

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ  
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ  
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»**

Теплоенергетичний факультет

Кафедра теоретичної і промислової теплотехніки

«На правах рукопису»  
УДК \_\_\_\_\_

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри

\_\_\_\_\_ Г.Б.Варламов  
(підпис) (ініціали, прізвище)

“ \_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 2018 р.

## Магістерська дисертація

на здобуття ступеня магістра

зі спеціальності 144 «Теплоенергетика»,  
спеціалізації «Промислова та муніципальна теплоенергетика і енергозбереження»

на тему: \_\_\_\_\_

«Система опалення котеджів з використанням відновлювальних джерел енергії»

Виконав (-ла): студент (-ка) II курсу, групи ТП – 61 м

Живиця Катерина Олегівна

(прізвище, ім'я, по батькові)

\_\_\_\_\_ (підпис)

Науковий керівник: проф. д.т.н Пуховий І.І.

(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали)

\_\_\_\_\_ (підпис)

Консультанти: з мат. моделювання к.т.н. Кутра Д.С.

(назва розділу)

(науковий ступінь, вчене звання, прізвище, ініціали)

\_\_\_\_\_ (підпис)

з охорони праці к.т.н., доцент Каштанов С.Ф.

(назва розділу)

(науковий ступінь, вчене звання, прізвище, ініціали)

\_\_\_\_\_ (підпис)

Рецензент \_\_\_\_\_

(посада, науковий ступінь, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

\_\_\_\_\_ (підпис)

Засвідчую, що у цій магістерській дисертації  
немає запозичень з праць інших авторів без  
відповідних посилань.

Студент \_\_\_\_\_

(підпис)

Київ – 2018 року



### Анотація

Магістерська дисертація містить: 108 сторінок, 44 формул, 28 рисунків, 15 таблиць та 31 джерел в переліку посилань.

*Актуальність роботи* визначається зацікавленістю нетрадиційними джерелами енергії у зв'язку зі стрімким зменшенням традиційних енергоресурсів, підвищенням на них цін та екологічними проблемами, які виникли в усьому світі.

*Мета роботи:* вивчити можливість використання льодяної стінки як огорожі кристалізатора для буферної зони.

*Задачі дослідження:* розрахувати ефективність використання льодяної стіни як огорожі, провести комп'ютерне моделювання теплових процесів у буферній зоні, провести експериментальне дослідження використання льодяної стіни.

*Об'єктом дослідження магістерської дисертації* є системи опалення з використанням низькопотенційної теплоти.

*Методами дослідження* є аналітичні розрахунки ефективності використання теплоти кристалізації води для опалення буферної зони будівлі, утвореної льодяною огорожею, комп'ютерне моделювання температур та теплових втрат у буферних зонах, експериментальне дослідження використання льодяної стіни.

*Наукова новизна* на основі проведених аналітичних розрахунків підтверджена отриманим патентом на спосіб опалення будівлі під час морозів з використанням холодної води, яка використовується для опалення буферної зони теплою кристалізацією води.

*Робота має практичне значення* в системах тепло- та холодопостачання житлового будинку, використання теплоти кристалізації води можна застосовувати як для вдосконалення існуючих споруд, так і для нових проектів, а принципи швидкого зведення льодяної стіни можуть бути також використані в спорудах з льоду.

#### *Апробація результатів дисертації та публікації*

На XIV, XVI, XVII Міжнародних науково-практичних конференціях аспірантів, магістрантів і студентів «Сучасні проблеми наукового забезпечення енергетики» були оприлюднені результати та аналіз проведених досліджень, що включені до дисертації.

*Перелік ключових слів:* відновлювальні джерела енергії, теплота кристалізації води, льодяна стіна, буферна зона, теплові втрати, система теплопостачання.

### Аннотация

Магистерская диссертация содержит 108 страниц, 44 формул, 28 рисунков, 15 таблиц и 31 источник в перечне ссылок.

Актуальность работы определяется заинтересованностью нетрадиционными источниками энергии в связи со стремительным уменьшением традиционных энергоресурсов, повышением на них цен и экологическими проблемами, которые возникли во всем мире.

Цель работы: изучить возможность использования ледяной стенки как ограждения кристаллизатора для буферной зоны.

Задачи исследования: рассчитать эффективность использования ледяной стены как ограждения, провести компьютерное моделирование тепловых процессов в буферной зоне, провести экспериментальное исследование использования ледяной стены.

Объектом исследования магистерской диссертации является системы отопления с использованием низкопотенциальной теплоты.

Методами исследования являются аналитические расчеты эффективности использования теплоты кристаллизации воды для отопления буферной зоны здания, образованной ледяной оградой, компьютерное моделирование температур и тепловых потерь в буферных зонах, экспериментальное исследование использования ледяной стены.

Научная новизна на основе проведенных аналитических расчетов подтверждена полученным патентом на способ отопления здания во время морозов с использованием холодной воды, используемой для отопления буферной зоны теплотой кристаллизации воды.

Работа имеет практическое значение в системах тепло- и холодоснабжения жилого дома, использования теплоты кристаллизации воды можно применять как для совершенствования существующих сооружений, так и для новых проектов, а принципы быстрого возведения ледяной стены могут быть также используют в сооружениях из льда.

Апробация результатов диссертации и публикации

На XIV, XVII,-XVIII Международных научно-практических конференциях аспирантов, магистрантов и студентов «Современные проблемы научного обеспечения энергетики» были обнародованы результаты и анализ проведенных исследований, включенные в диссертации.

Перечень ключевых слов: возобновляемые источники энергии, теплота кристаллизации воды, ледяная стена, буферная зона, тепловые потери, система теплоснабжения.

## ANNOTATION

The master's dissertation contains: 108 pages, 44 formulas, 28 figures, 15 tables and 31 sources in the list of references.

The urgency of work is determined by the interest of non-traditional sources of energy in connection with the rapid decline of traditional energy resources, rising prices on them and environmental problems that have arisen all over the world.

Purpose: to study the possibility of using an ice wall as a fence of a crystallizer for a buffer zone.

Research objectives: to calculate the efficiency of using an ice wall as a fence, to carry out computer simulation of thermal processes in the buffer zone, to conduct an experimental study of the use of an ice wall.

The object of research of a master's dissertation is heating systems using low-grade heat.

Research methods are analytical calculations of the efficiency of using the heat of crystallization of water for heating the buffer zone of the building formed by the ice fence, computer simulation of temperatures and heat losses in buffer zones, experimental research on the use of ice wall.

Scientific novelty on the basis of conducted analytical calculations is confirmed by the patent on the method of heating the building during frost with the use of cold water, which is used for heating the buffer zone with the warmth of crystallization of water.

The work is of practical importance in the heating and cooling systems of a residential building, the use of heat of crystallization of water can be used both for the improvement of existing structures and for new projects, and the principles of rapid erection of the ice wall can also be used in structures on ice.

Testing the results of the dissertation and publication

At the XIV, XVI, XVII International scientific and practical conferences of graduate students, undergraduate students and students "Modern problems of scientific provision of energy" were published results and analysis of the researches included in the dissertation.

Key words: renewable energy sources, heat of water crystallization, ice wall, buffer zone, heat losses, heat supply system.

## ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, СКОРОЧЕНЬ, ТЕРМІНІВ	7
1 АНАЛІЗ СУЧАСНОГО СТАНУ ПРОБЛЕМИ	12
1.1 Фізичні властивості льоду та теплові процеси при замерзанні та таненні льоду	12
1.2 Існуючі технології використання та виготовлення льоду	14
1.3 Використання теплоти кристалізації води у буферній зоні будівлі	20
1.4 Пасивні системи з використанням системи типу засклена лоджія	22
1.5 Висновки до розділу.	26
2 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ СТІЙКОСТІ ЛЬОДЯНОЇ СТІНИ	27
2.1 Розробка патенту на корисну модель	27
2.2 Розрахунки термічних опорів та теплопередачі багатошарової льодяної стіни	28
2.3 Проведення експериментальних досліджень	30
2.4 Висновки до розділу	41
3 МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ В ПРОГРАМНОМУ ЗАБЕЗПЕЧЕННІ SOLIDWORKS	42
3.1 Вихідна модель для розрахунку	42
3.2 Постановка задачі	42
3.3 Геометричне моделювання	42
3.4 Моделювання та дослідження	45
3.5 Аналітичні розрахунки	50
3.5 Висновки до розділу	53
4 ДОСЛІДЖЕННЯ ПАСИВНИХ СИСТЕМ ОПАЛЕННЯ	54
4.1 Системи опалення будинків з відновлюваних джерел енергії	54
4.2 Кондиціонування повітря в пасивних будинках	55
4.3 Розрахунок системи опалення котеджів з використанням відновлювальних джерел енергії	57
4.4 Розрахунок пасивної системи сонячного опалення	66
4.5 Висновки до розділу	84
5 РОЗРОБКА СТАРТАП ПРОЕКТУ: «СТВОРЕННЯ ПРОЕКТІВ КОТЕДЖІВ З ВИКОРИСТАННЯМ НЕТРАДИЦІЙНИХ ДЖЕРЕЛ ТЕПЛОПОСТАЧАННЯ» .	85
5.1 Резюме проекту	85
5.2 Види та спрямованість проекту	85
5.3 Технологічний аудит ідеї проекту.	87
5.4 Аналіз ринкових можливостей запуску проекту	88
5.5 Обґрунтування економічних параметрів проекту	89
5.6 Планування проекту	90

5.7 Прогнозування фінансово-економічної ефективності проекту	92
5.8 Висновки до розділу	93
РОЗДІЛ 6 ТЕХНІЧНІ РІШЕННЯ І ЗАПОБІЖНІ ЗАХОДИ З ОХОРОНИ ПРАЦІ ТА БНС.	94
6.1 Технічні рішення та організаційні заходи з безпечної експлуатації теплового насоса	94
6.2 Технічні рішення та організаційні заходи з гігієни праці та виробничої санітарії	97
6.3 Безпека в надзвичайних ситуаціях	99
ВИСНОВКИ	103
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ	104
ДОДАТОК А ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ НА НАУКОВО-ДОСЛІДНУ РОБОТУ	106
ДОДАТОК Б АКТ ВПРОВАДЖЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ МАГІСТЕРСЬКОЇ ДИСЕРТАЦІЇ	107
ДОДАТОК В СПИСОК НАУКОВИХ ПРАЦЬ	108
ДОДАТОК Г ПЕРЕВІРКА МАГІСТЕРСЬКОЇ ДИСЕРТАЦІЇ НА ПЛАГІАТ	111

**ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, СКОРОЧЕНЬ, ТЕРМІНІВ**

Основні позначення:

втр – втрати;

вік – вікно;

дв – двері;

ст – стіна;

пас – пасивна;

в – вентиляція;

заг – загальні;

ср.м – середньомісячна;

о – опалення;

гв – гаряче водопостачання;

х.в – холодна вода;

г.в – холодна вода;

кол – колектор;

бак – бак - акумулятор;

із – ізоляція.

в – буферна зона;

а – навколишнє середовище;

d – житлова зона.

Індекси:

$Q$  – втрати теплоти;

$k$  – коефіцієнт теплопередачі;

$F$  – розрахункова поверхня;

$n$  – поправочний коефіцієнт на розрахункову різницю температур;

$r$  – питомий термічний опір;

$\delta$  – товщина шару;

$\lambda$  – коефіцієнт теплопровідності;

$\alpha$  – коефіцієнт тепловіддачі;

$c$  – теплоємність;

$\rho$  – густина;

$r$  – питомий термічний опір;

$S$  – площа поверхні пасивної системи;

$e$  – енергетичний коефіцієнт;



$\eta$  – коефіцієнт корисної дії колектора;  
 К – капіталовкладення в пасивну систему опалення;  
 Ц – ціна 1  $m^2$  застеленої поверхні;  
 $\Delta B$  – економія палива;  
 $EK$  – економія у грошовому еквіваленті;  
 $Z$  – термін окупності системи;  
 М – коефіцієнт, на який можна знизити потужність традиційної системи опалення;  
 $a$  – норма витрати води для житлових будівель на одну людину за добу;  
 $b$  – норма витрати гарячої води;  
 $\beta$  – коефіцієнт, яким враховують зниження середньої витрати води на гаряче водопостачання у літній період відносно опалювального;  
 $\gamma$  – оптимальний кут установки колектору;  
 $\lambda'$  – географічна широта міста;  
 $\nu$  – оптичний коефіцієнт скла;  
 $\kappa$  – коефіцієнт теплових втрат колектора;  
 $I$  – середній за день потік сонячної енергії;  
 $V$  – об'єм бака-акумулятора;  
 $R$  – радіус основи бака-акумулятора;  
 $H$  – висота бака;  
 $m$  – маса води в баці-акумуляторі;  
 $G$  – витрата води;  
 $K$  – коефіцієнт теплопередачі;  
 $N$  – кількість встановлених колекторів.

Основні скорочення:

ПС – пасивна система сонячного опалення;  
 ГВП – гаряче водопостачання;  
 СК – сонячний колектор для нагрівання води;  
 БЗ – буферна зона;  
 ЖЗ – житлова зона;  
 К – капіталовкладення в пасивну систему опалення;  
 Ц – ціна.

## ВСТУП

З розвитком суспільства постає питання збереження та ефективного використання енергії. В Україні вже почалося усвідомлення необхідності реального вирішення цієї проблеми.

Починати треба зі зменшення витрат енергетичних ресурсів на обігрівання чи кондиціювання приміщень, освітлення, гаряче водопостачання (ГВП) і обслуговування систем водопостачання та водовідведення.

Найперспективнішим напрямком реалізації енергозбереження є використання альтернативних і відновлювальних джерел енергії (ВДЕ), які сприяють підвищенню енергетичної незалежності, досягненню екологічної рівноваги і зниженню витрат традиційних паливно-енергетичних ресурсів.

У світі спостерігається доволі швидкий перехід до використання відновлюваних джерел енергії. Одним з них є теплота фазового переходу води в лід, яка називається теплотою кристалізації (ТК). Теплота кристалізації води – це кількість теплоти, що виділяється при замерзанні одного кілограма води. Її ще називають теплотою плавлення льоду і позначають  $\lambda$ , що дорівнює 335 кДж/кг.

Скористатися цією теплотою можуть лише ті країни, в яких бувають морозні зими. Згадана теплота дає можливість підігрівати повітря в системах вентиляції та забезпечувати до 50—70 % економії традиційної енергії, а також підігрівати повітря перед тепловими насосами, що є альтернативою ґрунтовим теплообмінникам.

В Україні лід виробляють, в основному, на водоймах. В південних районах лід виробляється з використанням так званих льодоградирень. Метод не дуже відомий, але є єдиним прийнятним для південних районів. Така льодоградирня при температурі мінус 2...4°C впродовж 3...4 днів заповнювалась льодом на 50% свого об'єму.

Виробництво льоду в бурульках має значні перспективи в Україні із-за невеликого рівня від'ємних температур взимку (мінус 5...15°C).

Оскільки до цього часу відомі способи виготовлення льоду лише для холодопостачання, була поставлена задача дослідити можливість використання льоду для холодо- та теплопостачання за допомогою теплоти кристалізації води, що, досі просто відводилась у атмосферу.

Для цього було запропоновано встановлення з північної сторони будинку, де немає сонячного випромінювання стіни з льоду. Лід одночасно виконує функції як огорожі так і теплообмінника для підігрівання повітря в буферній зоні теплотою кристалізації води, яка тече по стінці з льоду (в деяких будинках недоцільне будівництво постійної буферної зони:

з архітектурних причин чи з проблем розміщення). Таке використання льодяної стіни дає змогу зменшити теплові втрати будинку через зовнішні конструкції котеджу.

Принципи швидкого зведення льодяної стіни можуть бути також використані для встановлення тимчасових стін для захисту від вітру, а також в інших спорудах з льоду, які нині почали будуватися в багатьох країнах і районах з низькими температурами навколишнього повітря.

Дану систему тепло- та холодопостачання можна застосовувати як для вдосконалення існуючих споруд, так і для нових проєктів.

Пасивні системи сонячного опалення (ПС) відрізняються дешевизною і використовуються в різних географічних зонах завдяки тому, що можуть як самостійно, так і в комбінації з традиційними джерелами енергії забезпечувати потрібні температурні характеристики. Стіна Тромба- Мішеля (СТМ) початково була задумана для не- допущення зниження температури нижче нуля в замських дачних будівлях (наприклад, щоб не допустити замерзання квітів та води).

Пасивний будинок - це будівля, що об'єднує в собі неперевершений комфорт та надзвичайно низьке споживання енергії. Професійний дизайн та якісні матеріали, ефективні вікна та вентиляція з рекуперацією є важливими елементами всіх об'єктів пасивного будівництва. Зовнішній вигляд пасивного будинку може мало чим відрізнитись від стандартних навколишніх будівель, адже технологія пасивного будинку описує стандарт енергоефективності, а не метод будівництва. Пасивний будинок повинен відповідати цілі проєкту - мінімальне енергоспоживання та максимальний комфорт, а вибір форми в якій це буде реалізовано залежить від побажань замовника та бачення архітектора. [1].

## 1 АНАЛІЗ СУЧАСНОГО СТАНУ ПРОБЛЕМИ

### 1.1 Фізичні властивості льоду та теплові процеси при замерзанні та таненні льоду

Лід, як тверда фаза води, являє собою речовину, що широко розповсюджена в природі і використовується в холодильній техніці. Подрібнений лід завдяки розвиненій поверхні забезпечує швидке охолодження і тому його використовують у багатьох технологічних та хімічних процесах. Лід також використовують при необхідності одночасного охолодження та зволоження.

Фізичні властивості льоду, як і процеси затвердіння та плавлення води, достатньо вивчені для інженерної практики.

Лід являє собою воду ( $H_2O$ ), що знаходиться при атмосферному тиску та температурі  $0\text{ }^{\circ}C$  та нижче в твердому стані. Тетраедрична структура льоду, при якій кожна молекула води оточена чотирма іншими, відноситься до структур з малою щільністю упакування часток. При плавленні льоду відбувається значне руйнування його "пухкої" молекулярної структури, що говорить про відносно високу приховану теплоту плавлення і значному зменшенню об'єму що займається. При нагріванні талої води руйнування тетраедричної структури продовжується. Цим пояснюється ріст густини води при збільшенні температури від  $0\text{ }^{\circ}C$  до  $4\text{ }^{\circ}C$  [2].

Ряд аномалій води викликаний також наявністю у ній асоційованих подвійних ( $H_2O$ )<sub>2</sub> та потрійних ( $H_2O$ )<sub>3</sub> молекул. Зазвичай при температурах дещо нижче  $0\text{ }^{\circ}C$  та відбиранні тепла вода перетворюється на лід, що кристалізується у гексагональній системі, при якій полегшується взаємне ковзання окремих шарів молекул, чим пояснюється висока пластичність льоду. При охолодженні води зменшується енергія руху її частинок, які при цьому дещо взаємно орієнтуються та сприяють утворенню центрів кристалізації. Утворення центрів кристалізації зазвичай пов'язане з наявністю сторонніх домішок чи кристалів льоду у воді, біля них вода набуває властивість сильної молекулярної орієнтації, яка в умовах одnobічної дії забезпечує при температурі дещо нижче  $0\text{ }^{\circ}C$  активну кристалізацію льоду. Тепло, що виділяється при кристалізації, викликає збільшення температури до  $0\text{ }^{\circ}C$  і для продовження процесу його необхідно постійно відводити. Можливість кристалізації залежить від загального руху води, відстанню до граничної фази від якої відводиться тепло, від властивостей цієї фази, а також від швидкості відводу тепла [3].

Таблиця 1.1 Фізичні константи льоду (при температурі 0 °С та тиску 105 Па)

Показник	Значення	Примітка
Густина, кг/м <sup>3</sup>	917	При зниженні температури на $t$ , °С, густина збільшується на $1-0,00016 \cdot t$
Температура плавлення (затвердіння)*, °С	0	Збільшення тиску на $10^5$ Па зменшує температуру плавлення на $0,0075$ °С
Теплота плавлення (затвердіння), кДж/кг	333,5	Зниження температури льоду на $1$ °С зменшує теплоту плавлення на $2,095$ кДж/кг
Теплоємність, кДж/(кг·°С)	2,095	При зниженні температури на значення $t$ , °С, теплоємність зменшується на $0,00186 \cdot t$

В даній роботі розглядається тільки звичайний лід H<sub>2</sub>O, основні теплофізичні властивості якого подані у таблиці 1.1. При використанні таблиці 1.1 слід пам'ятати, що вони відносяться до монолітного льоду з чистої води.

Виділення чи поглинання теплоти фазових перетворень води (335,2кДж/кг) обумовлено зміною кінетичної енергії речовини при зміні його структури. Фізико-механічною властивістю льоду є те, що він при повільній деформації пластичний, а при швидкій – крихкий (навіть при 0 °С).

