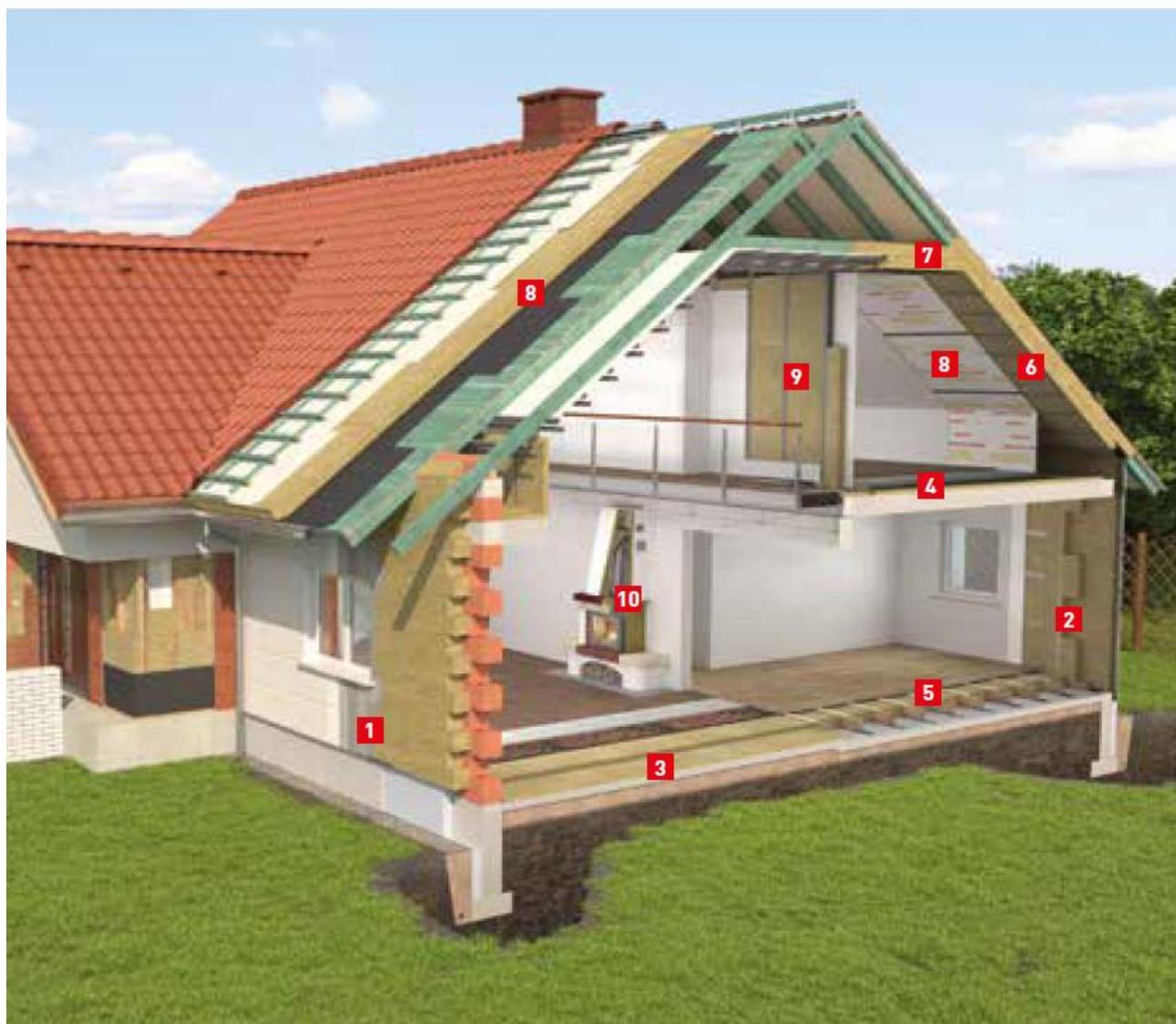


Рисунок Д.1 – Концепція утеплення приватного будинку від Rockwool

| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |
|------|------|----------|--------|------|
| | | | | |

601-НТ-20342-МР

Арк.
119

ЗОВНІШНІ СТІНИ

| елементи будівлі | продукт | товщина |
|----------------------------|--------------------------------|---------|
| 1 Штукатурний фасад | FRONTROCK SUPER FRONTROCK S | 15 см |
| 2 Каркас | SUPERROCK | 25 см |

ПІДЛОГИ І ПЕРЕКРИТТЯ

| елементи будівлі | продукт | товщина |
|---|-------------|---------|
| 3 Підлога на ґрунті або бетонній основі | STEPROCK HD | 5 см |
| 4 Підлога на перекритті на бетонній основі | STEPROCK HD | 5 см |
| 5 Підлога на ґрунті на лагах | ROCKMIN UA | 15 см |

МАНСАРДИ І ПЛОСКІ ПОКРІВЛІ

| елементи будівлі | продукт | товщина |
|--|---|---------|
| 6 Експлуатоване приміщення мансарди | ROCKMIN UA ROCKMIN PLUS | 35 см |
| 7 Перекриття над мансардою | | 30 см |
| 8 Скатна покрівля | ROCKTON SUPER і SUPERROCK, товщина залежить від конструкції даху | |

ПЕРЕГОРОДКИ

| елементи будівлі | продукт | товщина |
|----------------------|---------------|---------|
| 9 Перегородка | ROCKTON SUPER | 7-10 см |

КАМІНИ

| елементи будівлі | продукт | товщина |
|------------------|----------|----------|
| 10 Камін | FIREROCK | 2,5-3 см |

Рисунок Д.2 – Концепція утеплення приватного будинку від Rockwool (продовження)