Використання льоду для охолодження базується на його властивості носія холоду з агрегатним станом що змінюється. Це дозволяє акумулювати в невеликому об'ємі відносно велику кількість льоду.

При атмосферному тиску ці зміни стану будуть мати місце в основному між двома фазами – твердою та рідкою (якщо знехтувати паром). У двохфазному процесі замерзання – танення, що відбувається при температурі близькій до 0 °С, та відведенні або підведенні тепла теплоємність води змінюється приблизно на 335 кДж/кг [1]. У загальному випадку витрата холоду  $q$ , на заморожування 1 кг води з температурою  $t_v$  у лід з температурою  $t_l$  чи, навпаки, віддача холоду при перетворенні льоду в воду виражається рівнянням:

В даній роботі розглядається тільки звичайний лід H<sub>2</sub>O, основні теплофізичні властивості якого подані у таблиці 1.1. При використанні таблиці 1.1 слід пам'ятати, що вони відносяться до монолітного льоду з чистої води.

Виділення чи поглинання теплоти фазових перетворень води (335,2кДж/кг) обумовлено зміною кінетичної енергії речовини при зміні його структури. Фізико-

механічною властивістю льоду є те, що він при повільній деформації пластичний, а при швидкій – крихкий (навіть при 0 °С).

Використання льоду для охолодження базується на його властивості носія холоду з агрегатним станом що змінюється. Це дозволяє акумулювати в невеликому об'ємі відносно велику кількість льоду.

При атмосферному тиску ці зміни стану будуть мати місце в основному між двома фазами – твердою та рідкою (якщо знехтувати паром). У двофазному процесі замерзання – танення, що відбувається при температурі близькій до 0 °С, та відведенні або підведенні тепла теплоємність води змінюється приблизно на 335 кДж/кг [1]. У загальному випадку витрата холоду  $q$ ,  $\frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$ , на заморожування 1 кг води з температурою  $t_v$  у лід з температурою  $t_l$  чи, навпаки, віддача холоду при перетворенні льоду в воду виражається рівнянням:

$$q = t_v + 333,5 - 2,095 \cdot t_l, \quad (1.1)$$

де  $t_v$  – температура води, яка подається на заморожування, °С;

$335 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$  – теплота плавлення льоду;

$2,095 \frac{\text{кДж}}{\text{кг} \cdot \text{°С}}$  – теплоємність льоду;

$t_l$  – температура замороженого льоду, °С.

Можна відмітити, що теплообмін процесів кристалізації води та плавлення льоду сполучається з масообміном і відрізняється від масообміну в разі відсутності зміни агрегатного стану.

## 1.2 Існуючі технології використання та виготовлення льоду

У районах з нестабільними та високими зимовими температурами (-2...-3 С), наприклад в Одесі, лід можливо заготовити тільки на градирнях (у вигляді бурульок) [4] або у невеликій кількості з водою. При наморожуванні льоду на градирнях вода замерзає тонким шаром на максимально охолодженій поверхні бурульок. Цей спосіб наморожування дуже ефективний (наморожування відбувається у декілька разів інтенсивніше, ніж при звичайному способі). Він надає можливість у продовж трьох-п'яти діб заповнити градирню бурульками, сколоти їх та скласти у льодосховище. При відлигах може бути втрачена кількість льоду, що відповідає трьох-п'ятиденній продуктивності градирні. При

подальшому похолоданні заготівля льоду може продовжуватись у звичайному порядку. Але лід у бурульках внаслідок розвиненої поверхні зберігається гірше, ніж лід у монолітному бунті чи в блоках. Використання того чи іншого способу заготівлі природного льоду залежить від температурних умов у період заготівлі:

- при температурі січня місяця нижче  $-10^{\circ}\text{C}$  допускається пошарове наморожування у чистому вигляді;
- при температурі  $(-5\dots-10)^{\circ}\text{C}$  - пошарове наморожування з додаванням льоду;
- при температурі  $(-2\dots-4)^{\circ}\text{C}$  - наморожування льоду бурульками.

Специфікою генерації льоду в Україні є те, що температура довкілля взимку в основному лежить в діапазоні  $(-3\dots-10)^{\circ}\text{C}$ . Ці ж температури характерні для більшості європейських країн, тому актуальним є пошук і дослідження інтенсивних методів і апаратів для виробництва льоду і одночасного використання теплоти кристалізації (там, де це можливо і потрібно). Для згаданого температурного діапазону найбільше підходить технологія отримання льоду в бурульках. Для цього використовують так звані льодоградирні [5].

Утворення льоду при наростанні бурульок протікає значно швидше, ніж при всіх інших способах наморожування. Це пояснюється наявністю значної поверхні тепловіддачі, рухом води у тонкому шарі і тим, що бурульковий лід добре обдувається вітром. Такий спосіб наморожування дозволяє заготовляти лід у районах з зимовою температурою  $-2^{\circ}\text{C} \dots -3^{\circ}\text{C}$ , де ніяким іншим способом заготувати природній лід неможливо.

Наморожування льоду бурульками досягається шляхом поливання водою градирень-естакад. При цьому утворюються великі (довжиною 2...3 м) бурульки-сталактити. Коли градирня заповнена бурульками, їх сколюють і складають у льодосховище, а потім поливають водою, щоб вони змерзлись. В Одесі таким шляхом щорічно заготовлювалось до 10000 т льоду.

Основні *переваги* звичайних градирень-естакад – низька вартість і простота; *недоліком* їх є змушений простій (до 50% заготівельного періоду) під час виймання льоду, що виконується шляхом відокремлення його від основи вручну, механічним способом.

Градирня-естакада з робочим об'ємом  $150\text{ м}^3$  являє собою споруду з дерева, яка складається з трьох ярусів (рис. 1.1). До стійок висотою 6 м через кожні 2 м приєднані обв'язувальні рами, на які вкладені з відстанню 30 см між осями жердини діаметром 10...13 см. Жердини кожного ряду (яруса) перехрещуються у просторі з жердинами нижче розміщеного ряду, завдяки чому струмінь води, що падає з верхнього ярусу, розбивається об нижній, так що поверхня струменів поступово збільшується.

У верхній частині градирні розміщено зрошуючий пристрій, що складається із сітки трубопроводів зі штуцерами, на яких встановлено п'ять розприскувачів.

Зрошуючий пристрій градирні огорожений щитами, що попереджують унос води вітром. Трубопроводи зрошувачого пристрою мають нахил в бік магістрального трубопроводу, щоб вода стікала з труб коли її подача не відбувається. Магістральний трубопровід з'єднується з утепленою (у спеціальному приміщенні) водяною колонкою. Перед запірним вентилям водопровідної колонки на магістралі встановлено спускний канал, щоб після закриття основного вентиля можна було спустити залишки води з магістралі, що є обов'язково необхідним для попередження можливості замерзання води у трубопроводах. У нижній частині градирні, як і у верхній, є відбійні щити для зменшення втрат води від розбризкування і уносом.

Більш вдосконалена електрифікована градирня (рисунок 1.2) системи І.А.Клейменова, в якій на вертикальних трубах з вмонтованими всередині електронагрівачами наморожують лід в сталактитах діаметром до 0,5м [6]. Схема роботи градирні зображена на рисунку 1.2. Вода від форсунки Блюма 8 продуктивністю 400 л/год по передаючим гумовим шлангам 11 потрапляє у воронки 3, звідки потрапляє на металеві трубки 2, що знаходяться зовні і мають діаметр 6...12 мм та довжину 2,25 м, стікає по них тонкою плівкою і замерзає, утворюючи бурульку. Коли діаметр сталактитів що наморожуються досягне 80-90 мм нижню форсунку вимикають, вмикають верхню форсунку 9, що має продуктивність 4000 л/год, і вода починає надходити через розподільний конус 10 по передаючим гумовим шлангам всередину воронки, звідки через наявні щілини розподіляється краплями по поверхні сталактитів. Наявність віджимних щічок дозволяє регулювати роботу кожної щілини. За допомогою електropечі 13 у верхній частині градирні підтримується плюсова температура.

Вода рівномірно і безперервно зрошує поверхню металевих труб і замерзає на них, створюючи бурульки-сталактити. Швидкість наморожування сталактитів залежить виключно від температури зовнішнього повітря. Коли довжина бурульок досягає 5...6 м, то приступають до знімання льоду з градирні. Для цього нагрівальні нікелінові дротини, що знаходяться в трубках, підключаються до електричної мережі 12. Трубки нагріваються, лід, що до них прилягає підтає, сталактити сповзають з трубок і падають вниз. Після цього їх розбивають на куски довжиною приблизно 1 м і діаметром 0,3...0,5 м.



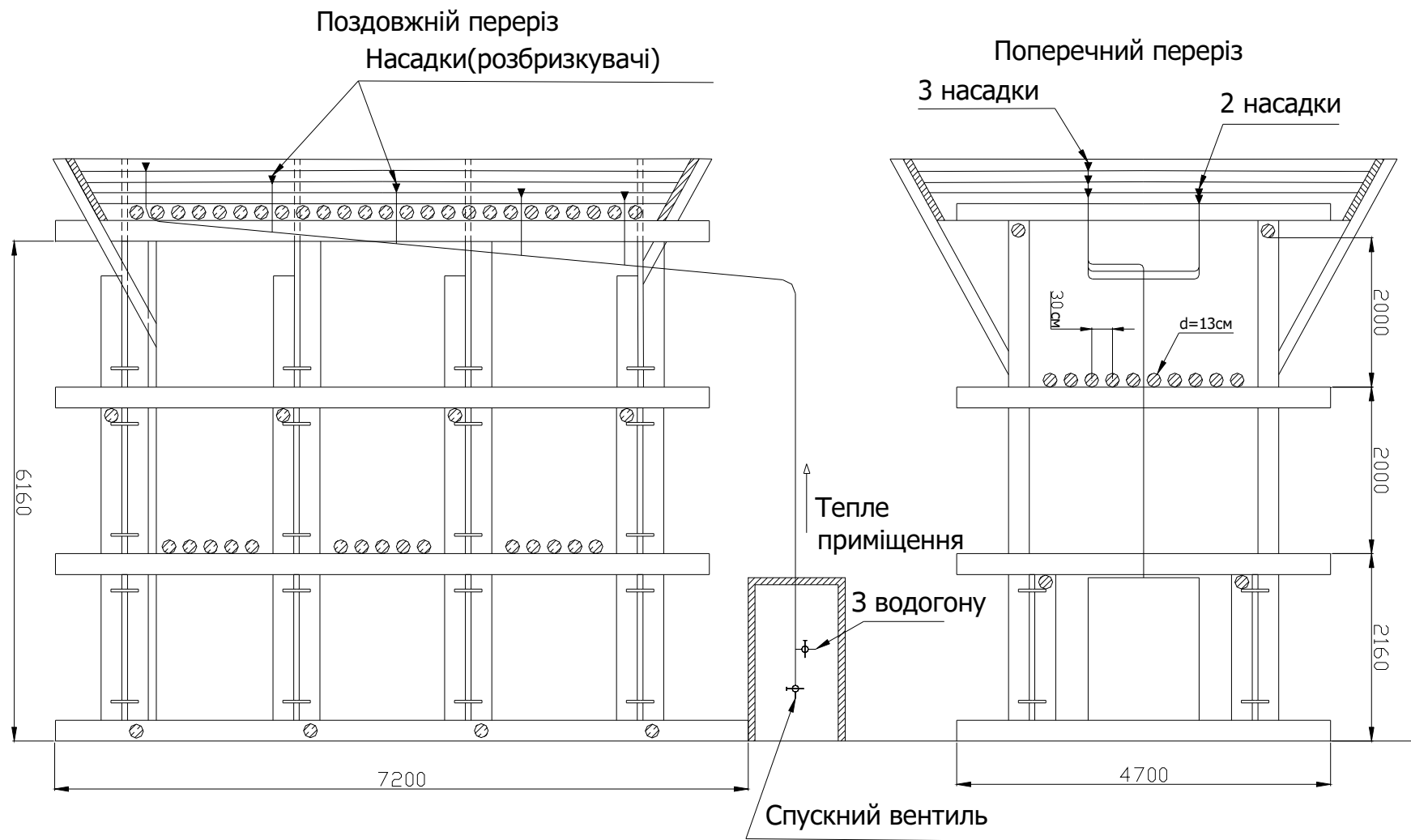


Рисунок 1.1 - Градирня-естакада

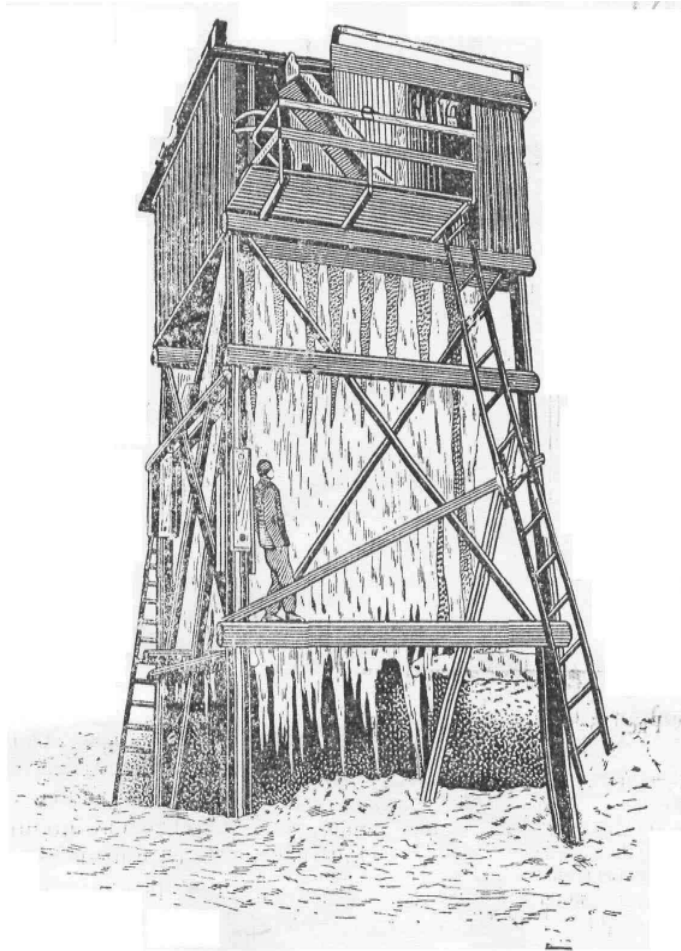


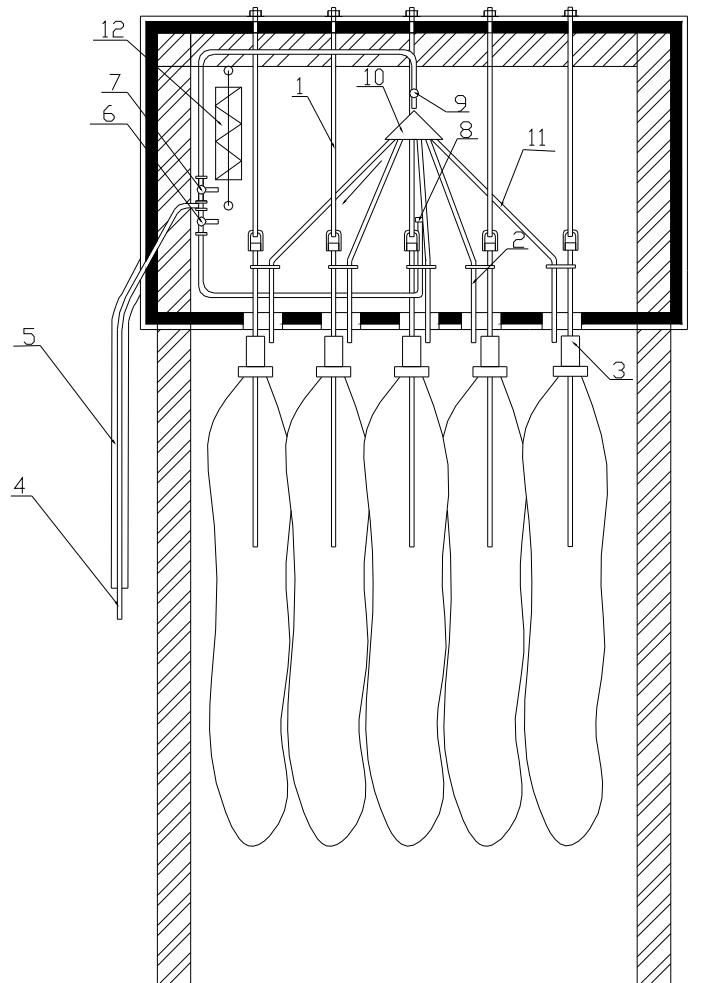
Рисунок 1.2 - Загальний вигляд градирні Клейменова

Весь процес знімання льоду триває не більше 2...3 хвилин. Включаючи всі електронагрівачі чи тільки деякі з них, лід за бажанням можна знімати відразу зі всіх трубок чи посекційно. Після закінчення процесу знімання льоду процес починається спочатку, тому подача води не припиняється впродовж усього заготівельного періоду.

Знімання льоду та регулювання подачі води можуть бути автоматизовані. В цьому випадку градирня не потребує постійного обслуговування та спостереження.

Лід, що знятий з градирні, складається у льодосховище. З 1 м<sup>2</sup> площі основи градирні впродовж сезону можна отримати біля 50...100 т льоду.

*Недоліком* такої системи формування льоду є складність рівномірної подачі води по периферії окремих труб із збільшенням діаметра сталактиту з льоду та неможливість виконання цієї операції при невеликій висоті від землі за браком висоти для розміщення сталактиту, що впав.



1-гаки; 2-металеві трубки; 3-воронка; 4- труба для подавання води; 5-ізоляція труби; 6, 7-колектори; 8-нижня форсунка; 9-верхня форсунка; 10-розподільовач; 11- гумовий шланг; 12- електронагрівальний пристрій

Рисунок 1.3 - Схема будови градирні Клейменова

Один з останніх запропонованих варіантів льодогенератора [7], що може бути елементом льодоградирні або використовуватись самостійно (в залежності від потрібної продуктивності) представляє собою циліндричну трубу, всередині якої обертається електродвигуном диск, що розподіляє воду по внутрішній поверхні труби. При цьому охолодження води йде тепловіддачею і теплопередачею при русі її в плівці по поверхні рухомого диска і вертикальної труби, а також тепловіддачею при русі води в краплях, які зриваються з диска. Труба встановлена вертикально і вода відривається від нижнього зрізу труби краплями, які при розташуванні труби в навколишньому середовищі перетворюються в бурульки. Необхідною умовою оптимального використання поверхні труби є повне змочування її поверхні плівкою рідини. Льодогенератор має систему підігріву труби для

видалення бурульок. Дослідження даного льодогенератора показали, що з периметра труби при довжині бурульок до 100мм можна одержати  $(0,6...0,75) \cdot 10^{-3}$  кг/(м·°C) льоду.

*Недоліком* такого способу є неможливість утворення плоскої стінки.

Існують конструкції з льоду та снігу для тимчасових приміщень та постійного проживання (іглу). Конструкції з льоду виготовляють з льодяних блоків або заморожуванням льоду шляхом розбризкування води на поверхню поліетилену під яким було стиснене повітря[8,9].

### **1.3 Використання теплоти кристалізації води у буферній зоні будівлі**

Відомі системи опалення з безпосереднім використанням теплоти доквілля у буферній зоні, а саме теплоти ґрунту, яка збирається водою, що тече по підземним трубам і використовується в теплообмінниках поверхневого типу, що розташовані всередині повітряного проміжку між стінами [1]. *Недоліком* такої системи є те, що температура ґрунту нижча 8 °C восени, а взимку складає біля 1...4 °C біля поверхні і тому не можна підняти температуру в повітряному проміжку при використанні поверхневих теплообмінників (радіаторів) вище -5...0 °C (потрібна різниця температур для теплопередачі). Щоб передати 10 кВт теплоти при коефіцієнті тепловіддачі 5 кВт/м<sup>2</sup>К (від стінки до повітря) і різниці температур 2 °C потрібно 1000 м<sup>2</sup>, а при 4 °C – 500 м<sup>2</sup> радіаторів, що є нереальним через капіталовкладення. Ентальпія води при низьких температурах незначна і необхідно прокачувати величезну масу води через радіатори.

Існує запатентована «Система опалення будинку І.І. Пухового» [2]. В системі реалізується спосіб опалення будівлі під час морозів, коли використовується два температурні рівні теплоносіїв. При цьому передбачено розташування установки охолоджувачів – кристалізаторів контактного або поверхневого типів в буферній зоні, що утворена пасивною системою сонячного опалення (засксленими поверхнями) та стіною будівлі. Використання теплоти кристалізації води зменшує в десятки разів витрати води в порівнянні з системами опалення, що використовують теплоту ґрунту. Пасивна система сонячного опалення також дозволяє вдень користуватись енергією Сонця.

Застосування низькопотенційної теплоти кристалізації води дозволяє підняти температуру в буферній зоні і завдяки цьому зменшити теплові втрати з житлової зони завдяки зменшенню різниці температур між житловою і буферною зонами. Пропонується використовувати переважно контактні теплообмінники, де вищі коефіцієнти тепловіддачі та поєднувати буферну зону з пасивною системою сонячного опалення.

*Недоліком* згаданої системи є те, що не завжди є можливість виконання стаціонарних буферних зон через використання прилеглої території ті з архітектурних і інших міркувань. З північної сторони пасивна система не може встановлюватися, тому буферною зоною там можуть бути лише приміщення, що опалюються теплотою доквілля. Крім того, видалення льоду з твердих елементів вимагає затрат часу та енергії.

Згаданий спосіб дозволяє отримати температуру в буферній зоні біля  $0^{\circ}\text{C}$  (від  $-2\dots-3^{\circ}\text{C}$  до  $+2\dots3^{\circ}\text{C}$ ) в залежності від температур доквілля.

Також відома корисна модель «Спосіб опалення і зменшення теплових втрат будівель льодяною стіною під час морозів з використанням холодної води.» [3]. Вона передбачає опалення будівель, у яких житлова зона опалюється традиційними теплоносіями, а буферна зона холодною водою з доквілля при використанні теплоти кристалізації води. Спосіб передбачає виконання огорожі буферної зони з льоду. Ця огорожа зрошується водою і на ній вода замерзає з виділенням теплоти кристалізації. Також вода додатково замерзає на нижній частині льодяної стіни в бурульках і решта води, що покидає бурульки, замерзає під підлогою буферної зони або за межами буферної зони. Для попередження танення льодяної стінки при подачі на неї води з позитивною температурою останню охолоджують до  $0^{\circ}\text{C}$  або переохолоджують до нижчої температури. Такий спосіб опалення дозволяє використовувати стіну з льоду як теплообмінник для проведення кристалізації води і не вимагає затрат на відокремлення льоду. Спосіб ефективний при розміщенні льодяних огорож на фасадах, куди не попадає пряме сонячне випромінювання взимку, або коли час прямого контакту льоду з сонячними променями обмежений.

Вночі, коли відсутнє сонячне випромінювання, в буферній зоні ПС (допоміжні приміщення з повністю чи наполовину прозорими стінами, повітряні проміжки в стінах) можуть бути від'ємні температури, що дозволяє використовувати теплоту кристалізації для підігрівання повітря в цій зоні. Так, наприклад, взимку в буферних зонах (БЗ) температура на  $6\dots10^{\circ}\text{C}$  вище ніж в доквіллі ( $t_a$ ), тому при  $t_a$  менше  $0^{\circ}\text{C}$  для підвищення температури в цій зоні можуть бути використані теплота ґрунту чи техногенні викиди з  $t_a$  менше  $30^{\circ}\text{C}$ , а при  $t_a$  менше  $-10^{\circ}\text{C}$  з'являється можливість застосування систем підігрівання повітря теплотою кристалізації з метою опалення БЗ [4,5].

Було зафіксовано, що вода, що стікає з форсунок по льодяній стіні не встигає повністю на ній замерзнути. Було прийняте рішення вставити металевий лист на початку льодяної стіни. Вода, стікаючи по металевому листі, охолоджується і потрапляє на стіну з температурою більш прийнятною для наморожування.

Відбувається швидке наморожування бурульок на кінці льодяної стіни і вода або перетворюється у бурульку, або стікає у піддон. Було вирішено використати бурульки і незамерзлу воду для підігрівання підлоги.

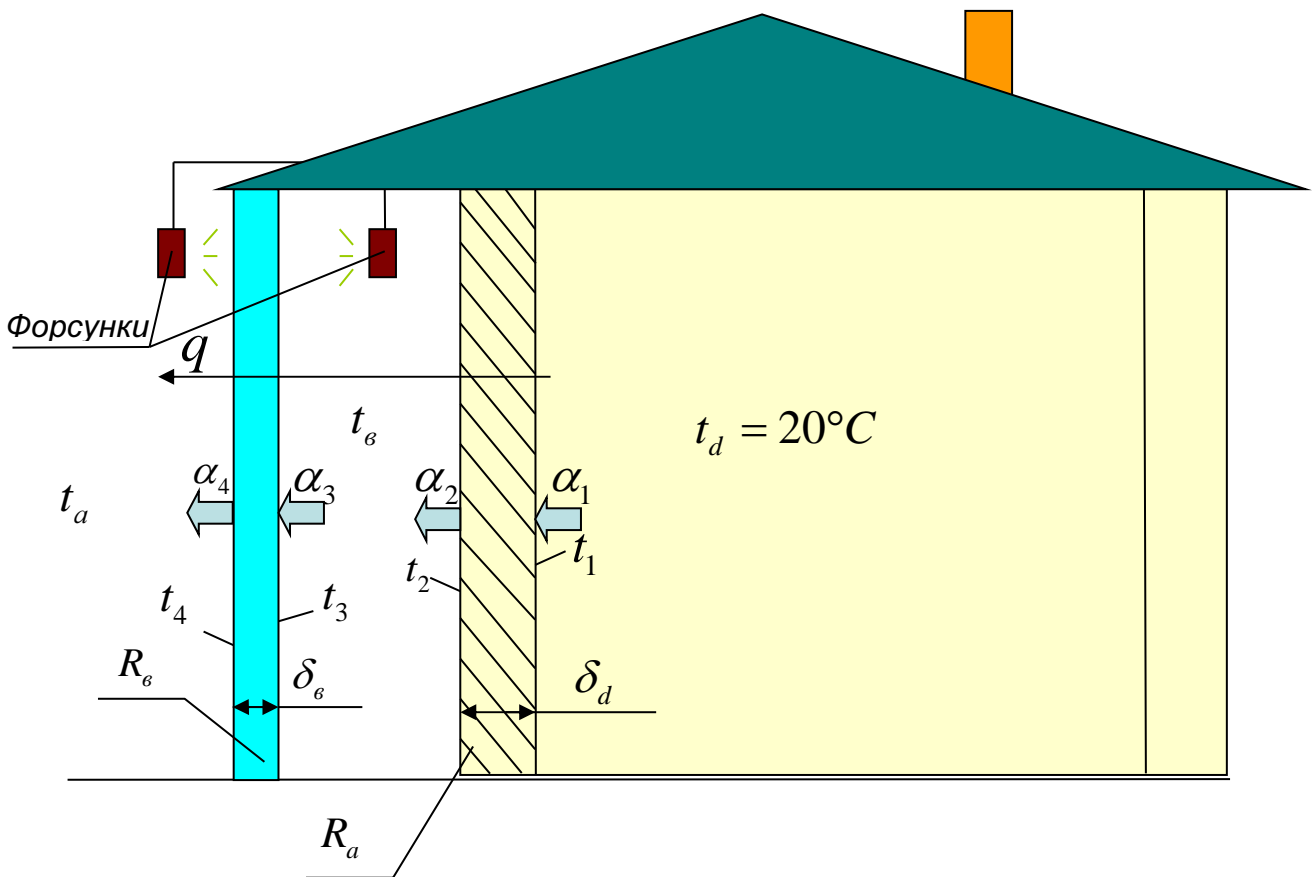


Рисунок 1.4 - Крижана стіна на північному фасаді будинку

#### 1.4 Пасивні системи з використанням системи типу заклена лоджія

Проблема ресурсозбереження є актуальною на сьогодні для України, як і для усього світу. Вона пов'язана з обмеженістю енергоресурсів, економічними проблемами і її найважливішим екологічним аспектом. У нашій країні спостерігається високий рівень енергоспоживання при низькому рівні промисловості. Системи опалення є одним із основних споживачів енергії. Зменшення енергоспоживання повинно йти шляхом раціонального використання вторинних і поновлюваних джерел. Одним із найбільш розповсюджених потужних поновлюваних енергоресурсів є сонячна енергія. Але на більшості території України (крім південних регіонів) у холодний період року спостерігається тривала хмарна погода, тому не варто досягати повного енергопостачання

будинку лише сонячною енергією, так як це потребує великих капітальних затрат. Тому альтернативою є поєднання традиційних джерел з відновлювальними.

Найкращим вирішенням проблеми є пасивні системи, які є частиною архітектурного рішення будинку.

Пасивні системи опалення поділяються на відкриті (вікна) та закриті (лоджії, балкони, засклені веранди, буферні зони біля стіни Тромба-Мішеля і тд.)

Відомо дослідження Пухового І.І.[6], де для визначення температурних режимів використовувалася квартира в м.Києві з ПС у вигляді заскленій лоджії, виходить точно на південь. Квартира розташована на 9 поверсі дев'ятиповерхівки будівлі. Сусідні лоджії також засклені, дерев'яна підлога лоджії встановлена з повітряним зазором поверх залізобетонної плити. Над квартирою і лоджією є горищний поверх. Можна вважати, що теплові втрати ПС відбуваються в основному через огорожі ПС, паралельні стіні житлової зони (будинку), яка відступає на 1,2 м від огорожі ПС. Простір між огорожами ми називаємо буферною зоною.

Зовнішні огорожі цієї зони виконані з дерев'яних рам з одинарним застеленням висотою 1,75 м, встановлених вище підвіконня, віддаленого від підлоги на 1 м. Нижче підвіконня між асбоцементним зовнішнім листом і дерев'яним облицюванням товщиною 0,02 м встановлена теплоізоляція з пінопласту завтовшки 0,03 м. Термічний опір теплопровідності цього огороження (середнє)  $R_{\lambda}^e = 0,10(\text{м}^2 \cdot \text{К}) / \text{Вт}$ . При  $\alpha_3 = 4 \text{Вт} / (\text{м}^2 \cdot \text{К})$

и  $\alpha_3 = 13 \text{Вт} / (\text{м}^2 \cdot \text{К})$  (нумерація  $\alpha$  прийнята по ходу теплового потоку з житлової зони)

повний термічний опір  $R_a = 0,405(\text{м}^2 \cdot \text{К}) / \text{Вт}$  або коефіцієнта теплопередачі

$K = 2,47 \text{Вт} / (\text{м}^2 \cdot \text{К})$ , що відповідає опору вікна з здвоєним застеленням. Площа скла  $5 \text{ м}^2$ , дерев'яних рам  $3 \text{ м}^2$ , підвіконного простору та інших елементів  $4,6 \text{ м}^2$ .

Інфільтрація в буферну зону залежить від напрямку вітру, який при адіабатному гальмуванні підвищує тиск перед огороженням, і від навколишніх температур, з підвищенням яких вона підвищується. Для виключення впливу інфільтрації досліду проводилися при відсутності вітру з південних напрямлень.

Житлова зона примикає до ПС, включає з себе кухню  $11 \text{ м}^2$  і житлову кімнату  $21 \text{ м}^2$ . Ці приміщення межують з коридором і кімнатою з північного фасаду. Досліджувались температурні режими в житловій кімнаті, так як в ній відсутні внутрішні тепловиділення. Підвіконний простір висотою  $0,75 \text{ м}$  виконано з цегли товщиною  $0,53 \text{ м}$ . Вище нього розташовані рами висотою  $1,75 \text{ м}$  з застеленням площею  $4 \text{ м}^2$ . Правіше двері балкону

знаходиться стіна з цегли шириною 0,5 м. Розраховане значення опору теплопровідності огороження житлової зони з урахуванням повітряного прошарку між подвоєними рамами лежить в межах  $R_d^L=0,33-0,40(\text{m}^2\cdot\text{K})/\text{Вт}$ .

Повний термічний опір огороження житлової зони при  $\alpha_1=\alpha_2=\alpha$ .

При  $\alpha=3$  воно дорівнює  $1,0-1,1(\text{m}^2\text{K})/\text{Вт}$ .

Розраховані результати показали, що для вересня, жовтня, березня і квітня змінюються від 70 до 90 Вт/м<sup>2</sup>, для листопада і грудня – 10-15 Вт/м<sup>2</sup>, для січня і лютого – 20-35 Вт/м<sup>2</sup>.

У листопаді-лютому частина сонячних променів проникає в житлове приміщення і повітря нагрівається не тільки в буферній зоні, а і в житловій через низьке положення Сонця. Розрахунок цього фактору важкий і потребує рішення. Для міських ПС можна приймати середньодобову температуру  $t_b \text{ ПС}=14-18 \text{ C}$  в осінньо-весняні місяці опалювального сезону (за виключенням листопаду) і  $+8-12 \text{ C}$  для зимових місяців. Ефективність системи ПС буде змінюватися від 1,2 в зимові місяці і в листопаді, і до 2 у весінньо-осінні місяці. Це означає, що втрати теплоти через фасад з ПС зменшаться у вказану кількість разів без врахування додаткового термічного опору. Враховуючи, що міські квартири між першим і останнім поверхами мають не більше двох зовнішніх огорожень майже однакової площі, з яких одне обладнане ПС, то тепловтрати зможуться в 1,6 разів. Це становить 32 % економії енергії в відповідності з розрахунком. Господарям квартир або всьому будинку, який має ПС ти «засклена веранда» на всьому південному фасаді, слід понижати оплату за ЦО в 1,25 – 1,4 рази. У квартирах першого і останнього поверхів теплові втрати підвищуються через зовнішні огороження підлоги і стелі, тому цю частину втрат слід розділити між проміжними квартирами.

Також відоме дослідження «Сонячне опалення типу «Стіна Тромба-Мішеля» з розширеною буферною зоною і прозорою стелею при роботі без традиційного опалення реального будинку».

Де ПС виготовлена при південно-західній стіні будинку з попередньо передбаченими для РСТМ отворами, що забезпечуватимуть циркуляцію повітря між буферною зоною ПС та кімнатою з цього будинку, яка розташована на 1 поверсі і всередині має масивну грубу типа „лежанка”. Зовнішня цегляна стіна кімнати, яка виходить на південно-західну сторону була запроектована спеціально під пасивну систему типу стіна Тромба-Мішеля. У стіні наявні 5 отворів: три у верхній і два - нижній частинах, де також передбачені засувки, які зачиняються на нічний період в холодну пору і від перегрівання



приміщення влітку. Менша кількість отворів внизу обумовлена більшою густиною холоднішого повітря.

Вимірювання проводились з 11-тої години дня, коли сонце починало потрапляти на скло. В кінці квітня і в травні значна частина сонячної енергії потрапляє через прозорий дах БЗ. Двері установки при цьому були зачинені, аби нагріте повітря не виходило, отвори у стіні також закриті. Після першого виміру температури в герметичній буферній зоні – засувки у отворах відкривались, і повітря починало циркулювати, виходячи холодним з нижніх отворів і заходячи теплим до верхніх отворів в кімнату. Показники температур знімались через деякі проміжки часу доки на скло потрапляло сонячне проміння (навпроти фасаду з ПС виникає затінення з 16 -18 години в залежності від висоти Сонця через наявність гори навпроти і дерев на ній. Виміри проводились при чистому небі у квітні та травні, коли ще вимагається підігрівання повітря в кімнаті. Відомо, що для котеджних будівель опалювальний сезон продовжується на 15 – 30 днів в порівнянні з багатоповерховими міськими будівлями, де більші внутрішні тепловиділення в квартирах, менша поверхня зовнішніх стін (в 3-4 рази) та вища температура повітря в місті на 2-4 оС.

Найбільший інтерес представляють температури повітря у верхніх і нижніх отворах, від яких залежить інтенсивність циркуляції повітря природним шляхом за рахунок різниці густини і висоти. Крім того, важливими є температури всередині буферної зони, кімнати та атмосфери. Зміна згаданих температур протягом часу роботи РСТМ 16 квітня показана на рис.1. Як видно, температура в усіх точках поступово зростає з плином часу, до певного моменту. При перпендикулярному розміщенні Сонця по відношенню до стіни біля 14:20 температури мають пікове значення, як це помітно в усіх кривих на графіку крім зовнішньої температури. Найбільше зростання температур помітно у верхньому отворі – до 26 С, оскільки за години сонячної активності, тепле розігріте повітря підіймається вгору і енергія акумулюється в стіні. В процесі вимірювання з нижніх отворів відчувається сильний струмінь потоку холодного повітря із кімнати в буферну зону. За час роботи РСТМ повітря в кімнаті нагрілося лише на 3 градуси. Враховуючи, що всі огорожі і предмети в кімнаті були холодними. Таким чином для виходу на комфортний режим опалення від РСТМ потрібно декілька днів.

### 1.5 Висновки до розділу.

На основі огляду джерел отримані наступні висновки:

1. На сьогоднішній день велика увага приділяється нетрадиційним джерелам енергії.
2. Незважаючи на те, що лід – це екологічно чисте і відновлювальне джерело, з аналізу видно, що на території України та багатьох європейських країн до цього не проводились дослідження та детальне вивчення стосовно льодяної стіни та використання теплоти кристалізації води у буферній зоні.
3. Відомим способом використання у буферній зоні теплоти кристалізації води є запатентована «Система опалення будинку І.І. Пухового». Дана система передбачає лише встановлення стаціонарних буферних зон, а з північної сторони пасивна система не може встановлюватися, тому буферною зоною там можуть бути лише приміщення, що опалюються теплою дошкилля. До того ж, видалення льоду з твердих елементів вимагає затрат часу та енергії.

Після проведення аналізу огляду джерел були поставлені наступні задачі:

1. Провести аналітичні розрахунки та дослідження по використанню теплоти кристалізації води у буферній зоні, утвореної багатошаровою льодяною огорожею для зменшення теплових втрат через зовнішні обгородження будівлі.
2. Експериментально перевірити можливість встановлення багатошарової льодяної стіни, уточнити конструкцію.
3. Запатентувати отримані технічні рішення.

## 2 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ СТІЙКОСТІ ЛЬОДЯНОЇ СТІНИ

### 2.1 Розробка патенту на корисну модель

Спосіб відноситься до систем опалення будівель з використанням буферної зони, для утворення постійних і тимчасових льодяних легких споруд для перебування людей і техніки, для захисту від вітру.

Відомий патент «Спосіб опалення будівель зі створенням буферної зони навколо них» (UA 65910 МПК F24D 15/00, опубл. 26.12.2011.). Відомий спосіб включає опалення будівель із використанням теплоти кристалізації води.

Недоліком його є те, що вода повністю не замерзає на льодяній стінці і стікає в буферну зону або назовні.

Найбільш близьким до заявляємої корисної моделі є патент України № 97202 «Спосіб утворення льодяної стіни в холодному повітрі, F24D 15/00, E 04d 11/04 опубл. 10.03.2015 р. , що включає процеси охолодження розпиленої форсунками води та замерзання води на твердій поверхні.

Недоліком указанного способу є те, що льодяна стіна передає значну кількість теплоти у довкілля через високу теплопровідність льоду.

Задачею корисної моделі є удосконалення теплопередачі і витрати води шляхом підігрівання морозного повітря в приміщеннях чи буферних зонах.

Поставлена задача вирішується тим, що процеси охолодження і замерзання води проводять при гравітаційному русі плівки води, отриманої з форсунок, на вертикальних чи нахилених елементах у вигляді підвішених шнурів, пластин, стержнів чи сіток протягом часу, необхідного для зростання льоду між собою на сусідніх елементах.

Новим є те, що елементи розміщують лінійними чи криволінійними еквідистантними рядами з утворенням льодяних поверхонь і повітряних прошарків, які герметизують у верхній і нижній частинах стіни.

Новим є те, що сусідні ряди виготовляють подвійними, шляхом прикріплення елементів по обидва боки горизонтальних перекладин, розташованих у верхній частині стіни. Формування стіни розпочинають з рядів, які розташовані в сторону опалювальних приміщень.

Новим також є те, що створюють основу відповідної форми (прямолінійну чи криволінійну), яка розташована на необхідній висоті.

До основи приєднують елементи у вигляді шнурів (дротів або рейок). Елементи (шнури) зрошують водою починаючи з ряду, який знаходиться ближче до опалювальних

приміщень, зрошують послідовно елементи сусідніх рядів шнурів в сторону навколишнього середовища. Зрошення проводять протягом часу, необхідного для отримання заданої товщини льоду. Отвори, які можуть утворитися у багатошаровій стінці, герметизують, наприклад, піною або іншими теплоізолюючими матеріалами. При використанні шнурів чи сіток зручно закріпити їх по бокам перекладин.