ДОДАТОК Е

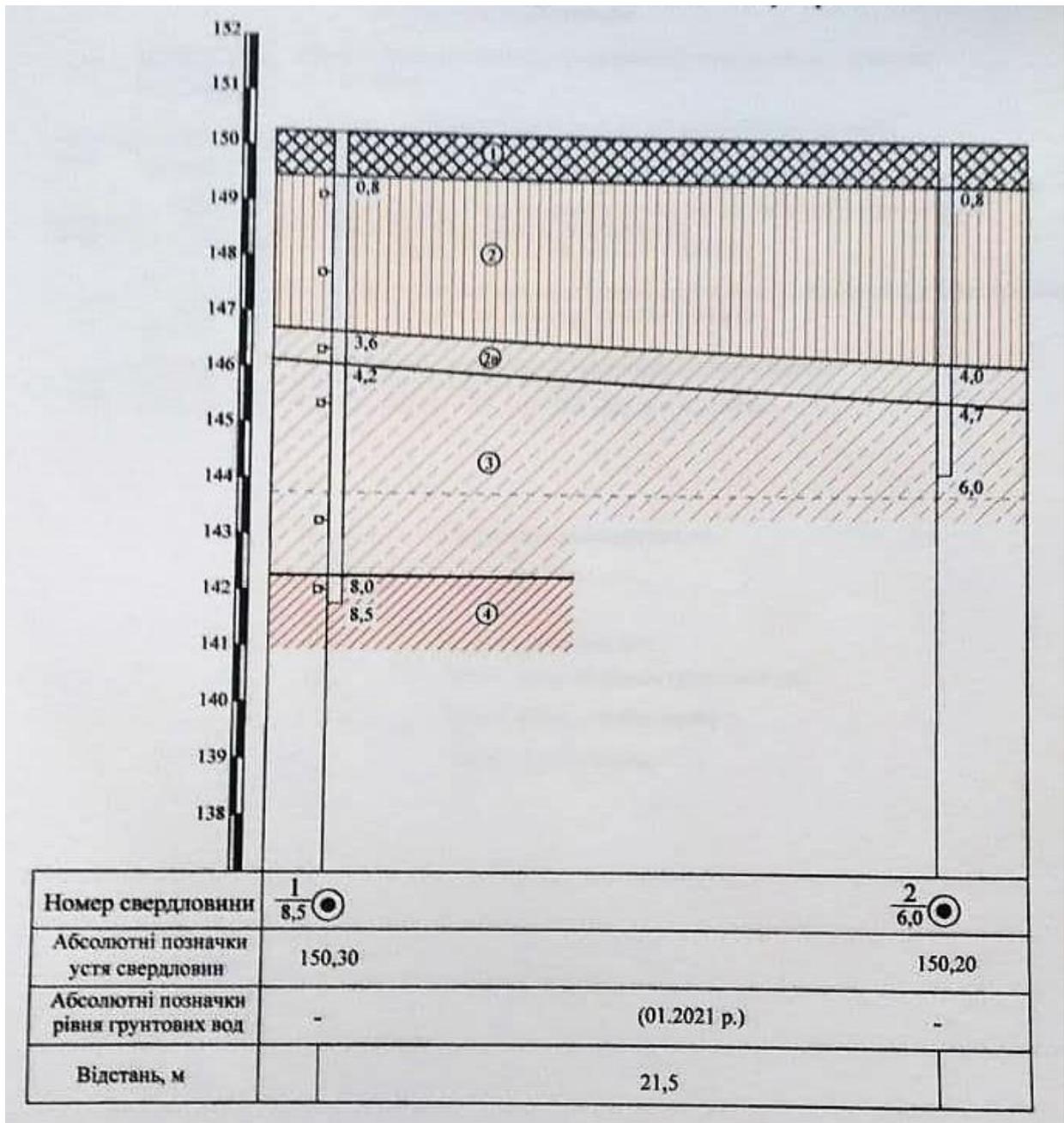


Рисунок Е.1 – Інженерно-геологічний розріз

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Тимофеев М.В., Фаренюк Г.Г. Розрахунки енергоефективності будівель: Навч. пос. – К.: КНУБА, 2015. – 140 с.
2. Фаренюк Г.Г. Енергетична ефективність підвищення теплотехнічних показників основних елементів теплоізоляційної оболонки будинків. / Г.Г. Фаренюк // Будівництво України.– 2008. – № 8. - С. 12-14.
3. Фаренюк Г.Г. Составляющие теплотерь зданий первых массовых серий и возможности изменения их структуры / Г.Г. Фаренюк // Реконструкція житла. – 2003. - №4. – С. 99 – 102.
4. Горшков А.С. Энергоэффективные здания: задачи строительной теплотехники и инженерного обеспечения / А.С. Горшков // Инженерные системы. - 2008. - №4 (37). - С. 60-62.
5. Кнатько М.В. К вопросу о долговечности и энергоэффективности современных ограждающих стеновых конструкций жилых, административных и производственных зданий / М.В. Кнатько, М.Н. Ефименко, А.С. Горшков // Инженерно-строительный журнал. - 2008. - № 2. - С. 50-53.
6. Самарин О.Д. Теплофизика. Энергосбережение. Энергоэффективность / Самарин О.Д. — М.: Изд-во АСВ, 2009. - 296 с.
7. Самарин О.Д. О комплексной оценке энергоэффективности общественных зданий / О. Д. Самарин, С. А. Казаковцева, К. В. Свиридонов. // Фасадные системы - 2007. - № 1. - С. 22-25.
8. Табунщиков Ю.А. Энергоэффективные здания / Табунщиков Ю.А., Бродач М.М., Шилкин Н.В. – М.: АВОК – ПРЕСС, 2003. – 200 с.
9. Конструкції будинків та споруд. Теплова ізоляція будівель: ДБН В.2.6-31:2016. - К.: Мінбуд України, 2016. – 30 с. – (Державні будівельні норми України).
10. Будівельна кліматологія: ДСТУ-Н Б В.1.1–27: 2010. – Мінрегіонбуд України. – К.: Укрархбудінформ, 2011. – 123 с. – (Національний стандарт

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|------------------------|------|
| | | | | | 601-НТ-20342-МР | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | 123 |

України).

11. Проектування. Настанова з розроблення та складання енергетичного паспорта будинків при новому будівництві та реконструкції: ДСТУ-Н Б А.2.2-5:2007. – К.: Мінрегіонбуд України, 2008. – 43 с. – (Національний стандарт України).

12. Закон України „Про енергозбереження” (74/94-вр) від 01.07.1994р.

13. Закон України від 22.06.2017 року №2118-VIII «Про енергетичну ефективність будівель».

14. Самолюк Н.М., Бондарець Д.В. Дослідження ефективності впровадження енергозберігаючих заходів у житлових будинках / Вісник НУВГП, серія «Економічні науки», Випуск 1(77). – Рівне, 2017.

15. Шість кроків до енергоефективності будівель в Україні [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://ecotown.com.ua/news/SHist-kroktiv-do-enerhoefektyvnosti-budivel-v-Ukrayini/>

16. ДСТУ Б А.2.2-12:2015. Енергетична ефективність будівель. Метод розрахунку енергоспоживання при опаленні, охолодженні, вентиляції, освітленні та гарячому водопостачанні. – К.:Мінрегіонбуд України, 2015.– 140с.

17. Практичні поради, як збільшити енергоефективність житла [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://vdalo.info/praktichni-poradi-yak-zbilshiti-energoefektivnist-zhitla/>

18. ДБН В.2.2-15:2019 Житлові будинки. Основні положення. – К.: Мінрегіонбуд України, 2019. – 42 с.

19. ДСТУ Б В.2.2-39:2016 «Методи та етапи проведення енергетичного аудиту будівель».

20. Конструкції будинків та споруд. Теплова ізоляція будівель: ДБН В.2.6-31:2006. - К.: Мінбуд України, 2006. – 70 с. – (Державні будівельні норми України).

21. <https://psk-remont.ru/2019/09/24/obsledovanie-doma-teplovizorom-den/?nonamp=1>

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|------------------------|------|
| | | | | | 601-НТ-20342-МР | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | 124 |

22. Богословский В.Н., Сканава А.Н. Отопление. – М.: Стройиздат, 1991. – 735 с. Внутренние санитарно-технические устройства. Ч. I. Отопление. / Под ред. И.Г. Староверова и Ю.И. Шиллера. – 4-е изд. – М.: Стройиздат, 1990. – 344 с.
23. Методика расчета тепловых характеристик окон и дверей в Украине [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://okna.ua/library/metodyka-rascheta-teplovuykh>.
24. Дізнайтеся наскільки вікно енергоефективне [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://okna.ua/su>.
25. Б.А.Кутний. Методичні вказівки до курсової роботи “Опалення та вентиляція будинку” з курсу «Теплопостачання та вентиляція» для студентів спеціальності 7.092101 “Промислове та цивільне будівництво” денної і заочної форми навчання. – Полтава: ПолтНТУ, 2004. – 34с.
26. ДБН В.2.5-67:2013 Опалення, вентиляція та кондиціонування. – К.: Мінрегіон України 2013. – 147 с.
27. Кутний Б.А. Методичні вказівки до курсової роботи «Теплогазопостачання і вентиляція будинку» з курсу «Теплогазопостачання та вентиляція» для студентів спеціальності 192 «Будівництво та цивільна інженерія» денної та заочної форми навчання / Кутний Б.А. – Івано-Франківськ: ІФНТУНГ, 2021. – 35 с.
28. Тепловизор для зданий [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://si-3.ru/teplovizor-dlya-zdaniy/>
29. Энергоаудит дома при помощи тепловизора: как проводится, преимущества, тонкости работы [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://gidproekt.com/energoaudit-doma-pri-pomoshhi-teplovizora-kak-provoditsya-preimushhestva-tonkosti-raboty.html>
30. Кошлак Г.В. Методичні вказівки до виконання практичних завдань з дисципліни «Методи аналізу енергоефективності будівель» для студентів заочної форми навчання за напрямом підготовки 144 Теплоенергетика / Кошлак Г.В. – Івано-Франківськ, 2018. – 36 с.