## 2.2 Розрахунки термічних опорів та теплопередачі багатошарової льодяної стіни

Так як стінка є багатошаровою, було проведено розрахунок залежності значення коефіцієнту теплопровідності від товщини льодяної пластини і кількості пластин. Одержані значення можна виразити графіком:

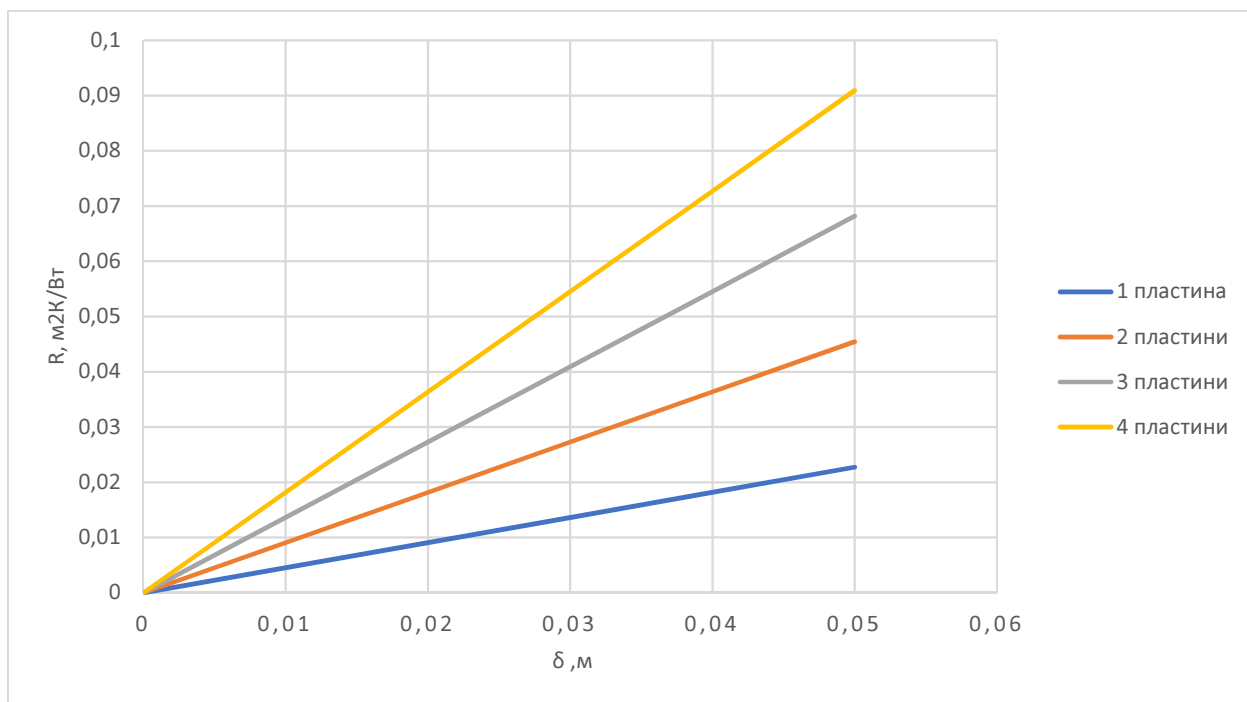


Рисунок 2.1 - Залежність значення коефіцієнту теплопровідності від товщини льодяної пластини і кількості пластин

Тоді загальний термічний опір в залежності опору від  $\alpha$  зовнішнього показано на рисунку 2.2

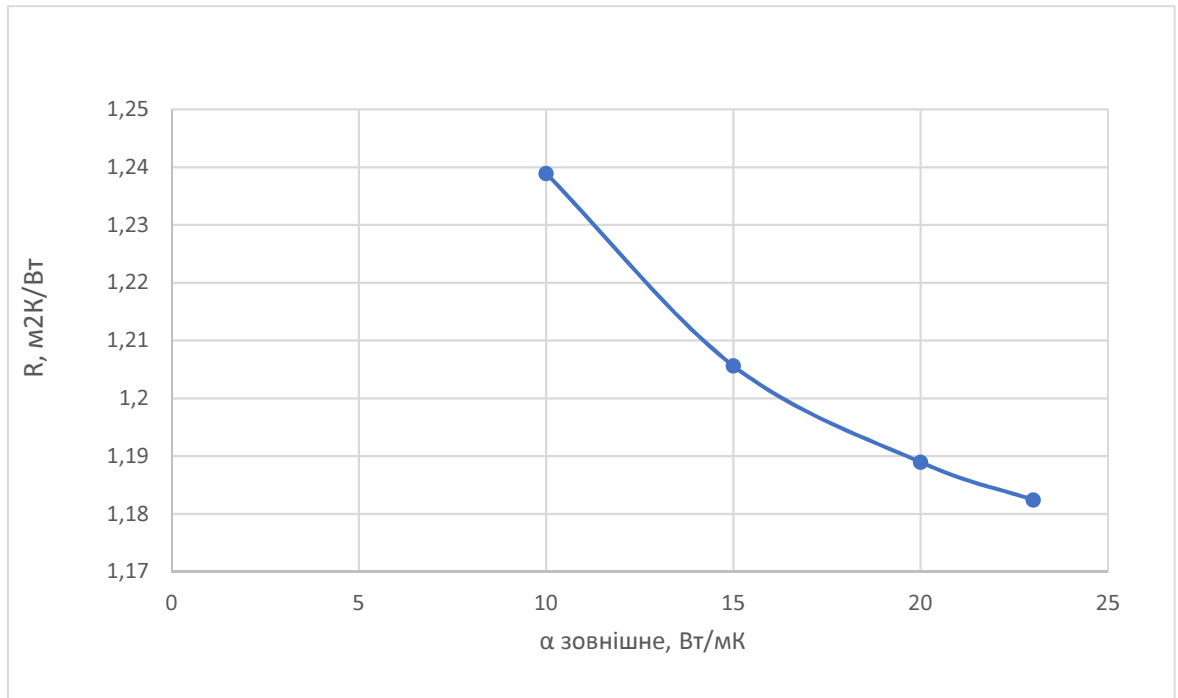


Рисунок 2.2 - Залежність загального теормічного опору від  $\alpha$  зовнішнього

І було проведено розрахунок залежності температури в буферній зоні від температури навколишнього середовища

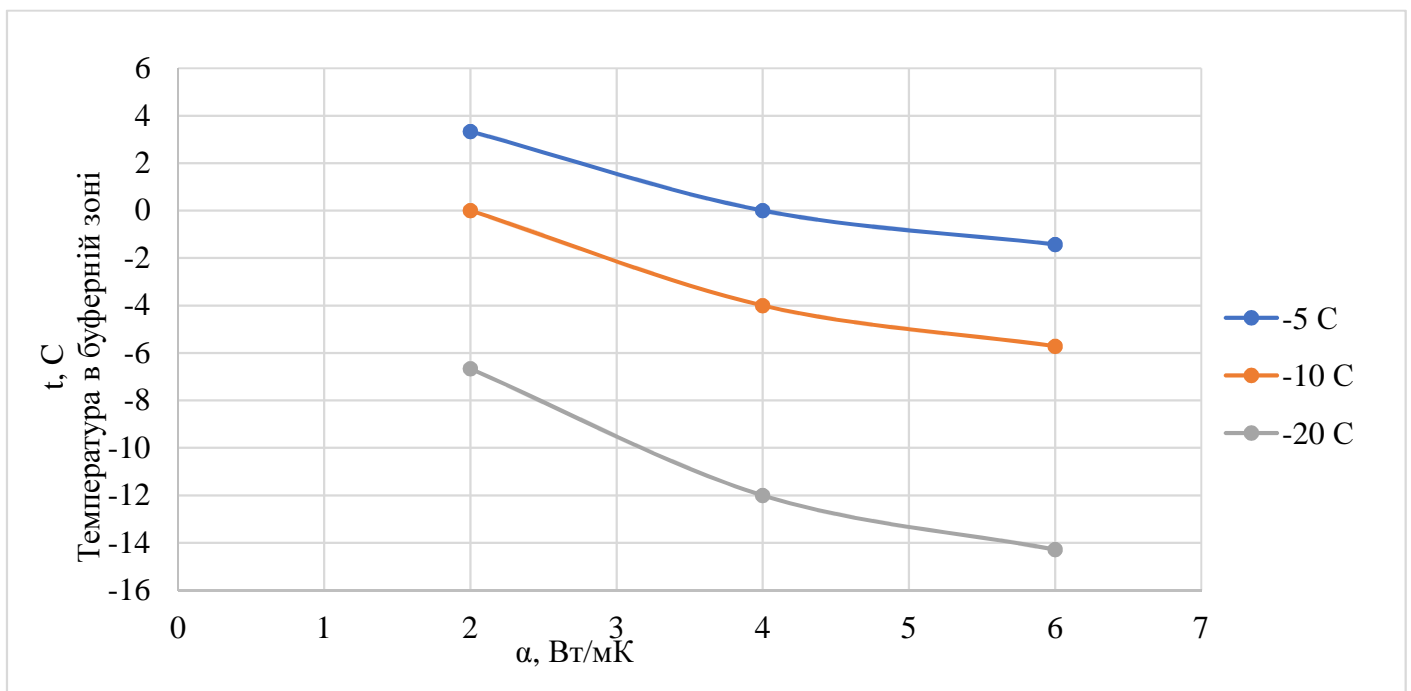


Рисунок 2.3 - Залежність температури в буферній зоні від температури навколишнього середовища

## 2.3 Проведення експериментальних досліджень

З метою експериментальної перевірки було вирішено побудувати дві конструкції з льоду.

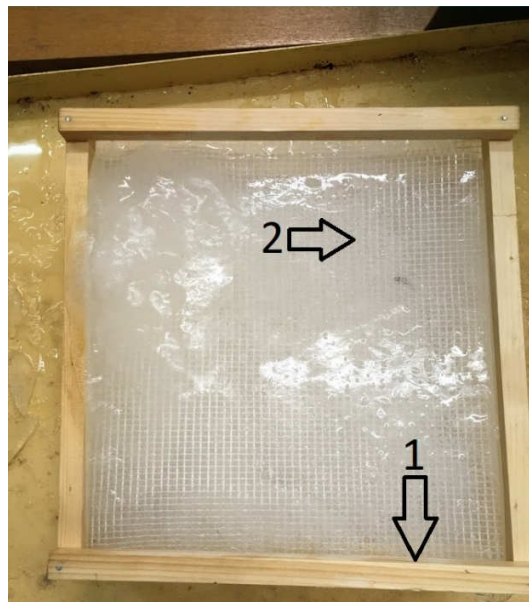
Експеримент було проведено з 6 по 15 лютого поточного року у 516 аудиторії 5 корпусу НТУУ «КПІ імені Ігоря Сікорського». Для експерименту було використане вікно з одинарною і подвійною рамами. Були проведені такі роботи:

- ✓ заготівля форми для льодяної стіни;
- ✓ з'єднання каркасу з льодяними пластинами і поєднання пластин між собою;
- ✓ Приєднання конструкцій до вікна та їх встановлення;
- ✓ дослідження льодяної стіни;
- ✓ виявлення явищ та по можливості усунення недоліків,
- ✓ аналіз експериментальної установки.

### 2.3.1 Заготівля форми для льодяної стіни

Експеримент розпочався 6 лютого близько 16-ї години. Для експерименту вибрано південно-західний фасад корпусу, куди через розташовану навпроти будівлю взимку не попадають сонячні промені.

Заздалегідь було заморожено на дерев'яних каркасах три льодяні пластини квадратної форми (рис.1) Для того, щоб лід тримав форму було використано тоненьку сітку.



1 – дерев'яний каркас

2 – сітка

Рисунок 2.4 - Льодяна пластина на дерев'яному каркасі

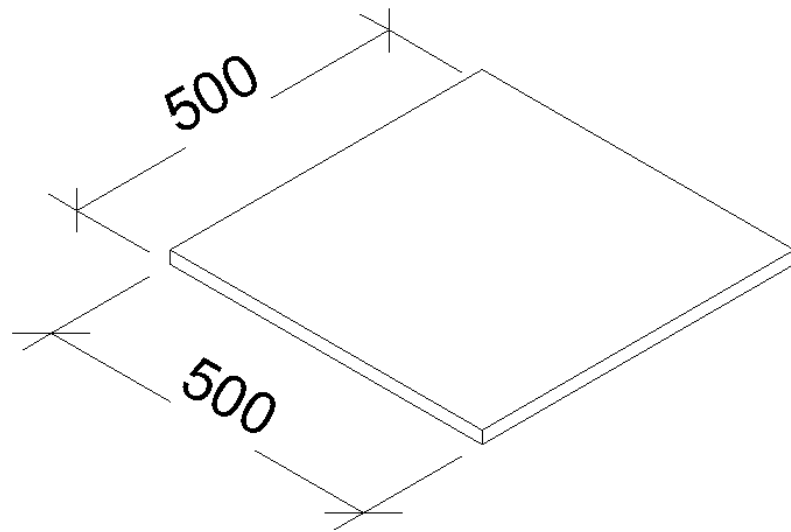


Рисунок 2.5 - Розміри льодяної пластини

Потім було зроблено дві каркасні опори (Рисунок 2.3 і 2.4) для того, щоб поєднати дві льодяні пластини між собою. Каркасні опори були сконструйовані з дерев'яних рам і м'якого паролону, який було скотчем прикріплено до рам.

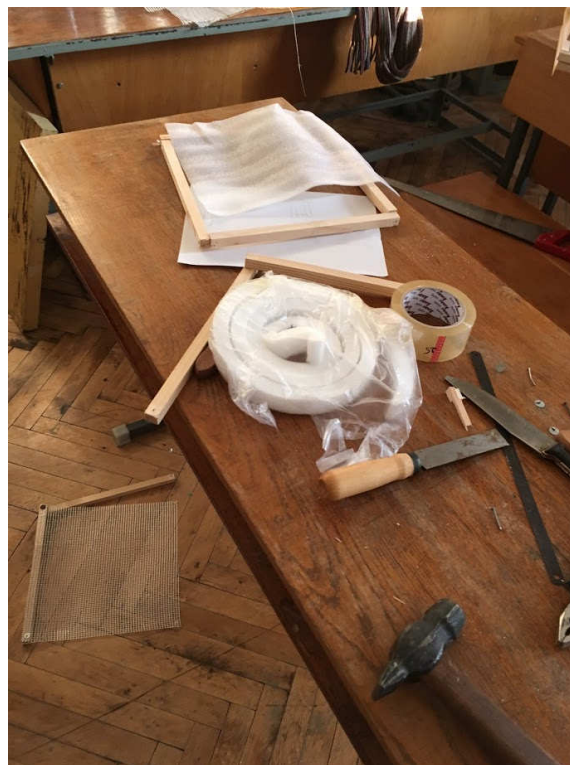


Рисунок 2.6 - Підготовка каркасів



Рисунок 2.7 - Рама в паралоні

### 2.3.2 З'єднання каркасу з льодяними пластинами і поєднання пластин між собою

За допомогою скотчу було поєднано дві пластини між собою так, щоб між ними залишався проміжок  $\delta=20\text{мм}$ .

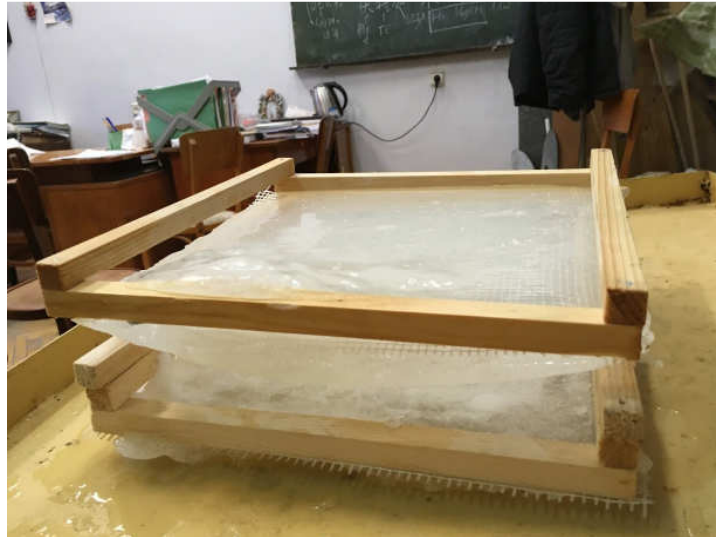


Рисунок 2.8 - Дві льодяні пластини без повітряного проміжку





Рисунок 2.9 - Льодяна пластина у каркасі з картону



Рисунок 2.10 - Льодяні пластини з каркасом у паралоні.



Рисунок 2.11 - Конструкція у повний розмір.

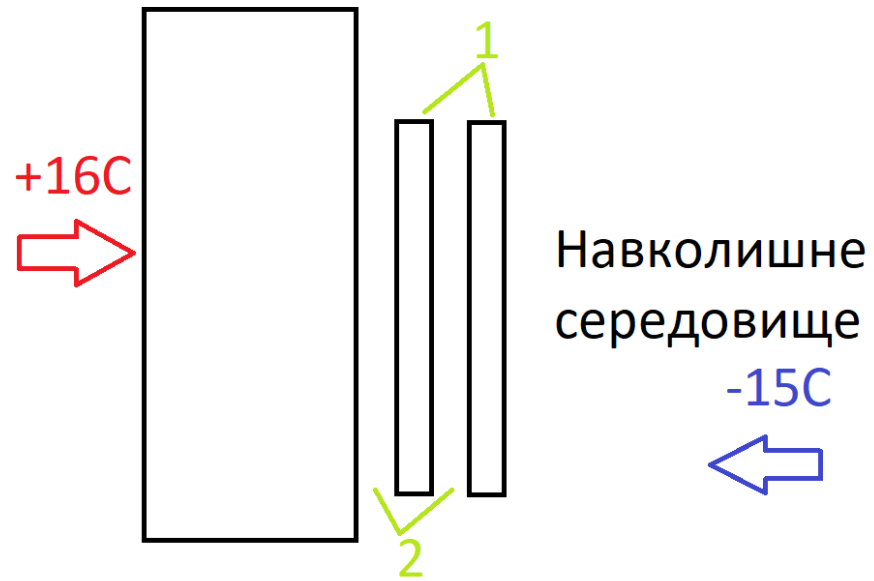
### 2.3.3 Приєднання конструкцій до вікна та їх встановлення.

За допомогою скотчу було прикріплено конструкції, однієї льодяної пластини до одинарного вікна (Рисунок 3.9).



Рисунок 2.12 - Одинарна льодяна пластина

На склі, з подвійною рамою, була встановлена конструкція з двох льодяних пластин.



1 – льодяні пластини

2 – повітряні прошарки

Рисунок 2.13 - Схематичне зображення конструкції на вікні з подвійним застлінням



Рисунок 2.14 - Конструкція на вікні



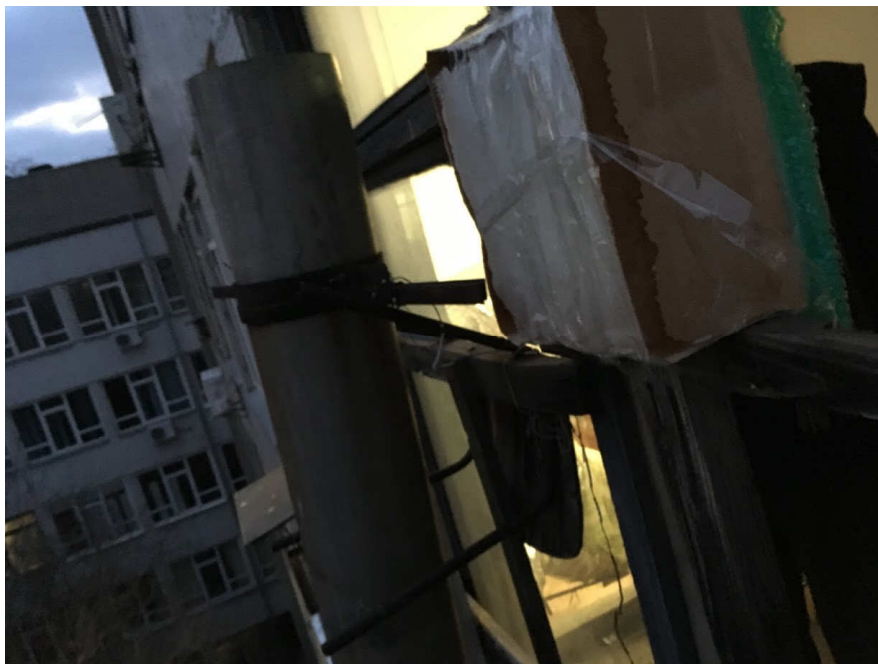


Рисунок 2.16 - Конструкція на вікні

#### 2.3.4 Дослідження льодяної стіни.

15 лютого по закінченню досліду було виявлено, що на склі з одинарним зашкленням льодяна пластина повністю розтанула.



Рисунок 2.17 - Пластина на одинарному зашкленні

А конструкція з двох льодяних пластин майже не розтанула.



Рисунок 2.18 - Подвійна льодяна конструкція





Рисунок 2.19 - Подвійна льодяна конструкція



Рисунок 2.20 - Подвійна льодяна конструкція



## 2.4 Висновки до розділу

1. Зі збільшенням товщини стінки з льоду зменшуються теплові втрати і тим самим зменшується значення теплового потоку і збільшується повний термічний опір крижаної стінки.

2. Температура повітря в буферній зоні зменшується при зменшенні температури навколишнього середовища.

3. При термічних опорах житлової стіни менше 1 економія теплоти не відбувається.

4. Такі льодяні конструкції, які будуть складатися з декількох пластин льоду можна використовувати в країнах з холодним кліматом, так як це вигідно з економічної точки зору.

## **3 МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ В ПРОГРАМНОМУ ЗАБЕЗПЕЧЕННІ SOLIDWORKS**

### **3.1 Вихідна модель для розрахунку**

Моделювання процесу теплопровідності на окремих дослідних ділянках дозволяє отримувати результати, які можуть значно відрізнятись від результатів отриманих на реальній льодяній стіні.

З метою проведення дослідів застосовується математичне моделювання в програмі SolidWorks.

Отримані результати ми порівняли з теоретичними. В якості матеріалів можна використовувати будь-які та задавати і змінювати їх теплофізичні параметри для експериментів. Таке дослідження дає змогу отримати розподіл температур по стіні, склу, повітряним прошаркам і льодяним пластинам.

### **3.2 Постановка задачі**

*Ціль роботи:* отримати розподіл температури на стіні та льодяних пластинах.

Задачі, які необхідно вирішити:

- 1) Розробити 5 моделей, які відрізняються між собою товщиною стіни. Показати розподіл температури з урахуванням 50 мм ізоляції.
- 2) Знайти ту температуру навколишнього середовища, при якій температура біля льодяної пластини буде менше  $0\text{ C}^{\circ}$ .
- 3) Проаналізувати адекватність побудованих моделей порівнявши отримані результати з результатами аналітичних розрахунків.

Для вирішення завдання поставленого вище виконати наступні кроки:

- 1) Будуємо модель зразка для дослідження.
- 2) Задаємо початкові і граничні умови для моделювання процесу теплопровідності в зразку.
- 3) За допомогою функції «Картинка в сечениі» отримати графічне відображення розподілу температур.

### **3.3 Геометричне моделювання**

Для спрощення розрахунків та економії часу було змодельовано наступні вихідні дані:

- 1) Стіни, висотою  $h=3000\text{мм}$ , довжиною  $h=3000\text{мм}$ , товщиною  $\delta=500\text{мм}$ ,  $\delta=750\text{ мм}$ ;
- 2) Скло, висотою  $h=3000\text{мм}$ , довжиною  $h=3000\text{мм}$ , товщиною  $\delta=4\text{мм}$ ;
- 3) Крижані пластини, висотою  $h=3000\text{мм}$ , довжиною  $h=3000\text{мм}$ , товщиною  $\delta=20\text{мм}$ ;

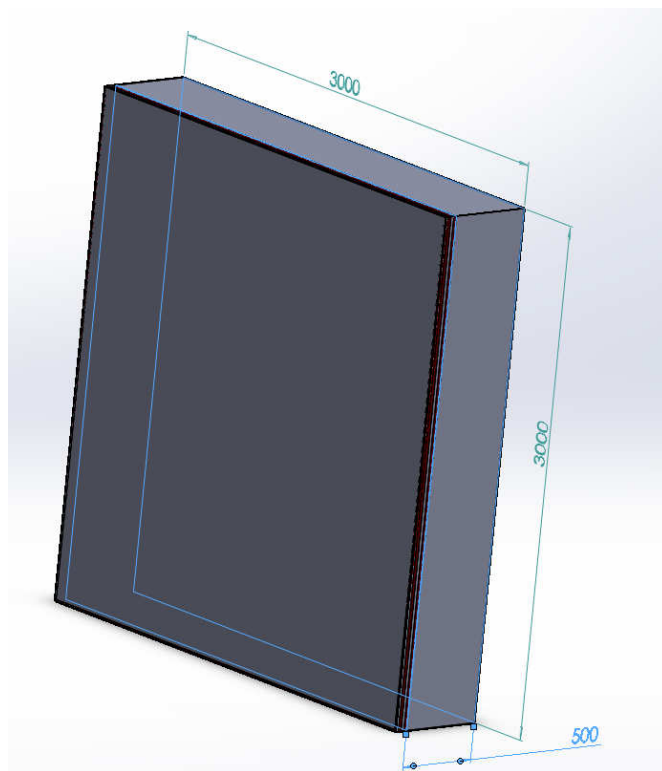


Рисунок 3.1 - Модель з двома льодяними пластинами і стіною товщиною  $\delta=500\text{мм}$

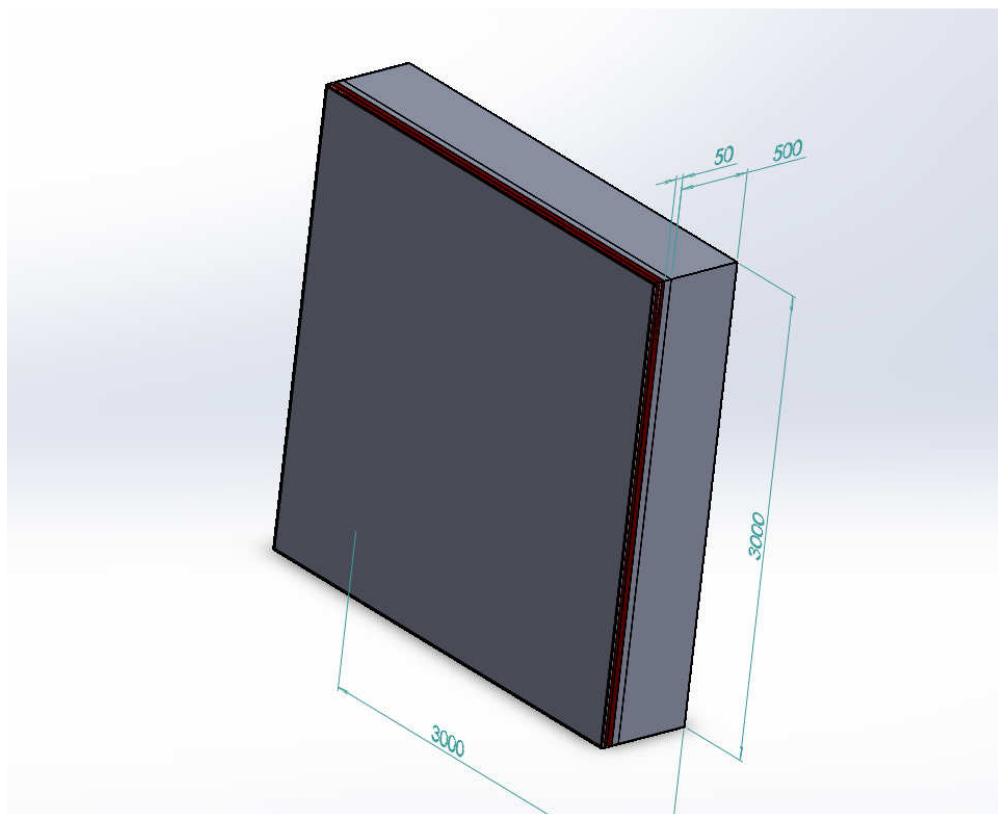


Рисунок 3.2 - Модель з двома льодяними пластинами, ізоляцією  $\delta=50\text{мм}$  і стіною товщиною  $\delta=500\text{мм}$

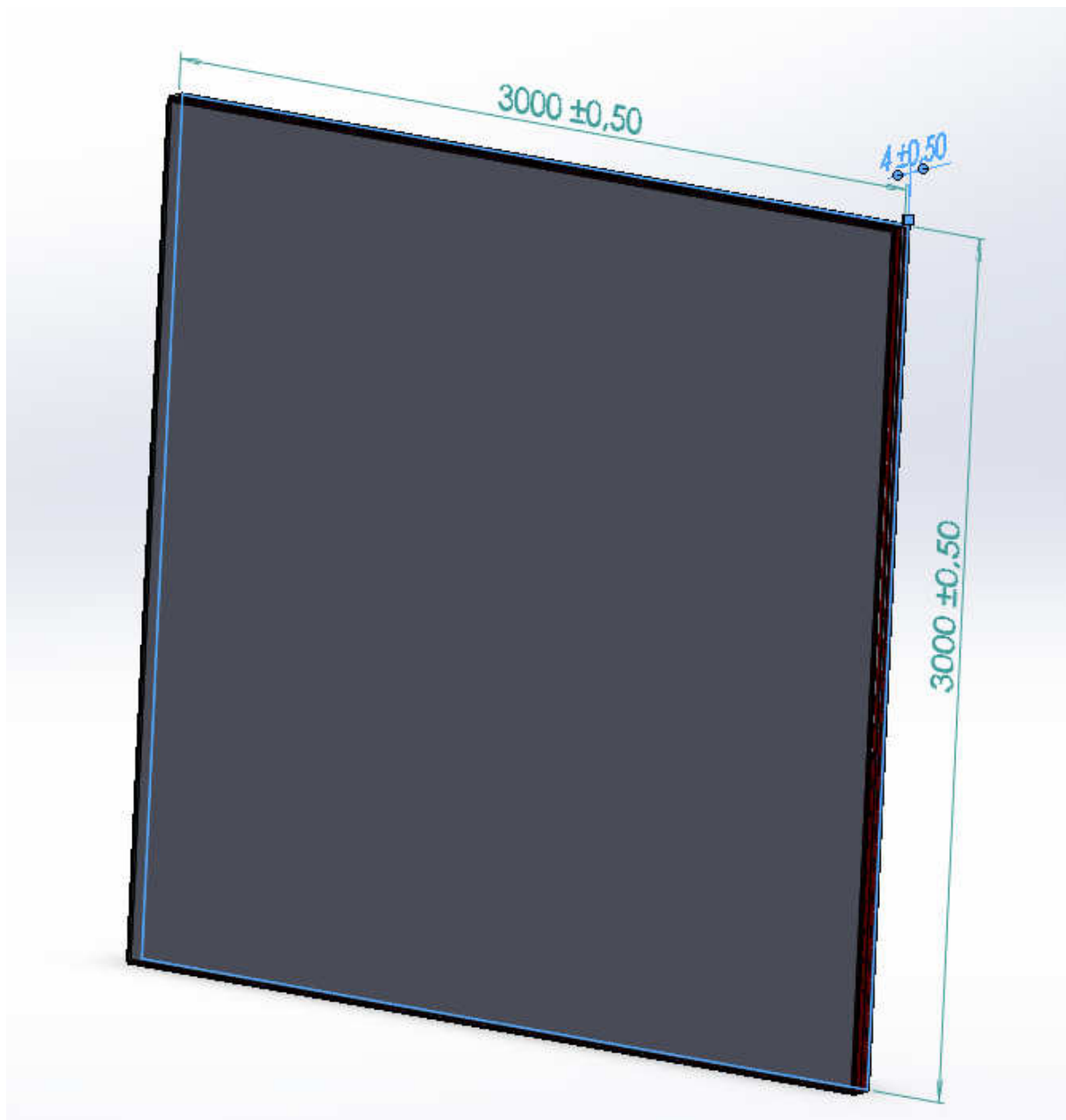


Рисунок 3.3 - Модель з двома льодяними пластинами і склом товщиною  $\delta=4$  мм

### 3.4 Моделювання та дослідження

А) Задано параметри:

Температура навколишнього середовища: -15 С

Температура в приміщенні: 16 С

Товщина стіни :  $\delta=500\text{мм}$

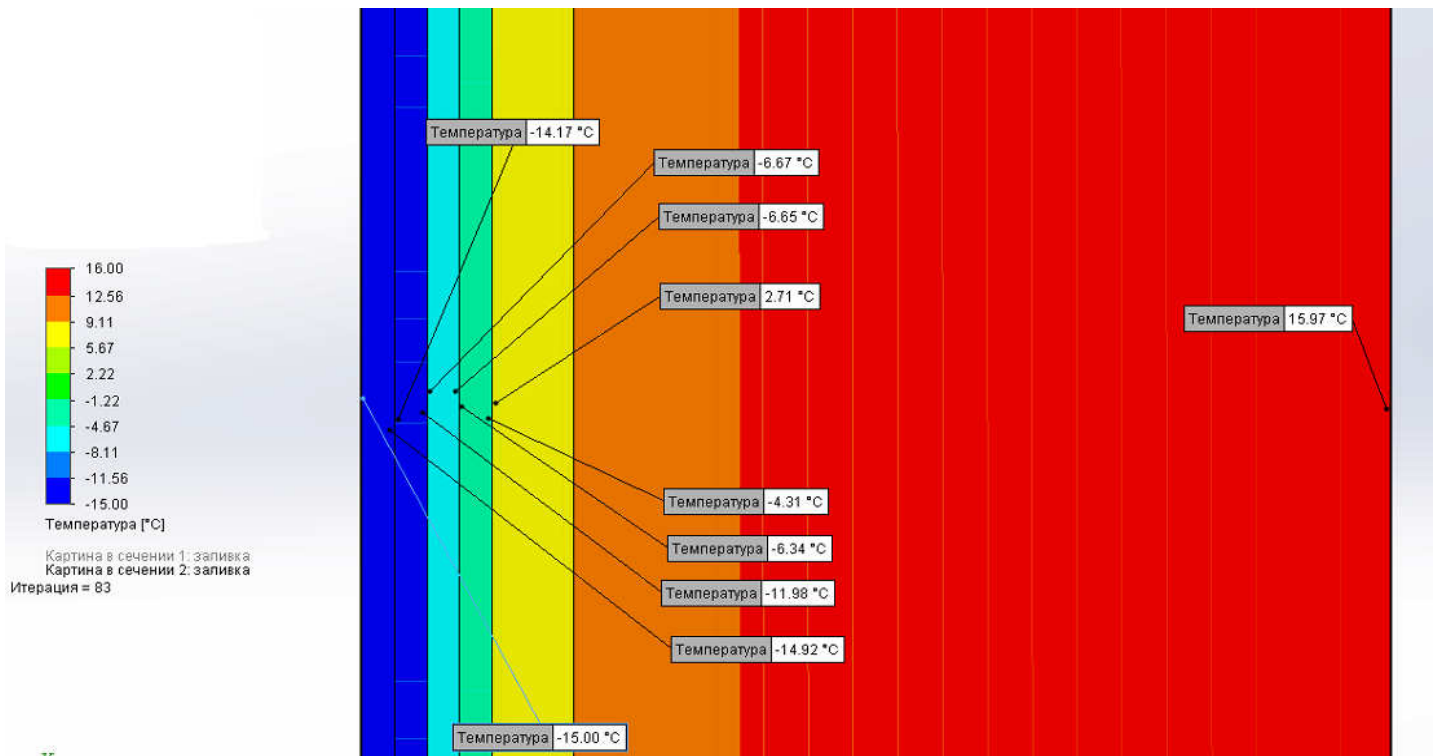


Рисунок 3.4 - Розподіл температури між льодяними пластинами і стіною товщиною  $\delta=500\text{мм}$

Б) Задано параметри:

Температура навколишнього середовища: -15 С

Температура в приміщенні: 16 С

Товщина стіни :  $\delta=750\text{мм}$

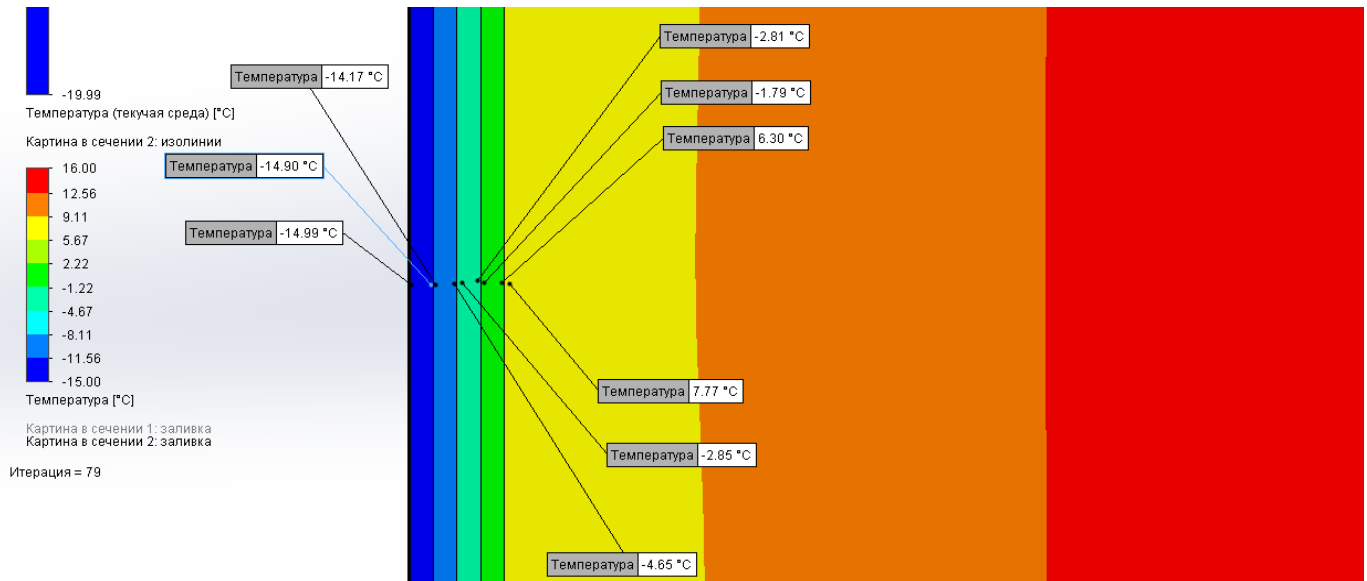


Рисунок 3.5 - Розподіл температури між льодяними пластинами і стіною товщиною  $\delta=750\text{мм}$

**В) Задано параметри:**

Температура навколишнього середовища: -15 С

Температура в приміщенні: 16 С

Товщина стіни :  $\delta=500\text{мм}$

Товщина ізоляції: 50 мм

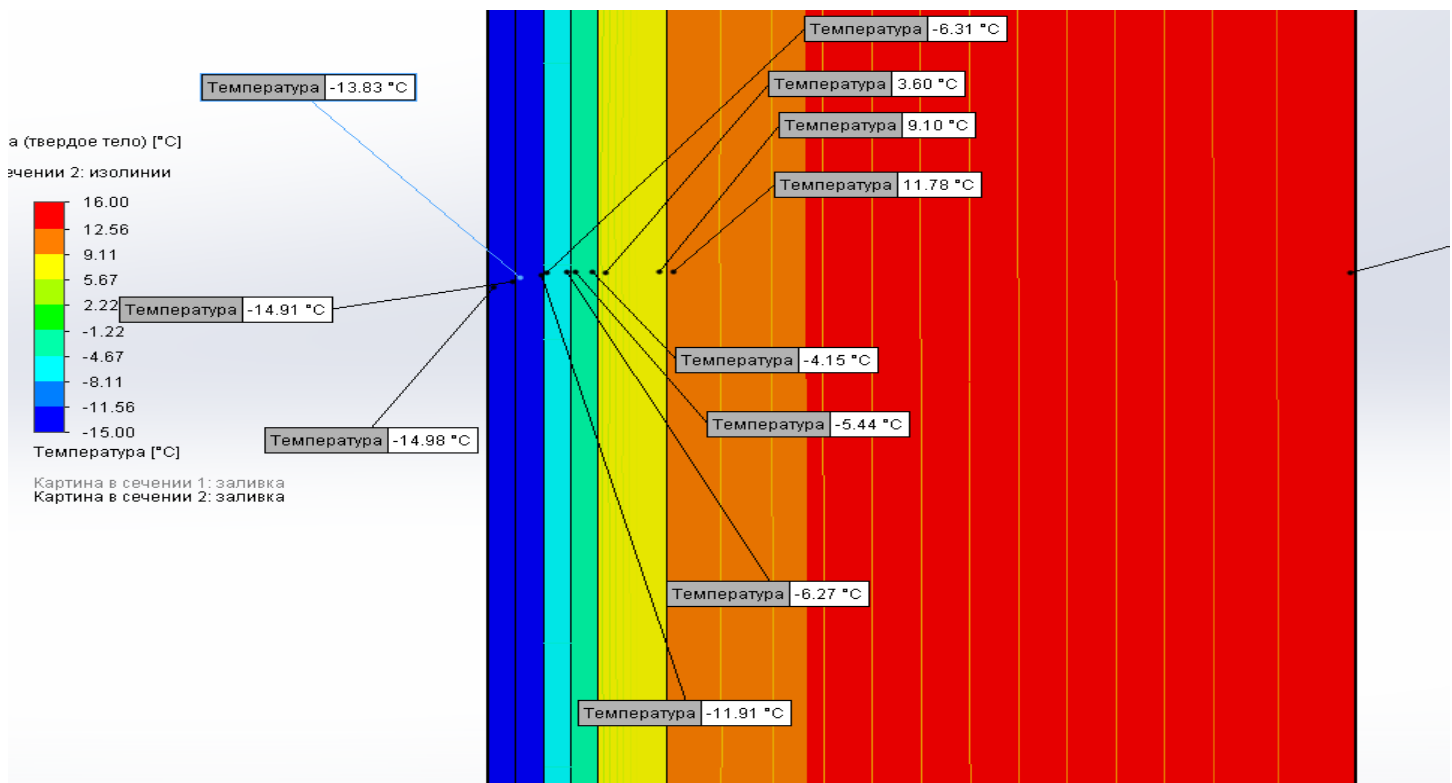


Рисунок 3.6 - Розподіл температури між льодяними пластинами і стіною товщиною  $\delta=500\text{мм}$  в ізоляції