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|------------------------|------|
| | | | | | 601-НТ-20342-МР | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | 125 |

31. Кошлак Г.В. Методи аналізу енергоефективності будівель: методичні вказівки для практичних занять. – Івано-Франківськ : ІФНТУНГ, 2020. – 32 с.
32. М. Робакевич, А. Панек. Термомодернізація житлового будинку [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://thermomodernisation.org/wp-content/uploads/2017/10/%D0%A2%D0%B5%D1%80%D0%BC%D0%BE%D0%BC%D0%BE%D0%B4%D0%B5%D1%80%D0%BD%D1%96%D0%B7%D0%B0%D1%86%D1%96%D1%8F.pdf>
33. Термомодернізація житлового фонду: організаційний, юридичний, соціальний, фінансовий і технічний аспекти: Практичний посібник. Видання 2-ге, доповнене. / за загальною редакцією Бригілевича В. – Львів, 2014. – 240 с. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://fnst.org/sites/default/files/uploads/2016/08/09/2.pdf>
34. Утеплитель URSA: технические характеристики [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://utepleniedoma.com/uteplenie/uteplitel-ursa-karakteristiki>
35. Rockwool. Каталог продукції 2021.
36. ДСТУ Б В.2.6-189:2013. Методи вибору теплоізоляційного матеріалу для утеплення будівель. – К.: Мінрегіон України, 2014. – 55 с.
37. ДСТУ Б В.2.6-17-2000. Конструкції будинків і споруд. Блоки віконні та дверні. Методи визначення опору теплопередачі. – Державний комітет будівництва, архітектури та житлової політики України, 2000. – 25 с.
38. <https://www.naftogaz.com/www/3/nakweb.nsf/0/9A81628485529AC3C2257ACB002EDA94?OpenDocument>
39. Беззуб І. Підвищення енергоефективності – запорука забезпечення енергетичної незалежності України / І. Беззуб // Центр досліджень соціальних комунікацій [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://nbuviar.gov.ua/index.php?option=com_content&view=article&id=745:pidvish-pidvish-energoefektivnosti&catid=8&Itemid=350
40. <https://viessmann-wt.com.ua/product/teplovoj-nasos-viessmann-vitocal-300-gbw-301-b17-17-2-kvt-odnostupenchatyj/>

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|------------------------|------|
| | | | | | 601-НТ-20342-МР | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | 126 |

41. <https://teplovik.net/product/4058/viessmann-vitocal-300-g-170-kvt-bw-301b17>.
42. Расчет земляного коллектора и вертикального зонда теплового насоса [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://cyberpedia.su/9x144a6.html>
43. Грунтовые теплообменники для геотермального теплового насоса [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://solarsoul.net/gruntovye-teploobmenniki-dlya-geotermalnogo-teplovogo-nasosa>
44. Тепловой насос грунт вода. Особенности вертикальных скважин [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://freenergy.com.ua/ru/teplovoj-nasos-grunt-voda-osobennosti/>
45. Тепловой насос для отопления дома – разновидности, преимущества и принцип работы [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://semidelov.ru/mar/teplovoj-nasos-dlya-otopleniya-doma-raznovidnosti-preimuschestva-/](http://semidelov.ru/mar/teplovoj-nasos-dlya-otopleniya-doma-raznovidnosti-preimuschestva/)

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|------------------------|------|
| | | | | | 601-НТ-20342-МР | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | 127 |

ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ ІНДИВІДУАЛЬНОГО ЖИТЛОВОГО БУДИНКУ В М. ПОЛТАВА

МЕТА РОБОТИ – аналіз шляхів підвищення енергетичної ефективності котеджів та розроблення рекомендацій з енергозбереження для конкретного будинку.

ЗАДАЧІ ДОСЛІДЖЕННЯ:

- вивчити сучасний стан енергетичної ефективності приватних житлових будинків в Україні;
- дослідити нормативну базу України в сфері енергозбереження;
- обґрунтувати методику проведення досліджень енергетичних характеристик житлових будинків;
- виконати тепловізійне обстеження індивідуального житлового будинку в м. Полтава;
- провести теплотехнічний розрахунок огорожуючих конструкцій та визначити потрібну потужність системи опалення;
- виконати оцінку енергоефективності існуючого приватного будинку в м. Полтава;
- розробити рекомендації щодо термомодернізації котеджу;
- виконати техніко-економічне порівняння джерел тепла на традиційному та альтернативному паливі;
- виконати розрахунок потенційного енергозбереження за рахунок впровадження запропонованих заходів.

ОБ'ЄКТ ДОСЛІДЖЕННЯ – індивідуальний житловий будинок у м. Полтава.

ПРЕДМЕТ ДОСЛІДЖЕННЯ – енергоефективність зовнішніх огорожуючих конструкцій та теплогенеруючого обладнання.

НАУКОВА НОВИЗНА ОДЕРЖАНИХ РЕЗУЛЬТАТІВ:

- виконано аналітичні дослідження сучасних енергоефективних заходів та нормативної бази України з енергозбереження;
- опрацьована методика оцінювання енергоефективності індивідуального житлового будинку;
- проведено тепловізійне обстеження приватного будинку та проаналізовано отримані термограми.

ПРАКТИЧНЕ ЗНАЧЕННЯ ОДЕРЖАНИХ РЕЗУЛЬТАТІВ:

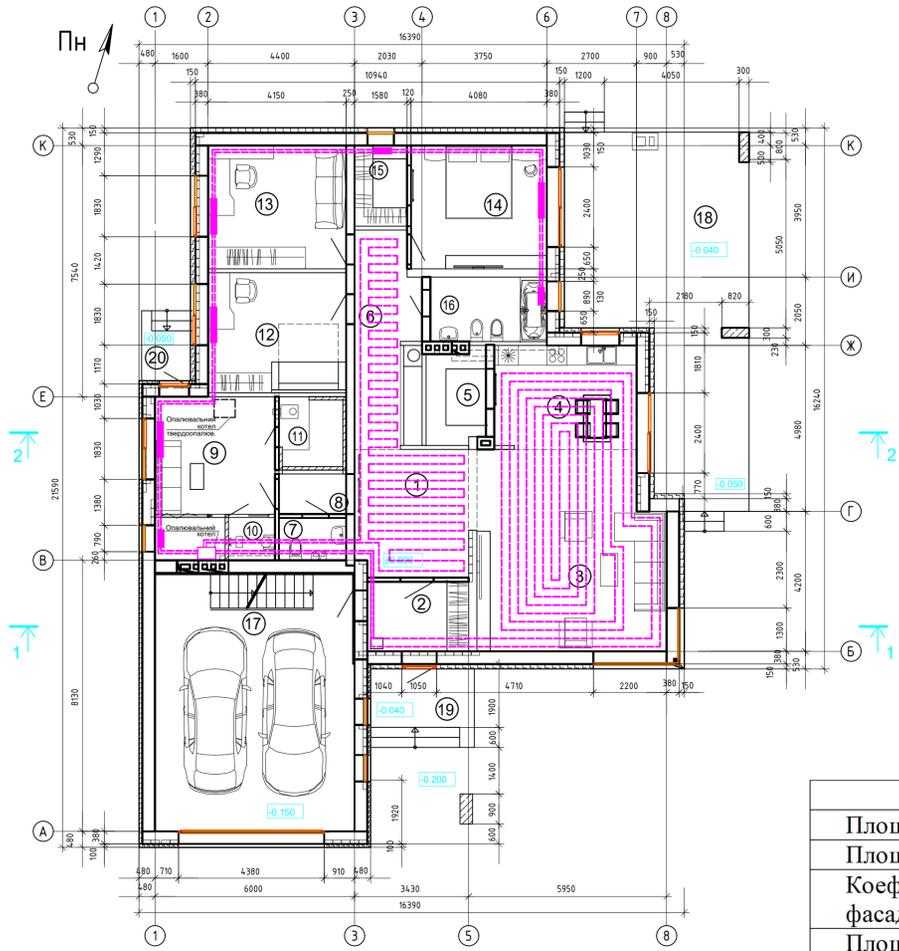
- розроблено рекомендації для підвищення енергетичної ефективності індивідуального житлового будинку в м. Полтава;
- рекомендується використати отримані результати для термомодернізації котеджу, що досліджувався;
- пропонується запровадити результати в навчальний процес на кафедрі ТГВіТ.

| | | | | | | | | |
|---------------------|---------------|----------------------|---------------|---------------|-------------|---|--------------|----------------|
| | | | | | 2021 | <i>601- НТ -20342- МР</i> | | |
| | | | | | | <i>Підвищення енергоефективності індивідуального житлового будинку в м. Полтава</i> | | |
| <i>Зм.</i> | <i>Кільк.</i> | <i>Арк.</i> | <i>№ док.</i> | <i>Підпис</i> | <i>Дата</i> | | | |
| <i>Розробив</i> | | <i>Шинкаренко С.</i> | | | | <i>Стадія</i> | <i>Аркуш</i> | <i>Аркушів</i> |
| <i>Перевірив</i> | | <i>Кутний Б.А</i> | | | | <i>Р</i> | <i>1</i> | <i>6</i> |
| | | | | | | <i>Мета і задачі дослідження</i> | | |
| <i>Н. контроль</i> | | <i>Кутний Б.А</i> | | | | <i>Національний університет "Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка"</i> | | |
| <i>Зав. кафедри</i> | | <i>Голік Ю.С.</i> | | | | | | |

Погоджено
Інв. № 104/100. І. Савицький. І. №

ВИХІДНІ ДАНІ

ПЛАН БУДИНКУ



Експлікація приміщень

| Поз. № | Позначення | Площа, м ² | Примітки |
|--------------------------|--------------------------------|-----------------------|-----------|
| 1 | Передпокій | 13,1 | |
| 2 | Тамбур | 6,3 | |
| 3 | Загальна кімната | 32,9 | |
| 4 | Кухня - їдальня | 13,3 | |
| 5 | Комора | 4,9 | |
| 6 | Коридор | 12,5 | |
| 7 | Санвузол | 2,5 | |
| 8 | Коридор | 2,7 | |
| 9 | Господарське приміщення | 15,6 | |
| 10 | Душова | 1,8 | |
| 11 | Сауна | 3,8 | |
| 12 | Дитяча кімната | 14,9 | |
| 13 | Дитяча кімната | 15,3 | |
| 14 | Спальня | 15,1 | |
| 15 | Гардероб | 3,8 | |
| 16 | Санвузол | 6,7 | |
| 17 | Гараж | 46,0 | Неопалюв. |
| 18 | Відкрита тераса (без покриття) | 47,3 | к.0,3 |
| 19 | Ганок головного входу | 7,2 | к.0,3 |
| 20 | Ганок дворового входу | 3,0 | к.0,3 |
| Загальна площа приміщень | | 228,4 | |
| Площа забудови | | 275,5 | |

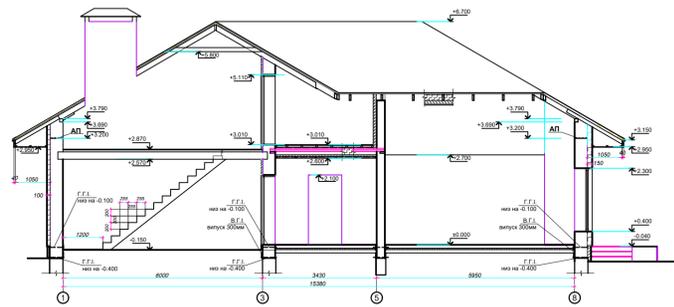
ЗАГАЛЬНИЙ ВИГЛЯД БУДИНКУ



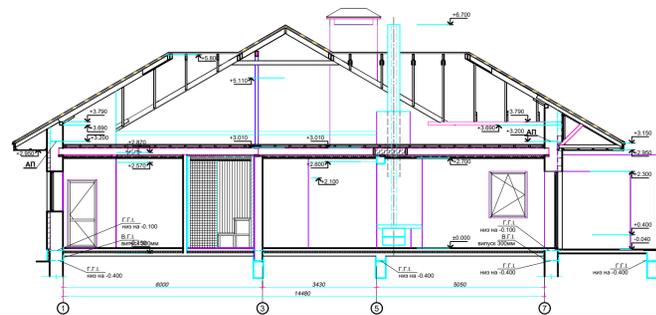
ГЕОМЕТРИЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ БУДИНКУ

| Параметр | Одиниця вимірювання | Значення |
|----------------------------|---------------------|----------|
| Площа стін | м ² | 135,84 |
| Площа вікон | м ² | 30,11 |
| Коефіцієнт скління фасадів | | 0,22 |
| Площа опалювальна | м ² | 143,2 |

РОЗРІЗ 1-1



РОЗРІЗ 2-2



РОЗРАХУНКОВІ ПАРАМЕТРИ ДЛЯ М. ПОЛТАВА

| Найменування розрахункових параметрів | Позн. | Од. | Величина |
|---|------------|--------|----------|
| Розрахункова температура внутрішнього повітря | $t_{в}$ | °C | 20 |
| Розрахункова температура зовнішнього повітря | $t_{з}$ | °C | -23 |
| Розрахункова температура горища | $t_{вг}$ | °C | 2 |
| Тривалість опалювального періоду | $n_{о}$ | діб | 178 |
| Середня температура зовнішнього повітря опалювальний період | $t_{ср.о}$ | °C | -0,8 |
| Розрахункова кількість градусо-днів опалювального періоду | D_d | °C·діб | 3702,4 |

ЗАГАЛЬНІ ДАНІ ПРО БУДИНОК

| Параметр | Одиниці вимірювання | Значення |
|--|---------------------|----------|
| Рік забудови | | 2020 |
| Кількість поверхів | | 1 |
| Площа забудови, S _{заб} | м ² | 275,5 |
| Об'єм загальний, V _{заг} | м ³ | 826,5 |
| Чиста висота приміщення, h _{прим} | м | 3,0 |

| 2021 | | | | | | 601-НТ-20342-МР | | |
|--------------|--------|---------------|--------|------|--|--|---------|--|
| | | | | | | Підвищення енергоефективності індивідуального житлового будинку в м. Полтава | | |
| Зм. | Кільк. | Арк. № док. | Підпис | Дата | Стадія | Аркуш | Аркушів | |
| Розробив | | Шинкаренко С. | | | Р | 2 | 6 | |
| Перевірив | | Кутний Б.А. | | | | | | |
| Н. контроль | | Кутний Б.А. | | | План будинку, розрізи 1-1 і 2-2, параметри, загальний вигляд | | | |
| Заб. кафедри | | Голік Ю.С. | | | | | | |

Погоджено:

Зам. інв. Ні

Підпис і дата

інв. Ні ар.

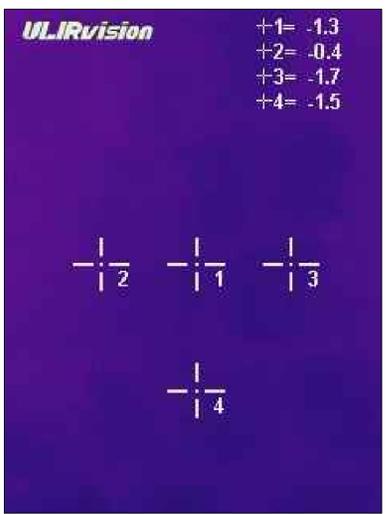
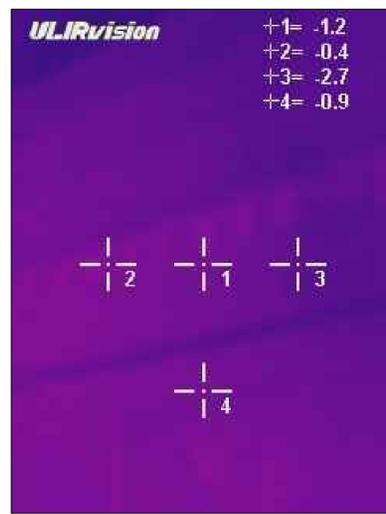
Національний університет "Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка"

РЕЗУЛЬТАТИ НАТУРНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

ТЕПЛОВІЗОР ULIRVISION TI384

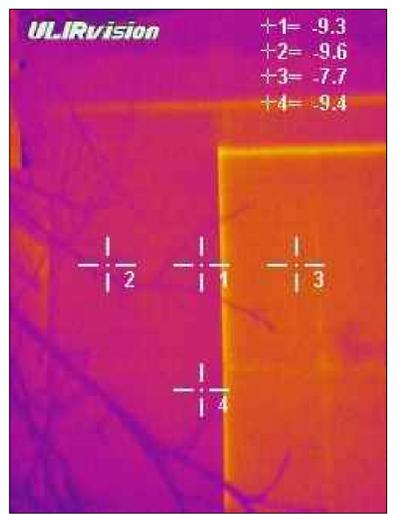


до утеплення пінопластом

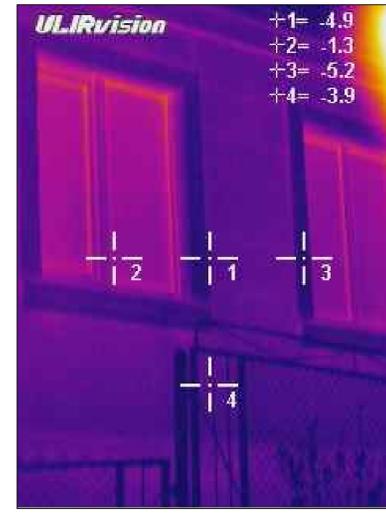


ТЕРМОГРАМИ СТІН

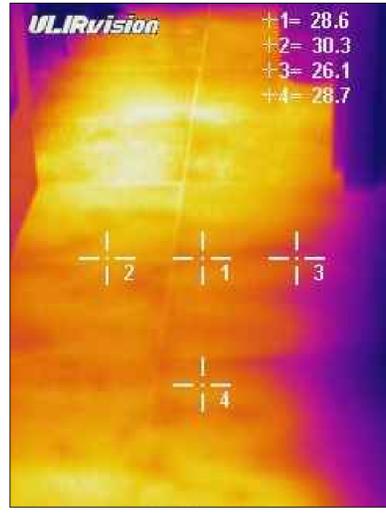
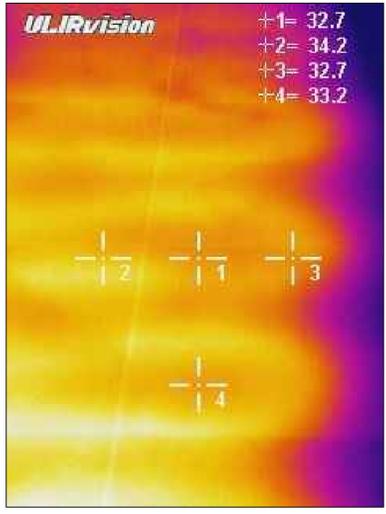
після утеплення пінопластом



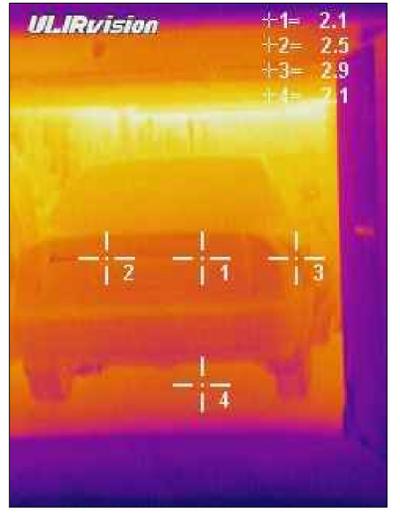
ТЕРМОГРАМИ, ОТРИМАНІ В РЕЗУЛЬТАТІ ДОСЛІДЖЕНЬ ВІКОН



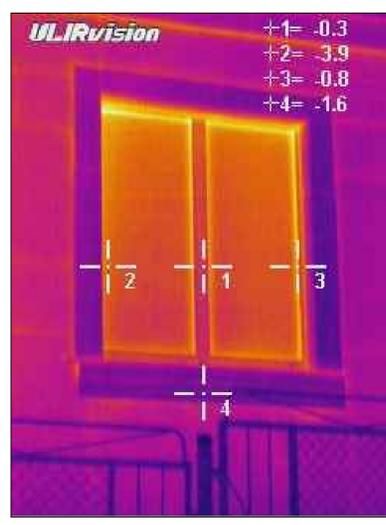
ТЕРМОГРАМИ КАБЕЛЬНОЇ ТЕПЛОЇ ПІДЛОГИ РІЗНОЇ ПОТУЖНОСТІ



ТЕРМОГРАМА ГАРАЖА



| | | | | |
|---------------|--|--|--|--|
| Погоджено: | | | | |
| | | | | |
| Зам. інв. № | | | | |
| | | | | |
| Підпис і дата | | | | |
| | | | | |
| Інв. № ар. | | | | |
| | | | | |