Г) Задано параметри:

Температура навколишнього середовища:  $-15\text{ C}$

Температура в приміщенні:  $16\text{ C}$

Товщина стіни :  $\delta=750\text{мм}$

Товщина ізоляції:  $50\text{ мм}$

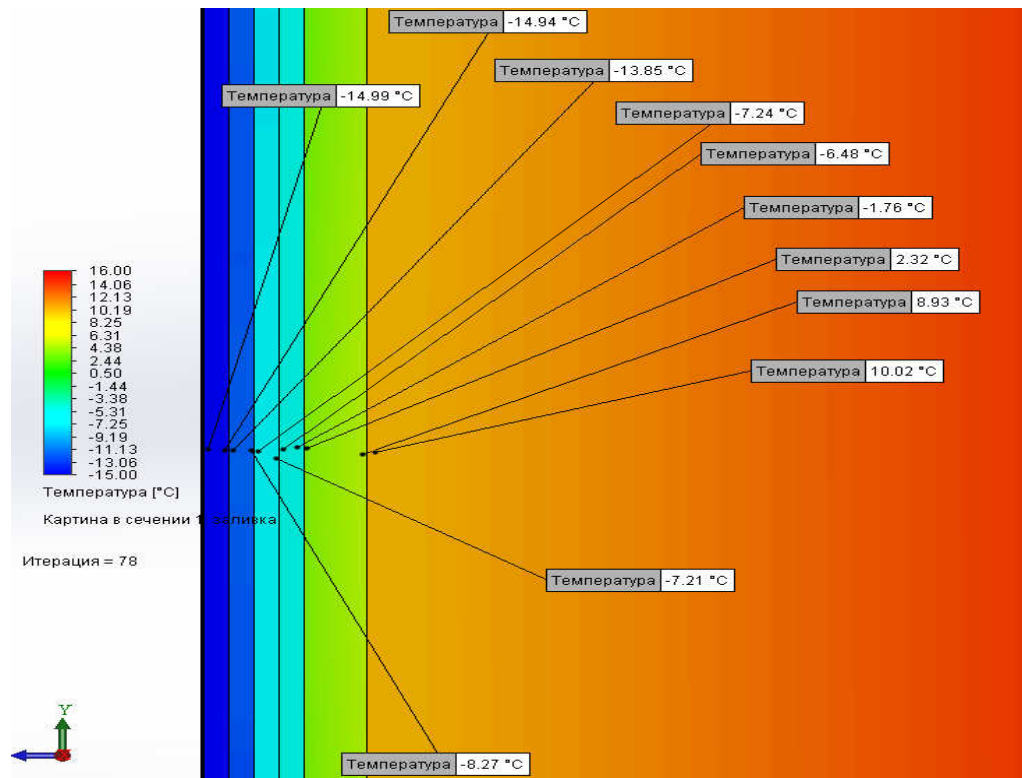


Рисунок 3.7 - Розподіл температури між льодяними пластинами і стіною товщиною  $\delta=500\text{мм}$  в ізоляції

Д) Задано параметри:

Температура навколишнього середовища:  $-15\text{ C}$

Температура в приміщенні:  $16\text{ C}$

Товщина скла :  $\delta=4\text{мм}$



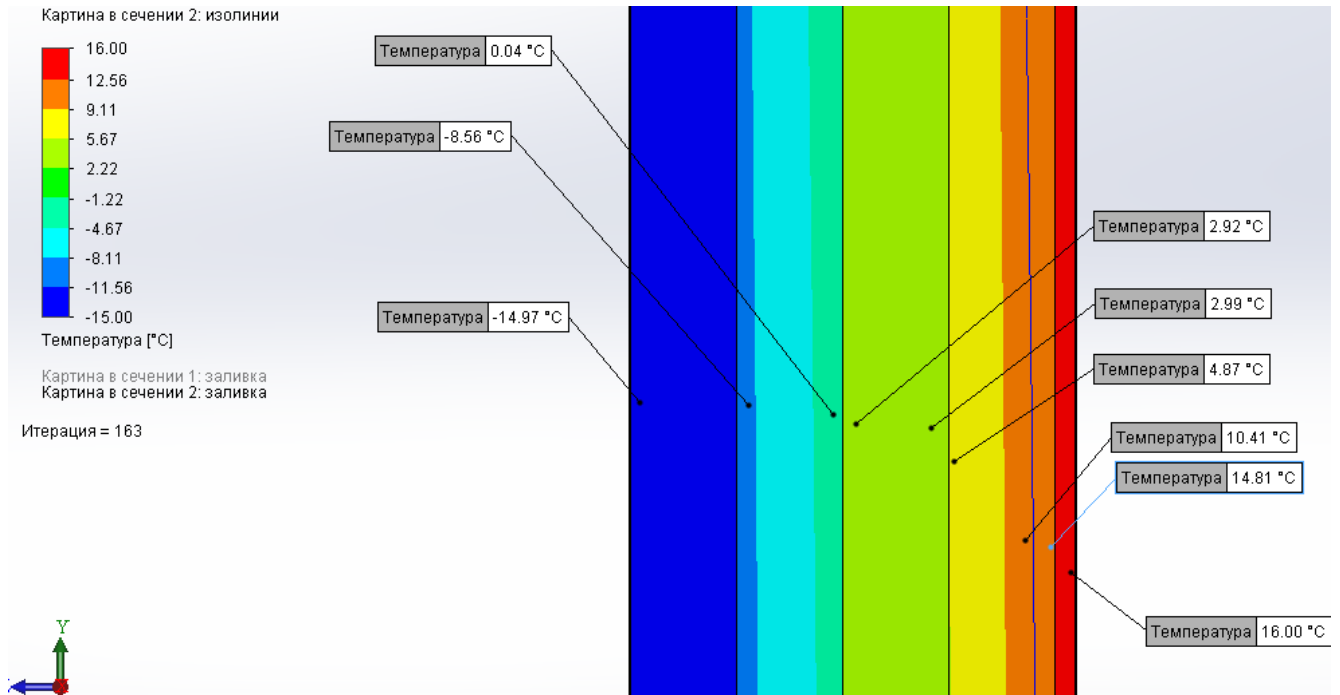


Рисунок 3.8 - Розподіл температури між льодяними пластинами і склом товщиною  $\delta=4\text{мм}$

Для порівняння показано усі отримані результати у вигляді графіку:

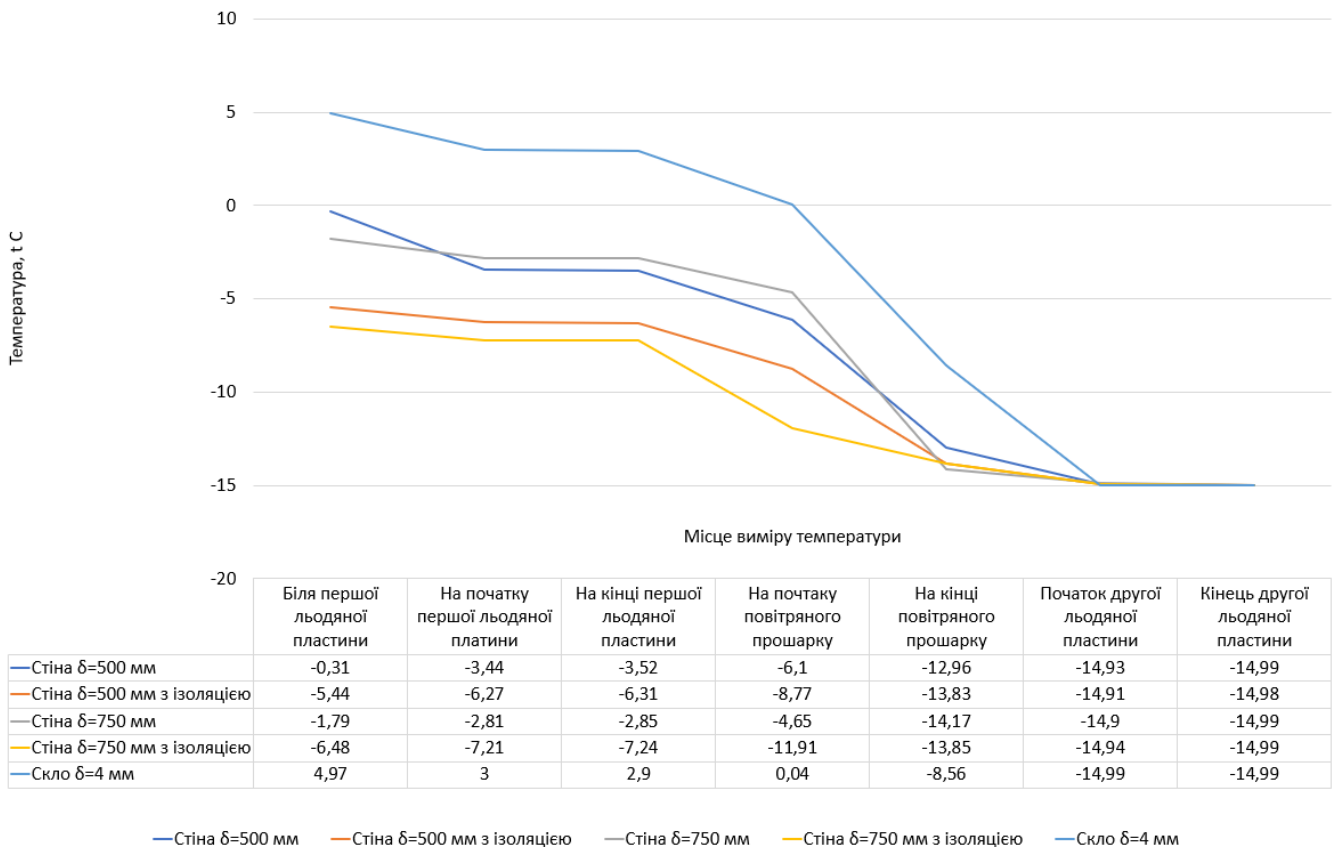


Рисунок 3.9 - Графік розподілу температур при різній товщині стіни і наявності ізоляції.

### 3.5 Аналітичні розрахунки

Зі збільшенням товщини стінки з льоду зменшуються теплові втрати і ти сам зменшується значення теплового потоку і збільшується повний термічний опір крижаної стінки.

Для порівняння можна порахувати тепловий потік для стіни, товщиною  $\delta_g = 500\text{мм}$

Коефіцієнт теплопередачі від стіни будинку до вулиці (з урахуванням крижаної стінки(теплоти кристалізації)),  $\frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}$ :

$$K = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_3} + \frac{\delta_g}{\lambda_g} + \frac{1}{\alpha_4}}, \quad (3.1)$$

де  $\alpha_4$  - коефіцієнт тепловіддачі від стіни з льоду до навколишнього середовища,  $\frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}$ ;

$\alpha_3$  - коефіцієнт тепловіддачі від повітря у буферній зоні до стіни з льоду,  $\frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}$ ;

$\delta_g$  - товщина стінки з льоду,  $\frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}$ ;

$\lambda_g$  - теплопровідність крижаної стінки,  $\frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}$ ,  $\lambda_g = 2,2 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}$ .

Розглядаємо випадок з товщиною льоду:

$$\delta_{g_1} = 0,02\text{м};$$

Згідно з [13] коефіцієнт тепловіддачі від стіни з льоду до навколишнього середовища дорівнює  $\alpha_4 = 13 \dots 20 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}$ , а коефіцієнт тепловіддачі від повітря у буферній зоні до

стіни з льоду  $\alpha_3 = 4 \dots 8 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}$ .

Приймаємо  $\alpha_4 = 15 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}$ ,  $\alpha_3 = 6 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}$ .

Тоді коефіцієнт теплопередачі від стіни будинку до навколишнього середовища буде мати наступні значення:

$$K_2 = \frac{1}{\frac{1}{15} + \frac{0,04}{2,2} + \frac{1}{6}} = 3,97 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}};$$

Загальний термічний опір житлового будинку з урахуванням крижаної стіни,  $\frac{\text{м}^2 \cdot \text{К}}{\text{Вт}}$ :

$$R_{\text{сум}} = R_d + R_{\text{с}}, \quad (3.2)$$

$$R_{\text{с}} = \frac{1}{K_{\text{с}}}, \quad K_{\text{с}} = K_{1...6},$$

де  $R_d$  - термічний опір стіни житлового будинку,  $\frac{\text{м}^2 \cdot \text{К}}{\text{Вт}}$ :

$$R_d = 2,88 \frac{\text{м}^2 \cdot \text{К}}{\text{Вт}};$$

Тоді загальний термічний опір становить:

$$R_{\text{сум}} = 2,88 + \frac{1}{4,2} = 3,11 \frac{\text{м}^2 \cdot \text{К}}{\text{Вт}};$$

Густина теплових втрат,  $\frac{\text{Вт}}{\text{м}^2}$ :

$$q = \frac{1}{R_{\text{сум}}} \Delta t, \quad (3.3)$$

де  $\Delta t$  - різниця температури всередині приміщення та температури навколишнього середовища, °С ;

Приймаємо  $\Delta t = (16 - (-15)) = 31$  °С.

Тоді,

$$q_1 = \frac{1}{3,11} \cdot 31 = 6,23 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2};$$

Якщо порівняти значення теоретично порахованого теплового потоку з отриманим в результаті моделювання:

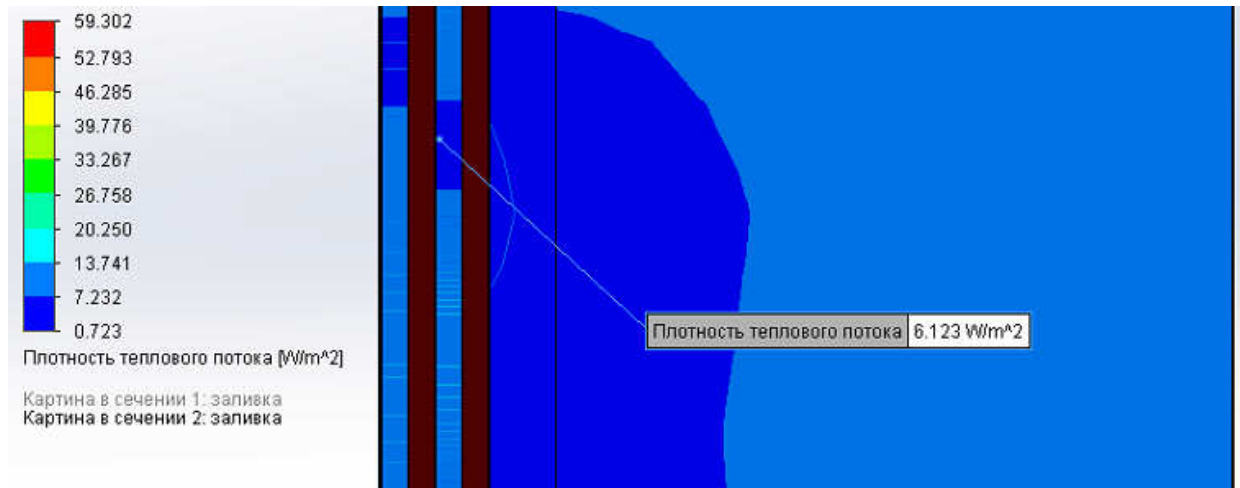


Рисунок 3.10 - Значення теплового потоку на кінці першої льодяної пластини

Температура повітря в буферній зоні зменшується при зменшенні температури навколишнього середовища. Для того, щоб оцінити правильність отриманих результатів в моделюванні, проведемо розрахунки залежності температури в буферній зоні від температури навколишнього середовища.

Для визначення температури повітря в буферній зоні у випадку відсутності сонячного випромінювання та інфільтрації маємо аналітичну залежність[14]:

$$t_s = \frac{t_d + \varphi \cdot \omega \cdot t_a}{1 + \varphi \cdot \omega}, \quad (3.4)$$

де  $\varphi$  - коефіцієнт, що показує відношення повних термічних опорів відповідно огорожень буферної та житлових зон[14]:

$$\varphi = \frac{K_s}{K_d} = \frac{R_d}{R_s},$$

де співвідношення повних термічних опорів стіни житлового будинку та льодяної стіни відповідно дорівнює:

$$\frac{R_d}{R_s} = \frac{1 \dots 7}{0,6} = \frac{2,1}{0,6} = 3,5;$$

$\omega$  - коефіцієнт, що враховує відношення поверхонь буферної та житлової зон[14]:

$$\omega = \frac{F_s}{F_d} \quad (3.5)$$

Розглядаємо випадок, коли  $\omega = 2$ .

$t_a$  - температура навколишнього середовища, °С, приймаємо:

$$t_{a_1} = -15^\circ\text{C};$$

$t_d$  - температура повітря всередині житлового будинку,  $t_d = 16^\circ\text{C}$ ;

Тоді,

$$\omega = 2$$

$$t_{a_1} = \frac{16 + 3,5 \cdot 2 \cdot (-15)}{1 + 3,5 \cdot 2} = -11^\circ\text{C};$$

Температура повітря в буферній зоні зменшується при зменшенні температури навколишнього середовища і при збільшенні площі поверхні в буферній зоні.

### 3.5 Висновки до розділу

1. Розробили 5 моделей, які відрізняються між собою товщиною стіни. Показали розподіл температури з урахуванням 50 мм ізоляції.
2. Знайшли ту температуру навколишнього середовища, при якій температура біля льодяної пластини буде менше  $0\text{ C}^0$ .
3. Проаналізували адекватність побудованих моделей порівнявши отримані результати з 4. результатами аналітичних розрахунків.
5. Зі збільшенням товщини стінки з льоду зменшуються теплові втрати і тим самим зменшується значення теплового потоку і збільшується повний термічний опір крижаної стінки.
6. Температура повітря в буферній зоні зменшується при зменшенні температури навколишнього середовища.

## 4 ДОСЛІДЖЕННЯ ПАСИВНИХ СИСТЕМ ОПАЛЕННЯ

### 4.1 Системи опалення будинків з відновлюваних джерел енергії

Проблема ресурсозбереження є актуальною на сьогодні для України, як і для усього світу. Вона пов'язана з обмеженістю енергоресурсів, економічними проблемами і її найважливішим екологічним аспектом.

Найкращим вирішенням проблеми є пасивні системи, які є частиною архітектурного рішення будинку.

Пасивні системи опалення поділяються на відкриті (вікна) та закриті (лоджії, балкони, засклені веранди, буферні зони біля стіни Тромба-Мішеля і тд.)

Відомо дослідження Пухового І.І., де для визначення температурних режимів використовувалася квартира в м.Києві з ПС у вигляді заскленій лоджії. Втрати теплоти змешуться в 1,6 разів. Це становить 32 % економії енергії в відповідності з розрахунком. Господарям квартир або всьому будинку, який має ПС ти « засклена веранда» на всьому південному фасаді, слід понижати оплату за ЦО в 1,25 – 1,4 рази. У квартирах першого і останнього поверхів теплові втрати підвищуються через зовнішні огороження підлоги і стелі, тому цю частину втрат слід розділити між проміжними квартирами.

Також відоме дослідження «Сонячне опалення типу «Стіна Тромба-Мішеля» з розширеною буферною зоною і прозорою стелею при роботі без традиційного опалення реального будинку».