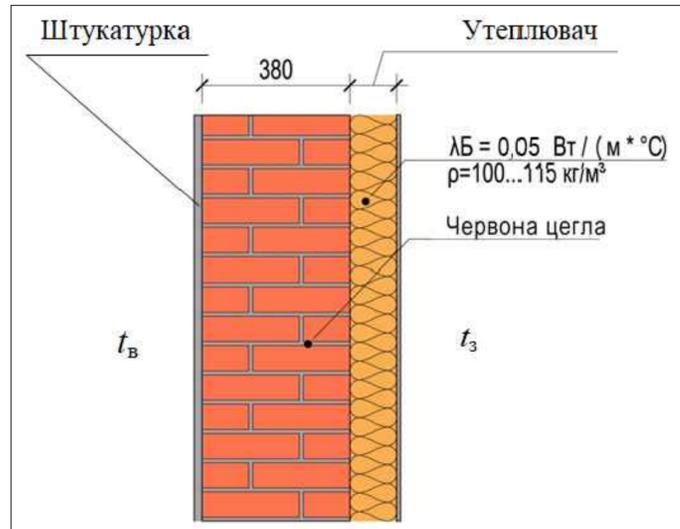


| | | | | | | | | |
|--------------|--------|---------------|--------|------|------|--|-------|---------|
| | | | | | 2021 | 601-НТ-20342-МР | | |
| | | | | | | Підвищення енергоефективності індивідуального житлового будинку в м. Полтава | | |
| Зм. | Кільк. | Арк. № док. | Підпис | Дата | | Стадія | Аркуш | Аркушів |
| Розробив | | Шинкаренко С. | | | | Р | 3 | 6 |
| Перевірив | | Кутний Б. А. | | | | | | |
| Н. контроль | | Кутний Б. А. | | | | Результати натурних досліджень | | |
| Заб. кафедри | | Галік Ю. С. | | | | Національний університет "Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка" | | |

ТЕРМОМОДЕРНІЗАЦІЯ ОГОРОДЖУЮЧИХ КОНСТРУКЦІЙ

КОНСТРУКТИВНІ ОСОБЛИВОСТІ КРІПЛЕННЯ ІЗОЛЯЦІЇ

РОЗРАХУНКОВА СХЕМА СТІНИ



ВЕРТИКАЛЬНИЙ РОЗРІЗ

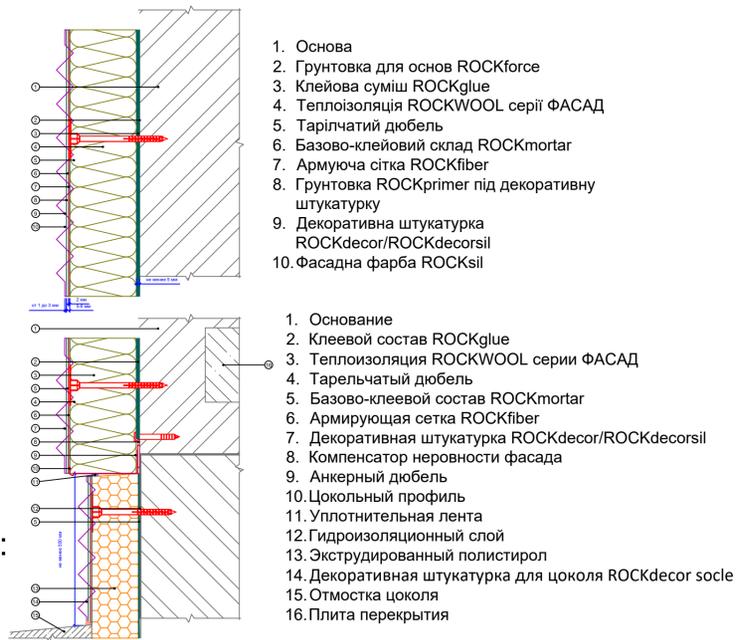
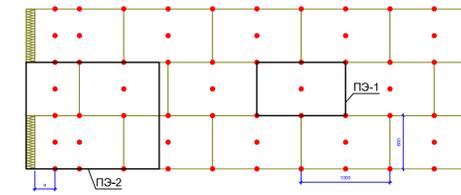


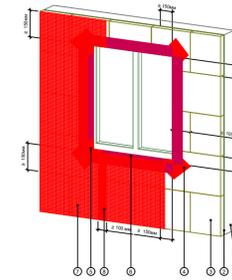
СХЕМА РОЗТАШУВАННЯ ТАРІЛЧАТИХ ДЮБЕЛІВ



Примітка:

1. ПЕ-1, ПЕ-2 - періодичні елементи для ділянок А і В.
2. а - відстань від зовнішнього вертикального кута основи до крайніх дюбелів (для цегли а ≥ 100 мм).

ПІДСИЛЮЮЧІ ЕЛЕМЕНТИ ІЗОЛЯЦІЇ НАВКОЛО ВІКОН



- 1 - Основа
- 2 - Клейова суміш ROCKglue
- 3 - Теплоізоляція ROCKWOOL серії ФАСАД
- 4 - Підсилюючий елемент (косинка) із армуючої сітки ROCKfiber
- 5 - Кутовий підсилюючий елемент із армуючої сітки ROCKfiber
- 6 - Профіль кутівий армуючий із сіткою
- 7 - Армуюча сітка ROCKfiber
- 8 - Перетин сусідніх полотен армуючої сітки ROCKfiber (≥ 100 мм)

КОНСТРУКЦІЯ ВІКНА



Опір теплопередачі багатшарової огорожувальної конструкції:

$$R = \frac{1}{\alpha_B} + \sum \frac{\delta_i}{\lambda_i} + \frac{\delta_{ут}}{\lambda_{ут}} + \frac{1}{\alpha_3}$$

де α_B й α_3 - коефіцієнти теплообміну біля внутрішньої і зовнішньої поверхні огорожувальної конструкції, $\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C} / \text{Вт}$;
 $\sum \delta_i / \lambda_i$ - сума термічних опорів усіх шарів огорожувальної конструкції, $\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C} / \text{Вт}$;
 $\delta_{ут} / \lambda_{ут}$ - опір теплопередачі шару утеплювача, $\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C} / \text{Вт}$;
 δ_i й λ_i - відповідно товщина й теплопровідність і-го шару огорожувальної конструкції.

ПОРІВНЯННЯ НОРМАТИВНИХ І ФАКТИЧНИХ ЗНАЧЕНЬ ТЕРМІЧНОГО ОПОРУ

| № | Назва | Термічний опір, $\text{м}^2 \cdot \text{K} / \text{Вт}$ | |
|---|---------------------------------------|---|-----------------|
| | | нормативний $R_{q, \min}$ | фактичний R_0 |
| 1 | Зовнішні стіни | 3,3 | 3,84 |
| 2 | Горищне покриття неопалюваного горища | 4,95 | 6,17 |
| 3 | Вікна | 0,75 | 0,5 |
| 4 | Зовнішні двері | 0,6 | 1,31 |

ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНІ ПОКАЗНИКИ ЗАХОДІВ З УТЕПЛЕННЯ

Середні за опалювальний сезон втрати теплоти через стіни:

$$Q_e^c = (1/R) \cdot F \cdot (t_B - t_3^c) \cdot 10^{-3}$$

Економія теплової енергії за рік для будинку після утеплення стін базальтовою ватою: $\Delta Q_e = 11227 \text{ кВт год/рік} = 9,65 \text{ Гкал/рік} = 40,38 \text{ ГДж/рік}$.

Економія коштів $\Delta B_e = 9250 \text{ грн/рік}$.

Капіталовкладення на утеплення: $K = 141274 \text{ грн}$.

Термін окупності: $T = K / \Delta B_e = 141274 / 9250 = 15,3 \text{ років}$.

Тепловтрати через огорожувальні конструкції:

$$Q_{ок} = \frac{F}{R_0} (t_B - t_{35}) (1 + \sum \beta)$$

Тепловтрати на нагрів вентиляційного повітря:

$$Q_B = 0,28 L p c (t_B - t_{35})$$

СТРУКТУРА ТЕПЛОВТРАТ БУДИНКУ

| Вид тепловтрат | Кількість тепловтрат | % від загальних тепловтрат |
|---|----------------------|----------------------------|
| Зовнішні стіни | 1567 | 13,7 |
| Вікна | 1548 | 13,5 |
| Горищне покриття | 634 | 5,6 |
| Підлога | 1077 | 9,4 |
| Нагрів вентиляційного повітря та інфільтрація | 6221 | 54,4 |

ЕНЕРГО-ЗБЕРЕЖЕННЯ ВІКНА

Вікно: $1,2 \text{ м}$ Одношлюзове
 Профіль: Пластиковий-профіль /
 Металопластиковий профіль 70 мм
 Склопакет: 4-10Ar-4-10Ar-4i Двокамерний
 32 мм з двома і-скліннями, аргон

Економія: $R = 0,81$
 $111,11 \text{ кВт} \cdot \text{год} / \text{м}^2 \cdot \text{рік}$

НОРМИ: $\geq 0,75$
 $\leq 1,33$

Не економить: Кліматична зона I - Полтава
 Тепловий опір вікна: $R = 0,81 \text{ м}^2 \cdot \text{K} / \text{Вт}$
 Коефіцієнт теплопередачі вікна: $U_w = 1,23 \text{ Вт} / (\text{м}^2 \cdot \text{K})$
 Сонячний фактор: $g = 33,4\%$
 Пропускання видимого світла: 47%
 Тепловтрати: $133,33 \text{ кВт} \cdot \text{год} / \text{рік}$

© OKNA.ua okna.ua/su/P17zrL3g7qW
 Проведено контролю та перевірку вікна.
 Маркування розроблено незалежним сервісом OKNA.ua безкоштовно.
 Розроблено спеціальні вікна та комплектуючі.

Регістраційний № P17zrL3g7qW Дата: 16.12.2022

| | | | | | 2021 | 601-НТ-20342-МР | | | |
|--------------|--------|---------------|--------|------|--|-----------------|---------|---|--|
| | | | | | Підвищення енергоефективності індивідуального житлового будинку в м. Полтава | | | | |
| Зм. | Кільк. | Арк. № док. | Підпис | Дата | Стадія | Аркуш | Аркушів | | |
| Розробив | | Шинкаренко С. | | | | | | | |
| Перевірив | | Кутний Б.А. | | | | | | | |
| Н. контроль | | Кутний Б.А. | | | Термомодернізація огорожувальних конструкцій | | | Національний університет "Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка" | |
| Зав. кафедри | | Галік Ю.С. | | | | | | | |

Погоджено:

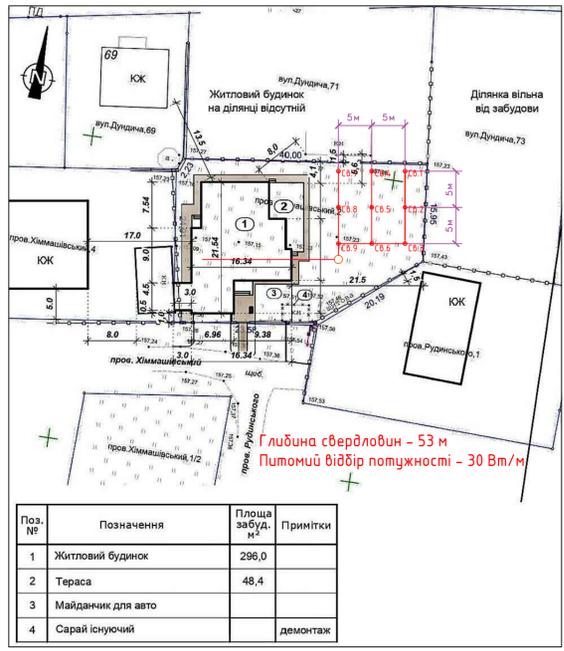
Зам. інв. Ні

Підпис і дата

інв. Ні ар.

ОЦІНЮВАННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ТЕПЛООВОГО НАСОСА ЯК ДЖЕРЕЛА ТЕПЛА

РОЗТАШУВАННЯ ГЕОЗОНДІВ НА ГЕНПЛАНІ



ПЕРЕВАГИ ТЕПЛОНАСОСІВ ТИПУ «ГРУНТ-ВОДА»:

1. Висока й постійна ефективність незалежно від пори року.
2. Висока температура теплоносія на подачі - до +65 °С.
3. Компактність внутрішнього обладнання - до 2 м².
4. Не потребує поточного обслуговування.

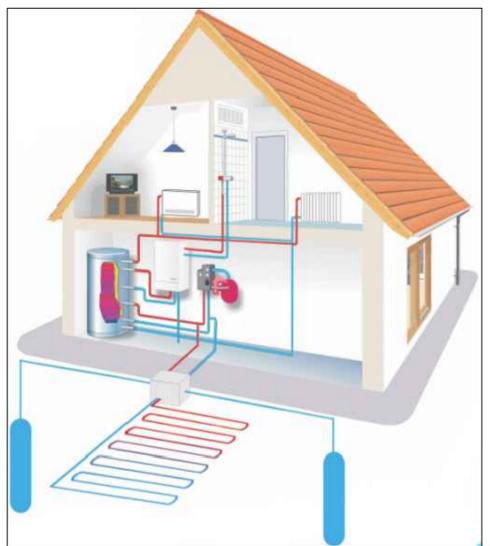
НЕДОЛІКИ:

1. Висока вартість обладнання й монтажу — у 2 рази вище, ніж у повітряних теплових насосів. Влаштування свердловин або горизонтального ґрунтового колектора коштує стільки ж, скільки й основне обладнання.
2. При неправильному встановленні або застосуванні неякісних геозондів виправити помилку неможливо – треба встановлювати новий.
3. Потрібна вільна площа біля будинку для розміщення геоконтура.

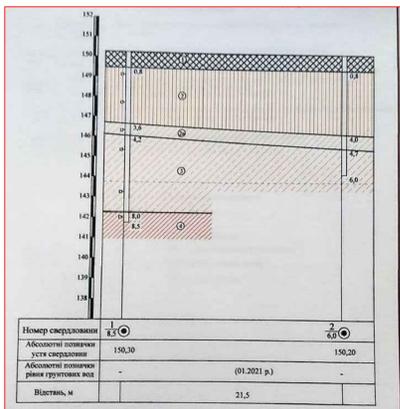
ВИДИ ГЕОТЕРМАЛЬНИХ КОНТУРІВ

1. Вертикальні геоконтури – геотермальні зонди, які опущені в свердловини, пробурені на глибину від 30 до 200 м. Застосовуються у випадках, коли площа ділянки обмежена.
2. Похилі свердловини - частинний випадок вертикальних. Кілька похилих зондів під кутом сходяться в загальний колектор.
3. Горизонтальні геоконтури – геополя, де на глибину 1,5 - 2,5м укладаються пластикові труби, кожна довжиною від 100 до 200 м.
4. Спіральні колектори – застосовуються при обмеженій площі ділянки. Встановлюються в ґрунт на глибину до 5 м спіраллю в широку яму.