Де ПС виготовлена при південно- західній стіні будинку з попередньо передбаченими для РСТМ отворами, що забезпечуватимуть циркуляцію повітря між буферною зоною ПС та кімнатою з цього будинку, яка розташована на 1 поверсі і всередині має масивну грубу типа „лежанка”. Зовнішня цегляна стіна кімнати, яка виходить на південно-західну сторону була запроектована спеціально під пасивну систему типу стіна Тромба-Мішеля. У стіні наявні 5 отворів: три у верхній і два - нижній частинах, де також передбачені засувки, які зачиняються на нічний період в холодну пору і від перегрівання приміщення влітку. Менша кількість отворів внизу обумовлена більшою густиною холоднішого повітря.

Наведено температурний графік (Рис.3.1) для цих двох досліджень з якого видно, що чим більша площа засклення, тим більше теплоти ми можемо отримати.

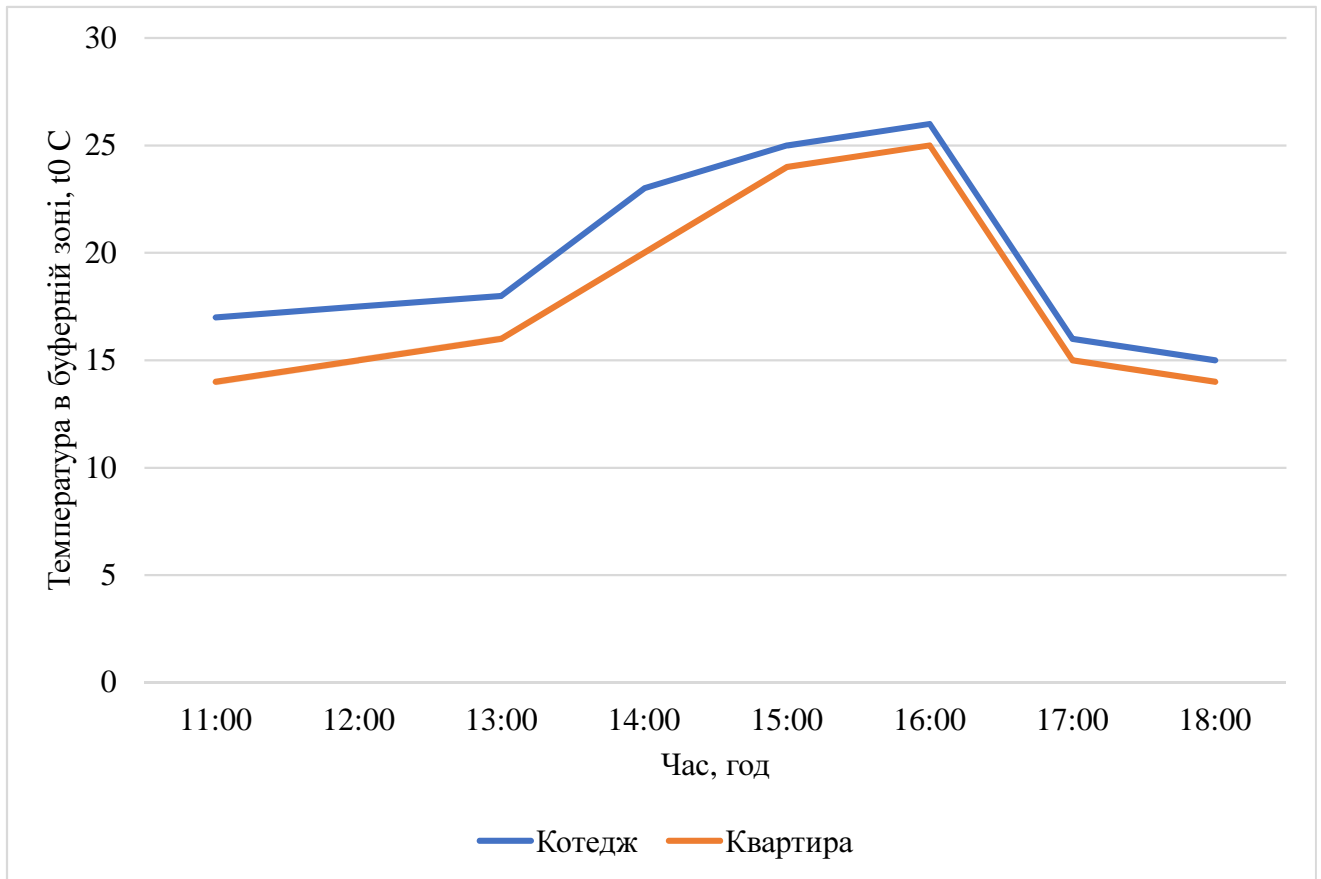


Рисунок 4.1 - Порівняльний графік використання ПС в квартирі і котеджі

#### 4.2 Кондиціонування повітря в пасивних будинках

Кондиціонування повітря з його охолодженням стає все доступнішим і вважається необхідним для досягнення достатнього рівня комфорту в дуже спекотні дні літа, які спостерігалися в останні роки в Україні.

Але при використанні компресійних холодильних установок витрачається багато електроенергії і встановлена потужність холодильних машин використовується короткий час. До 2-3 тижнів, що збільшує капітальні витрати.

При певних умовах виникають можливості використання природного льоду, заготовленого взимку, що значно знижує витрату електроенергії і встановлену потужність. В окремих випадках можна взагалі обійтися без холодильних машин.

Пасивне будівля має наступні основні особливості: має надзвичайно посилену теплоізоляцією, практично виключає теплові мости, його конструкції виключають інфільтрацію, оптимально орієнтоване по сторонах світу, збільшуючи теплопритоки від сонця в холодну пору року і знижуючи їх влітку, а інженерне забезпечення максимально рекуперує теплову енергію яка залишала будівлю з вентиляційним повітрям.

У таких будинках передбачається зниження витрат теплової енергії на опалення до 15 - 30 кВт.год на квадратний метр площі за опалювальний сезон. Природно, що поліпшена теплоізоляція будівлі дозволяє також зменшити і літні теплопритоки.

У побудованих в Німеччині та Австрії «пасивних» будинках проблема кондиціонування повітря вирішується використанням влітку артезіанської води для охолодження центральних масивних конструкцій, які перебувають посередині будівлі. Клімат великої частини Західної Європи не сприяє заготівлі льоду взимку, а з просуванням вглиб Євразії морози посилюються і з'являється можливість заготовки та виробництва водного природного льоду з його подальшим використанням влітку. Та ж ситуація спостерігається і в Північній Європі.

Використання льоду для літнього кондиціонування повітря дозволяє зменшити витрату витягується з під землі води і електроенергії на ці потреби.

Нині в Україні для першої, найбільш холодної зони необхідну термічний опір огорожувальних конструкцій стін становить величину  $R = 2,8 \text{ (м}^2 \text{ К) / Вт}$ , а раніше термічний опір теплопередачі стін будівель становило менше  $1 \text{ (м}^2 \text{ К) / Вт}$ .

Термічні та теплові питомі показники тепловтрат і значень витрати холоду на кондиціонування. Прийнята європейська класифікація пасивних будівель за величиною тепловтрат  $e$  на 1 кв. м площі будівлі за опалювальний сезон:

пасивне будівля - менше  $15 \text{ кВт} \cdot \text{год} / \text{(м}^2 \text{ сезон)}$ , умовно пасивне - менше 30, малого споживання енергії - менше 60. Рекомендоване нині термічний опір стін  $R = 2,8 \text{ (м}^2 \text{ К) / Вт}$  відповідає класифікації «новий дім» з втратами 97 і «старий будинок» до 1970 року будівництва з тепловтратами менше 300 ( $R$  менше  $1 \text{ (м}^2 \text{ К) / Вт}$ ). До класифікації «новий дім» також відносять будинку з питомими тепловтратами менше 150.

Слід також зазначити, що тривалість опалювального сезону в Західній Європі менше і тому при однакових питомих тепловтрат вимоги до теплоізоляції будівель в Україні повинні бути вище (приклад з Харковом і Києвом вище). У найбільш холодній 1 зоні України слід поки прагне тільки до виконання умов для умовно пасивного будинку.

Дані про теплові втрати при опаленні можуть бути використані для укрупненого розрахунку теплонадходжень, які спостерігаються при кондиціонуванні.

Як видно з ідеї «пасивного будинку» теплонадходження в зимовий час від сонячної радіації протягом холодного періоду року стануть важливою статтею енергетичного балансу будівлі і тому їх необхідний їх чисельний облік.



### 4.3 Розрахунок системи опалення котеджів з використанням відновлювальних джерел енергії

#### 4.3.1 Визначення теплових втрат житлового будинку

Вихідні дані наведені в таблиці 4.1.

#### 4.1 Вихідні дані

Найменування та позначення величини	Значення величини
Географічний район	м. Київ
Розрахункова температура зовнішнього повітря на опалення, $t_{ро}, ^\circ\text{C}$	-22
Кількість поверхів	1
Висота приміщень, м	2,6
Призначення приміщення	житлове
Температура всередині приміщення, $t_{вн}, ^\circ\text{C}$	20

#### Загальні відомості

Втрати теплоти в приміщенні відбуваються крізь зовнішні конструкції в холодний період року.

Втрати через:

1. зовнішні стіни;
2. вікна;
3. зовнішні двері;
4. перекриття;
5. підлогу.

Втрати теплоти крізь зовнішні конструкції:

$$Q_{втр} = Q_{втр}^{осн} + Q_{втр}^{доп}, \quad (4.1)$$

де  $Q_{втр}^{осн}$  – основні втрати теплоти, визначаються за рівнянням теплопередачі, Вт;

$Q_{втр}^{доп}$  – додаткові втрати теплоти, Вт

$$Q_{\text{всп}}^{\text{осн}} = \sum k_i F_i \Delta t_i n_i = \sum \frac{F_i}{r_i} \Delta t_i n_i, \quad (4.2)$$

де  $k_i$  – коефіцієнт теплопередачі огорожувальної конструкції,  $\frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}$ ;

$F_i$  – розрахункова поверхня конструкції,  $\text{м}^2$ ;

$\Delta t_i$  – розрахункова різниця температур внутрішнього та зовнішнього

повітря,  $\Delta t_i = t_{\text{вн}} - t_{\text{зовн}}$ ,  $^{\circ}\text{C}$ ;

$n_i$  – поправочний коефіцієнт на розрахункову різницю температур. Він залежить від географічного розташування конструкції та її типу:

$n_i = 1$  – для вертикальних огорожень;

$n_i = 0,8$  – для горизонтальних огорожень;

$n_i = 0,9$  – для нахилених огорожень згідно з [1];

$r_i$  – питомий термічний опір теплопередачі огорожувальних конструкцій.

$$Q_{\text{всп}}^{\text{дод}} = Q_{\text{всп}}^{\text{осн}} \cdot \sum \frac{K}{100} = Q_{\text{всп}}^{\text{осн}} \cdot \left( 1 + \frac{\sum K}{100} \right), \quad (4.3)$$

де  $\sum K$  – загальний коефіцієнт додаткових втрат теплоти у % до загальних

$$\sum K = K_{\text{ор}} + K_{\text{кут}} + K_{\text{инф}}.$$

$K_{\text{ор}}$  – на орієнтацію огорожуючих конструкцій на частини світу по [16]:

- північ – 10% ;

- південь – 0% ;

- захід – 5% ;

- схід – 10% ;

$K_{\text{кут}}$  – на наявність двох та більше кутових стін, дві кутові стіни – 5 %;

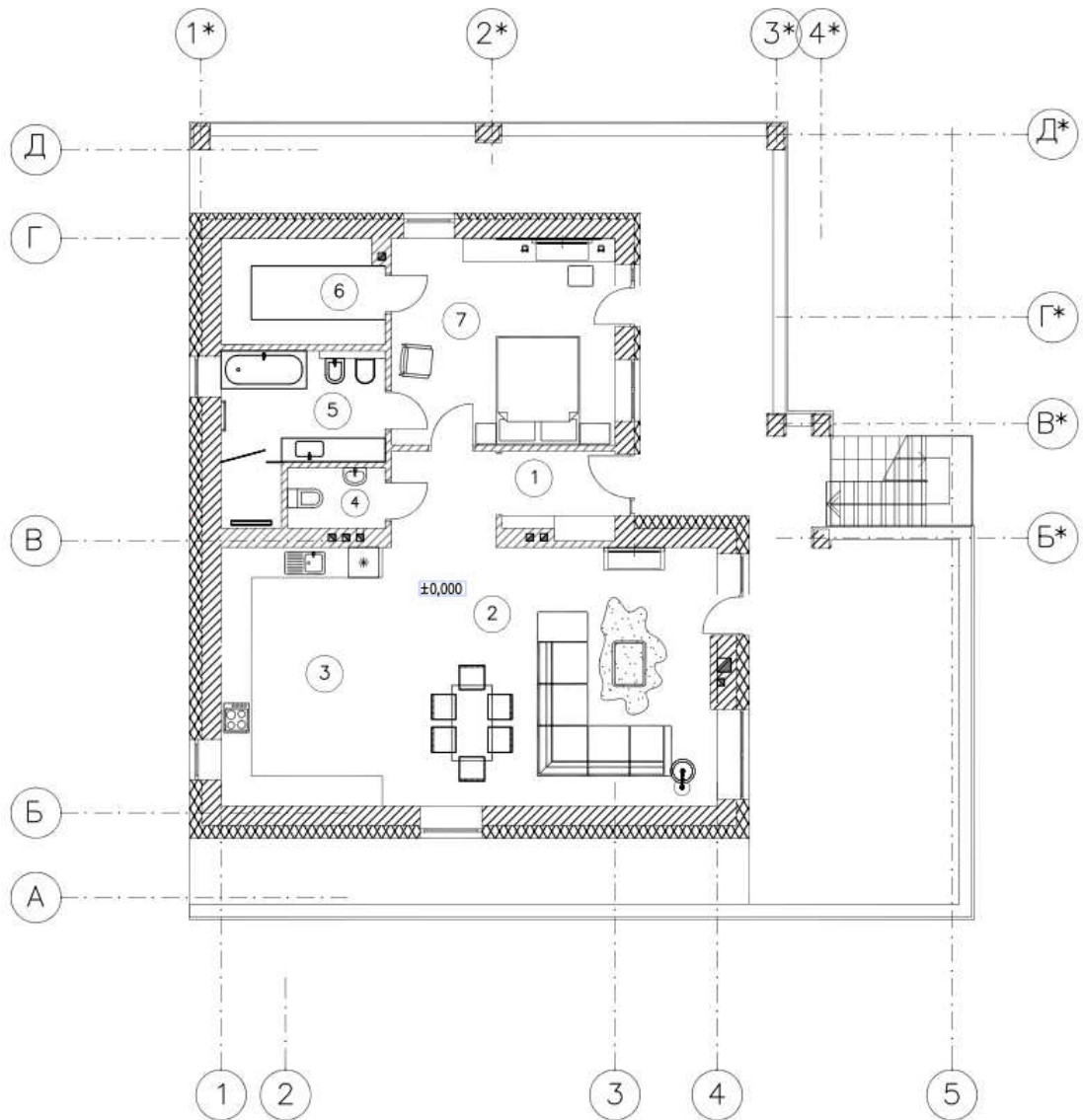
$K_{\text{инф}}$  – на інфільтрацію зовнішнього повітря крізь огорожувальні

конструкції:

1) для вікон та дверей – 15 %;

2) для стін – 0 %.

#### 4.3.2 Теплові втрати будинку



1 – тамбур; 2- вітальня-столова; 3-кухня; 4-с/в;  
5- ванна; 6- гардеробна; 7-спальня; 8 – тераса;

Рисунок 4.1 - План будинку

### Коефіцієнт теплопередачі зовнішньої стіни

Коефіцієнт теплопередачі стіни

$$k_{cm} = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta_3}{\lambda_3} + \frac{\delta_2}{\lambda_2} + \frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{1}{\alpha_4}}, \quad (4.4)$$

де  $\delta_1 = 0,01\text{м}$  – товщина шару штукатурки;

$\delta_2 = 0,25\text{м}$  – товщина керамічного поризованого блоку;

$\delta_3 = 0,05\text{м}$  – товщина шару базальтового тонкого волокна;

$\lambda_1 = 0,7 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}$  - коефіцієнт теплопровідності вапняної штукатурки, як і наступна

більшість значень теплофізичних параметрів, по [17];

$\lambda_2 = 0,18 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}$  - коефіцієнт теплопровідності керамічного поризованого блоку, згідно з

[18];

$\lambda_3 = 0,038 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}$  - коефіцієнт теплопровідності базальтового тонкого волокна по [19];

$\alpha_1, \alpha_4$  – коефіцієнти тепловіддачі від внутрішнього повітря до зовнішньої стіни та від зовнішньої стіни до зовнішнього повітря відповідно. За СНіП 11-3-79 коефіцієнти тепловіддачі дорівнюють відповідно:  $8,7 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}, 23,3 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}$ .

$$k_{cm} = \frac{1}{\frac{1}{8,7} + \frac{0,01}{0,7} + \frac{0,25}{0,18} + \frac{0,05}{0,038} + \frac{1}{23,3}} = 0,347 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}.$$

Коефіцієнт теплопередачі зовнішньої стіни з урахуванням пасивної системи:

$$k_{cm}^{nac} = \frac{1}{\frac{1}{k_{cm}} + \frac{\delta_{cm}}{\lambda_{cm}} + \frac{1}{\alpha_2} + \frac{1}{\alpha_3}}, \quad (4.5)$$

де  $\alpha_2 = 8,7 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}$  – коефіцієнт тепловіддачі від зовнішньої стіни до повітряного

прошарку пасивної системи;

$\alpha_3 = 8,7 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}$  – коефіцієнт тепловіддачі від повітряного прошарку до крижаної стіни

пасивної системи;

$\delta_{ст} = 0,005$  м – товщина шару скла;

$\lambda_{cm} = 0,74 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}$  - коефіцієнт теплопровідності скла.

$$k_{cm}^{nac} = \frac{1}{\frac{1}{0,347} + \frac{0,005}{0,74} + \frac{1}{8,7} + \frac{1}{8,7}} = 0,32 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}.$$

Коефіцієнт теплопередачі зовнішньої стіни з урахуванням пасивної системи (крижаної стінки)

$$k_{cm}^{nac} = \frac{1}{\frac{1}{k_{cm}} + \frac{\delta_{cm,l}}{\lambda_{cm,l}} + \frac{1}{\alpha_2} + \frac{1}{\alpha_3}}, \quad (4.6)$$

де  $\alpha_2 = 8,7 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}$  – коефіцієнт тепловіддачі від зовнішньої стіни до повітряного прошарку пасивної системи;

$\alpha_3 = 8,7 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}$  – коефіцієнт тепловіддачі від повітряного прошарку до крижаної стіни пасивної системи;

$\delta_{cm,l} = 0,12 \text{ м}$  – товщина шару крижаної стіни;

$\lambda_{cm,l} = 2,2 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}$  - коефіцієнт теплопровідності льоду;

$$k_{cm}^{nac} = \frac{1}{\frac{1}{0,347} + \frac{0,12}{2,2} + \frac{1}{8,7} + \frac{1}{8,7}} = 0,316 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}.$$

Коефіцієнт теплопередачі дверей

$$k_{дв} = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2} + \frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{1}{\alpha_4}}, \quad (4.7)$$

де  $\lambda_1 = 0,2 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}$  – коефіцієнт теплопровідності дерева (дубу);

$\lambda_2 = 0,04 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}$  – коефіцієнт теплопровідності поролону;

$\lambda_3 = 0,05 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}$  – коефіцієнт теплопровідності вінілісшкіри;

$\delta_1 = 0,03 \text{ м}$  – товщина шару дерева;

$\delta_3 = 0,005 \text{ м}$  – товщина поролону;

$\delta_3 = 0,002 \text{ м}$  – товщина шару вінілісшкіри.

$$k_{\text{дв}} = \frac{1}{\frac{1}{8,7} + \frac{0,03}{0,2} + \frac{0,005}{0,04} + \frac{0,002}{0,05} + \frac{1}{23,3}} = 2,11 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}.$$

Коефіцієнт теплопередачі вікон

Приймаємо для двохкамерних металопластикових вікон згідно з [20] коефіцієнт теплопередачі становить  $k_{\text{вік}} = 1,94 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}$ . Тоді визначаємо коефіцієнт теплопередачі вікон з урахуванням пасивної системи.

$$k_{\text{вік}}^{\text{пас}} = \frac{1}{\frac{1}{1,94} + \frac{0,005}{0,74} + \frac{1}{8,7} + \frac{1}{23,3}} = 1,47 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}.$$