СХЕМА ВСТАНОВЛЕННЯ ТЕПЛООВОГО НАСОСА



ІНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГІЧНИЙ РОЗРІЗ



ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНІ ПОКАЗНИКИ

Середня за сезон теплова потужність системи опалення:

$$Q_{опал}^{cp} = Q_{опал} \cdot \frac{t_g - t_3^{cp}}{t_g - t_3} = 13,2 \cdot (20 + 0,8) / (20 + 23) = 6,385 \text{ кВт.}$$

Річна витрата теплоти на опалення:
 $\Phi_{опал} = 6,385 \cdot 4272 = 27276,7 \text{ кВт}\cdot\text{год} = 98196 \text{ МДж.}$

При Q_H^p газу = 8300 ккал/м³ = 34,75 МДж/м³.
 економія палива щорічно:
 $\Delta P_e = 98196 / 34,75 = 2826 \text{ м}^3 \text{ газу.}$

Економія коштів:
 $\Delta B_e = 2826 \cdot 7,96 = 22493 \text{ грн/рік.}$

Таким чином, капітальні затрати лише на сам тепловий насос $T = 311840 / 22493 = 13,9$ років.
 З урахуванням виконання монтажних робіт, вартості буріння свердловин, труб та іншого супутнього обладнання, термін окупності:
 $T \approx 14 \cdot 2 = 28$ років.

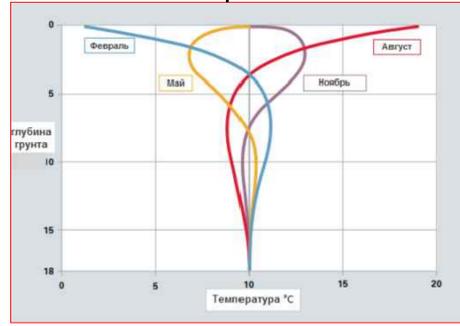
РОЗПОДІЛЬНИЙ КОЛЕКТОР



ГЕОЗОНДИ



РОЗПОДІЛ ТЕМПЕРАТУР У ТОВЩІ ГРУНТУ



УСТАНОВКА ДЛЯ БУРІННЯ



Погоджено:

Зам. інв. №

Підпис і дата

інв. № ар.

| | | | | | | | |
|--------------|--------|---------------|--------|------|--|-------|---------|
| | | | | 2021 | 601-НТ-20342-МР | | |
| | | | | | Підвищення енергоефективності індивідуального житлового будинку в м. Полтава | | |
| Зм. | Кільк. | Арк. № док. | Підпис | Дата | Стадія | Аркуш | Аркушів |
| Розробив | | Шинкаренко С. | | | Р | 5 | 6 |
| Перевішив | | Кутний Б.А. | | | | | |
| Н. контроль | | Кутний Б.А. | | | Оцінювання ефективності теплового насоса як джерела тепла | | |
| Зав. кафедри | | Голік Ю.С. | | | Національний університет "Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка" | | |

ВИСНОВКИ

6

1. На основі аналізу літературних джерел щодо заходів з енергозбереження в житлових будинках, порядку проведення тепловізійних обстежень було сформульовано основні задачі дослідження, які полягають в обстеженні житлового будинку та розробці заходів для підвищення його енергоефективності.
2. Зібрана, досліджена та проаналізована технічна документація приватного житлового будинку за адресою пров. Хіммашівський, 2 у м. Полтава Полтавської області України, обладнання систем опалення та гарячого водопостачання.
3. Досліджено існуючий стан приватного житлового будинку за адресою пров. Хіммашівський, 2 у м. Полтава, визначено тепловтрати будівлі в середовищі Excel. Розраховане значення тепловтрат з урахуванням інфільтрації складає $Q_{ог+в} = 11,5$ кВт. Необхідна потужність котла з урахуванням потреб на ГВП $Q = 16,5$ кВт
4. Проведено тепловізійне обстеження огорожуючих конструкцій будинку. Виявлено від зниження температури на зовнішній поверхні стін після утеплення пінопластом з $-1,3$ до -9 °С. На термограмах досить яскраво видно лінії стику листів пінопласту, що свідчить про недостатнє їх ущільнення й підтверджує рекомендації виробників щодо двошарового утеплення з перекриванням стиків першого шару наступним.
5. Запропоновано 3 варіанти утеплення стін, підібрана необхідна товщина ізоляції, розраховано термін окупності:
 - 1) - плити мінеральної вати на основі базальтового волокна ($\rho=150$ кг/м³, $\lambda=0,05$ Вт/ м·К)
 $\delta = 150$ мм, $R_{ст}=3,84$ м²·К/Вт, $T=15,6$ років.
 - плити з мінеральної вати на основі базальтового волокна ($\rho=225$ кг/м³, $\lambda=0,054$ Вт/ м·К) - 150 мм. $=3,63$ м²·К/В
 - 2) плити з резольно-формальдегідного пінопласту ($\rho=100$ кг/мм³, $\lambda=0,076$ Вт/ м·К)
 $\delta = 200$ мм, $R_{ст}=3,47$ м²·К/Вт, $T=5,9$ років.
 - 3) плити з жорсткого пінополіуретану ($\rho=80$ кг/м³, $\lambda=0,05$ Вт/ м·К)
 $\delta =150$ мм, $R_{ст}=3,84$ м²·К/Вт.
6. Проаналізовано існуюче джерело теплової енергії та запроктоване альтернативне - тепловий насос Viessmann Vitocal 300-G BW 301.B17 з геоконтуром. Термін окупності капіталовкладень - близько 28 років.
7. Розроблено рекомендації щодо встановлення програматора для котла з метою економії теплової енергії в будівлі за рахунок автоматичного програмного зниження теплоспоживання в робочі години, коли мешканці відсутні. Економія тепла за рахунок автоматичного регулювання - 7,86 МВт/рік.
8. Виконано розрахунок енергозбереження від заміни ламп розжарювання на світлодіодні. Розраховано термін окупності вкладень в нові лампочки, $T \approx 1$ рік, що є дуже вигідно з урахуванням терміну служби лампочок близько 7 років.

| | | | | | | | | |
|--------------|--------|---------------|--------|--------|------|---|-------|---------|
| | | | | | 2021 | 601- НТ -20342- МР | | |
| | | | | | | Підвищення енергоефективності індивідуального житлового будинку в м. Полтава | | |
| Зм. | Кільк. | Арк. | № док. | Підпис | Дата | | | |
| Розробив | | Шинкаренко С. | | | | Стадія | Аркуш | Аркушів |
| Перевірив | | Кутний Б.А | | | | Р | 6 | 6 |
| | | | | | | | | |
| Н. контроль | | Кутний Б.А | | | | Висновки | | |
| Зав. кафедри | | Голік Ю.С. | | | | Національний університет "Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка" | | |