Коефіцієнт теплопередачі стелі та даху

$$k_{\text{даху}} = \frac{1}{\frac{1}{k_{\text{стелі}}} + \frac{1}{\alpha_3} + \frac{\delta_4}{\lambda_4} + \frac{\delta_5}{\lambda_5} + \frac{\delta_6}{\lambda_6} + \frac{1}{\alpha_4}}, \quad (4.8)$$

де  $\delta_1 = 0,01 \text{ м}$  – товщина шару фанери;

$\delta_2 = 0,04 \text{ м}$  – товщина шару соснової дошки;

$\delta_3 = 0,15 \text{ м}$  – товщина шару тирси;

$\delta_4 = 0,02 \text{ м}$  – товщина шару соснової дошки;

$\delta_5 = 0,001 \text{ м}$  – товщина шару рубероїду;

$\delta_6 = 0,005 \text{ м}$  – товщина шару ондулін;

$\lambda_1 = 0,15 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}$  – теплопровідність фанери;

$$\lambda_2 = 0,505 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}} - \text{теплопровідність соснової дошки};$$

$$\lambda_3 = 0,093 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}} - \text{теплопровідність тирси};$$

$$\lambda_4 = 0,503 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}} - \text{теплопровідність соснової дошки};$$

$$\lambda_5 = 0,17 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}} - \text{теплопровідність рубероїду};$$

$$\lambda_6 = 0,195 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}} - \text{теплопровідність ондуліну по [21]}.$$

$$k_{\text{дaxy}} = \frac{1}{\frac{1}{8,7} + \frac{0,15}{0,093} + \frac{2 \cdot 0,04}{0,503} + \frac{2 \cdot 0,01}{0,15} + \frac{1}{8,7} + \frac{1}{8,7} + \frac{0,02}{0,503} + \frac{0,001}{0,17} + \frac{0,005}{0,195} + \frac{1}{23,3}} = 0,423 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}$$

Різниця температур

$$\Delta t = (t_{\text{вн.}} - t_{\text{п.о.}}) \quad (4.10)$$

$$\Delta t = (20 - (-25)) = 45^{\circ}\text{C}$$

Загальні теплові втрати будинку

$$Q_{\text{заг}} = \sum Q_{\text{втр}}, \quad (4.11)$$

Результати розрахунків теплових втрат зведені в табл. 4.2.,



Таблиця 4.2 – Результати теплових втрат

№ прим. /пов.	Назва приміщення	твн, С	тн, С	Інфільтрація			Лпов. вент. м³/год	Qдод. Вт	Номер огороження	Позначення огороження	Орієнтація	Розм.огор.,м			S, м²	Sогор., м²	Опір тепл опер. R м² °С	Δt, °С	%		Qt, Вт	Нагрів повітря (інфільт., припл. вент, зовніш. двері) Вт	ЗАГАЛЬНІ втрати тепла, Вт	Питомі втрати тепла, Вт/м2	Попужність радіатора, +% Вт															
				Сприм., м²	Нприм. м	Крат.						a	x	h					сторона світу	поверховість					1,1															
				Кільк. людей	Нбуд. м	В						20	21	22					23	24					26	27	28	29	30	32	33	34	35	36						
<b>1 поверх</b>																						<b>10</b>																		
001.1		20	-22	7,0	2,8	0,8	0												10	1350	222	1580	226	1738																
001.1		20	-22					1-0	ТОКР1			1,00	x	7,00	+	7	7,00	2,36	42	0	10	138	0																	
001.1		20	-22					2-0	ПОЛЗ			1,00	x	7,00	+	7	7,00	8,6	42	0	10	38	0																	
001.1		20	-22					3-0	ЗС1	Т		1,73	x	3,00	+	5,19	2,48	2,88	42	5	10	42	0																	
001.1		20	-22	10,0	21,0	1,0		3-1	ЗД1	Т		1,23	x	2,20	-	2,71	2,71	0,47	42	5	10	1132	853																	
001.2		20	-22	27,8	2,8	0,8	0												10	2702	882	3590	130	3949																
001.2		20	-22					1-0	ТОКР1			1,00	x	27,80	+	27,8	27,80	2,36	42	0	10	545	0																	
001.2		20	-22					2-0	ПОЛЗ			1,00	x	27,80	+	27,8	27,80	8,6	42	0	10	150	0																	
001.2		20	-22					3-0	ЗС1	Т		5,52	x	3,00	+	16,6	9,76	2,88	42	5	10	164	0																	
001.2		20	-22					3-1	В1	Т		1,80	x	1,80	-	3,24	3,24	0,68	42	5	10	231	0																	
001.2		20	-22	10,0	21,0	1,0		3-2	ЗД1	Т		1,62	x	2,20	-	3,56	3,56	0,47	42	5	10	1220	853																	
001.2		20	-22					4-0	ЗС1	Т		2,07	x	3,00	+	6,21	6,21	2,88	42	5	10	105	0																	
001.2		20	-22					5-0	ЗС1	Т		5,69	x	3,00	+	17,1	17,07	2,88	42	5	10	287	0																	
001.3		20	-22	22,8	2,8	0,8	0												10	1146	723	1870	83	2057																
001.3		20	-22					1-0	ТОКР1			1,00	x	22,80	+	22,8	22,80	2,36	42	0	10	447	0																	
001.3		20	-22					2-0	ПОЛЗ			1,00	x	22,80	+	22,8	22,80	8,6	42	0	10	123	0																	
001.3		20	-22					3-0	ЗС1	Т		5,06	x	3,00	+	15,2	13,72	2,88	42	5	10	231	0																	
001.3		20	-22					3-1	В1	Т		0,81	x	1,80	-	1,46	1,46	0,68	42	5	10	104	0																	
001.3		20	-22					4-0	ЗС1	Т		4,78	x	3,00	+	14,3	14,34	2,88	42	5	10	241	0																	
001.5		20	-22	0,0	2,8	0,8	0												10	468	0	470	0	517																
001.5		20	-22					1-0	ТОКР1			1,00	x	8,80	+	8,8	8,80	2,36	42	0	10	173	0																	
001.5		20	-22					2-0	ПОЛЗ			1,00	x	8,80	+	8,8	8,80	8,6	42	0	10	48	0																	
001.5		20	-22					3-0	ЗС1	Т		3,32	x	3,00	+	9,96	8,50	2,88	42	5	10	143	0																	
001.5		20	-22					3-1	В1	Т		0,81	x	1,80	-	1,46	1,46	0,68	42	5	10	104	0																	
001.6		20	-22	0,0	2,8	0,8	0												10	455	0	460	0	506																
001.6		20	-22					1-0	ТОКР1			1,00	x	6,70	+	6,7	6,70	2,36	42	0	10	132	0																	
001.6		20	-22					2-0	ПОЛЗ			1,00	x	6,70	+	6,7	6,70	8,6	42	0	10	36	0																	
001.6		20	-22					3-0	ЗС1	Т		3,23	x	3,00	+	9,69	9,69	2,88	42	5	10	163	0																	
001.6		20	-22					4-0	ЗС1	Т		2,46	x	3,00	+	7,38	7,38	2,88	42	5	10	124	0																	
001.7		20	-22	18,2	2,8	0,8	0												10	2132	578	2710	149	2981																
001.7		20	-22					1-0	ТОКР1			1,00	x	18,20	+	18,2	18,20	2,36	42	0	10	357	0																	
001.7		20	-22					2-0	ПОЛЗ			1,00	x	18,20	+	18,2	18,20	8,6	42	0	10	98	0																	
001.7		20	-22					3-0	ЗС1	Т		4,55	x	3,00	+	13,7	8,73	2,88	42	5	10	147	0																	
001.7		20	-22					3-1	В1	Т		1,23	x	1,80	-	2,21	2,21	0,68	42	5	10	158	0																	
001.7		20	-22	10,0	21,0	1,0		3-2	ЗД1	Т		1,23	x	2,20	-	2,71	2,71	0,47	42	5	10	1132	853																	
001.7		20	-22					4-0	ЗС1	Т		4,77	x	3,00	+	14,3	14,31	2,88	42	5	10	240	0																	
																					<b>Всього,Вт</b>		<b>10680</b>	<b>98</b>	<b>12923</b>															

## 4.4 Розрахунок пасивної системи сонячного опалення

### 4.4.1 Загальні відомості

Пасивними системами сонячного опалення (ПС) називаються системи, які включені в конструкцію будівлі з мінімальним або нульовим використанням додаткової енергії для руху теплоносія (повітря). Пасивні системи, які ми будемо далі їх називати, поділяються у відповідності з класифікацією [22] на системи прямого обігріву (вікна, спеціальні вітражі на дахах) та системи опосередкованого обігріву (стіна Тромба-Мішеля, оранжерея, зимовий сад, застлана лоджія чи балкон). В [23] приймається трохи інша термінологія: системи прямого обігріву називають відкритими, а системи опосередкованого опалення – закритими. Під терміном закриті мають на увазі такі системи, де сонячні промені не проникають у приміщення. При використанні застлених просторів, які прилягають до житлових приміщень, можуть бути випадки, коли частково в зимові місяці (сонце стоїть досить низько) промені проникають у житлове приміщення через вікна (відомий випадок застленої в багатоповерховому будинку лоджії). Тому в [24] автор ввів поняття напівзакриті ПС. Надалі ми користуватимемося термінологією [23, 24].

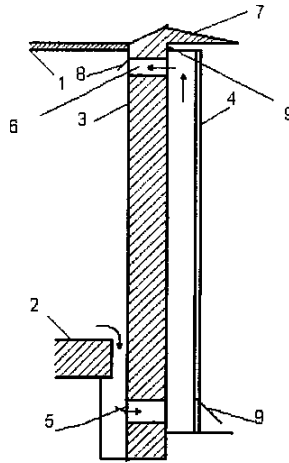
Відкриті системи відомі й використовуються давно. До числа нових розробок таких систем слід віднести вікна на похилих дахах та застлені фронтони. Новим є винахід, що відноситься до закритих систем і носить ім'я Тромба-Мішеля (рис. 10).

Професор Тромб в 1956 році отримав патент. У співробітництві з архітектором Мішелем Смороду збудували в 1970 році приміщення з сонячним опаленням лабораторії в Одейо (Франція). В Одейо (район Піренеїв) розташована сонячна піч для обробки електронних і інших чистих матеріалів.

Для того, щоб не було зворотної циркуляції, на отворах 5 і 6 встановлюють засувки (клапани) 8. За допомогою стіни Тромба-Мішеля можна влітку вентилювати приміщення, відкриваючи клапани 9.

В процесі освітлення стіни Сонцем вона нагрівається (поверхня стіни пофарбована чорною матовою фарбою). Тепле повітря йде в кімнату, а холодне засмоктується знизу й попадає в простір між склом та стіною. Стіна протягом дня нагрівається й на ніч є акумулятором енергії. Товщина стіни (400 мм) забезпечує зсув максимуму температури внутрішньої поверхні в порівнянні з максимумом зовнішньої приблизно на 12 часів. Від перегріву влітку використовується дашок 7, який дає тим більшу тінь, чим вище сонце, і відкриття клапанів 9. Також рекомендується встановлювати штори або ставні. Штори, які закриті на ніч, будуть зменшувати випромінювання від стіни в довкілля. Стіна Тромба в описаному варіанті має суттєвий недолік у тому, що масив стіни гріється зовні й тому

теплові втрати в докiлля будуть значними через випромiнювання. Така конструкцiя придатна лише в достатньо теплих районах з великою кiлькiстю сонячних днiв.



1 – стеля житла; 2 – пiдлога; 3 – стiна з бетону; 4 – поверхня з подвiйним зашкленням; 5 – отвір входу холодного повітря; 6 – отвір виходу теплого повітря в приміщення; 7 – дашок проти лiтнiх променiв сонця; 8 – клапан; 9 – клапан вентиляцiйний.

Рисунок 4.2 - Пасивна система опалення Тромба-Мiшеля

Для бiльш холодних районiв стiна Тромба була модифiкована таким чином, що на зовнiшню поверхню стiни (будь-якої товщини) наносять теплоiзоляцiю, прикриту аркушем сталi, який пофарбований у чорний колiр . У такiй системi стiна не нагрiвається й влiтку не буде перегрiву повітря в кiмнатi. Крім того зменшуються теплові втрати, бо охолоджується лише тонкий аркуш сталi. Нанесення iзоляцiї сприяє зменшенню теплових втрат приміщення й у перiод, коли Сонця немає на горизонтi. У такiй системi зберiгається вiд стiни Тромба лише вiдчини, а пасивна система перетворюється в повітряний сонячний колектор з природною циркуляцiєю. Акумуляцiя енергiї вiдбувається як у зовнiшнiй стiнi (починаючи з внутрiшньої поверхнi, так i внутрiшнiх стiнах i предметах).

Подальшим розвитком iдеї стiни Тромба є впровадження механiчної циркуляцiї теплоносiя, що дозволяє опалювати не тiльки приміщення, що виходять на пiвденний фасад, але й приміщення, якi розташованi на iнших фасадах. У цьому випадку система циркуляцiї теплоносiя виконана замкненою й вiддiлена вiд повітря, що межує з склом перегородкою, з тонкої жестi, яка нагрiвається Сонцем. Тепло вiд металевої поверхнi передається в контур, де циркулює повітря – теплоносiй.

Перевагою систем з iзоляцiєю стiн є те, що повітря, яку має незначну теплоемнiсть швидко нагрiвається Сонцем i теплота поступає в приміщення навiть при незначному освiтленнi.

У стіні Тромба відстань між стіною та заклопоною поверхнею невелика (150...500 мм), що сприяє освітленню стіни. Із збільшенням відстані ширина згаданої зони, яку називають буферною, при непрозорому дашку, або елементу даху, приводить до того, що більша частина сонячної енергії акумулюється в підлозі чи ґрунті (випадок оранжереї, або зимового саду). У таких випадках не обов'язково виконувати в стіні відчини для гідравлічного зв'язку з опалюваним простором тому, що неможливо досягти температур у буферній зоні  $t$  більших ніж у житловій зоні  $t$ .

Вихідні дані для розрахунку наведені в таблиці 4.3

Таблиця 4.3 - Вихідні дані

Найменування та позначення величини	Значення величини
Географічний район	м. Київ
Об'єм будинку, $V, \text{м}^3$	396
Поверхня пасивної системи, $S, \text{м}^2$ :	
а) південна сторона	33
б) західна сторона	3
в) східна сторона	3
Середньомісячна температура по [1], $t_{\text{ср.м}}, ^\circ\text{C}$ :	
– жовтень	+6,5
– листопад	+1,2
– грудень	-1,5
– січень	-5,7
– лютий	+2
– березень	+3,9
– квітень	+12,4
Загальні теплові втрати будинку, $Q_{\text{сум}}, \text{Вт}$	<b>12923</b>

Пасивна система сонячного опалення розташована на південному фасаді будинку.

Приймаю пасивну систему сонячного опалення як застклений фасад південної частини житлового будинку. Скло вітрине товщиною  $\delta$ , яка дорівнює 5 мм, рами дерев'яні.

#### 4.4.2 Сумарні втрати теплоти житлового будинку

##### 4.4.2.1 Теплові втрати будинку в жовтні

Середньомісячна різниця температур

$$\Delta t_{cp.m} = t_{вн} - t_{cp.m}, \quad (4.12)$$

$$\Delta t_{cp.m} = 20 - 6,5 = 13,5 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

Середньомісячні втрати теплоти

$$Q_{cp.m} = Q_{сум} \cdot \frac{\Delta t_{cp.m}}{\Delta t_{розр}}, \quad (4.13)$$

де  $\Delta t_{розр}$  – розрахункова різниця температур зовнішнього та внутрішнього повітря,  $^\circ\text{C}$ ;

$$\Delta t_{розр} = t_{вн} - t_{p.o}. \quad (4.14)$$

$t_{вн} = 20 \text{ } ^\circ\text{C}$  – температура повітря в житловому будинку;

$t_{p.o} = -22 \text{ } ^\circ\text{C}$  – розрахункова температура зовнішнього повітря для проектування опалення для міста Київ.

$$\Delta t_{розр} = 20 - (-22) = 42 \text{ } ^\circ\text{C},$$

$$Q_{cp.m} = 11300 \cdot \frac{13,5}{42} = 3632,2 \text{ Вт}.$$

Втрати теплоти будинком протягом жовтня

$$Q_{втр.ср} = \frac{Q_{cp.m} \cdot 24 \cdot n}{1000}, \quad (4.15)$$

де  $n$  – кількість днів у місяці.

$$Q_{втр.ср} = \frac{3632,2 \cdot 24 \cdot 31}{1000} = 2702,3 \frac{\text{кВт} \cdot \text{год}}{\text{місяць}}.$$

Аналогічний розрахунок проводимо для інших місяців і отримані результати розрахунків заносимо до таблиці 4.4

Таблиця 4. 4 - Результати розрахунків втрат теплоти будинком в період з жовтня по квітень

Місяць	№ місяця	$t_{p.o}$ , °C	$t_{вн}$ , °C	$t_{ср.м}$ , °C	$\Delta t_{ср.м}$ , °C	$Q_{сум}$ , Вт	$Q_{ср.м}$ , Вт	$Q_{втр.ср}$ , $\frac{\text{кВт} \cdot \text{год}}{\text{місяць}}$
Жовтень	10	22	0	6,5	1,9	12293	3951,3	<b>2939,8</b>
Листопад	11	22	0	1,2	8,6	12293	5502,6	<b>4093,9</b>
Грудень	12	22	0	-1,5	3,8	12293	6292,8	<b>4681,9</b>
Січень	1	22	0	-5,7	6,6	12293	7522,1	<b>5596,5</b>
Лютий	2	22	0	2	6	12293	5268,4	<b>3919,7</b>
Березень	3	22	0	3,9	0,4	12293	4712,3	<b>3506,0</b>
Квітень	4	22	0	12,4	1,4	12293	2224,4	<b>1655,0</b>
								$\Sigma Q_{втр.ср} =$ 26392

4.2.2.2 Середній по місяцям прихід тепла в систему опалення сонячною енергією

$$Q_O = k_O \cdot k_3 \cdot E_M \cdot e \cdot \eta, \quad (4.16)$$

де  $k_3$  – коефіцієнт затемнення, який враховує долю затемненої площі по відношенні до загальної площі, на підставі даних по висоті та азимуту сонця,  $k_3$  дорівнює 1 по [25];  
 $k_O$  – коефіцієнт орієнтації по [25]:

$k_O = 1$  – для південих фасадів;

$k_O = 0,5$  – для західного та східного фасаду.

$E_M$  – максимальна енергія, яку колектор отримує за день;

$e$  – енергетичний коефіцієнт, який враховує той факт, що при наявності хмарності сонячний колектор поглинає розсіяну сонячну енергію.

$\eta$  – коефіцієнт корисної дії колектора,  $\eta = 0,4$ .

Максимальна енергія, яку колектор отримує за день знаходимо по [25] за жовтень:

$$E_M = 5179 \frac{\text{Вт} \cdot \text{год}}{\text{м}^2 \cdot \text{день}}$$

Енергетичний коефіцієнт для жовтня  $e = 0,66$ .

Середній за жовтень прихід теплоти в систему опалення становить:

$$Q_O = 1 \cdot 1 \cdot 5179 \cdot 0,51 \cdot 0,4 = 1056,5 \frac{\text{Вт} \cdot \text{год}}{\text{м}^2 \cdot \text{день}}.$$

Загальна кількість теплоти, що надходить в систему на південний фасад за день

$$Q_{O\text{Пд}}^{\text{заг}} = Q_O \cdot S_{\text{Пд}}, \quad (4.17)$$

$$Q_{O\text{Пд}}^{\text{заг}} = 1056,5 \cdot 33 = 170907 \frac{\text{Вт} \cdot \text{год}}{\text{день}}.$$

Загальна кількість теплоти, що надходить в систему на західний та східний фасади за день

$$Q_{O\text{Зх+Сх}}^{\text{заг}} = k_O \cdot k_3 \cdot E_M \cdot e \cdot \eta \cdot 2 \cdot S_{\text{Зх}}, \quad (4.18)$$

$$Q_{O\text{Зх+Сх}}^{\text{заг}} = 0,5 \cdot 1 \cdot 5179 \cdot 0,51 \cdot 0,4 \cdot 2 \cdot 3 = 3169,5 \frac{\text{Вт} \cdot \text{год}}{\text{день}}.$$

Загальна кількість теплоти, яка потрапляє в систему протягом місяця

$$Q_{ПС}^{міс} = (Q_{ОПд}^{заг} + Q_{ОЗх+Сх}^{заг}) \cdot \frac{n}{1000}, \quad (4.19)$$

де  $n$  – кількість днів у місяці.

$$Q_{ПС}^{міс} = (34858 + 3169,5) \cdot \frac{31}{1000} = 5397 \frac{\text{кВт} \cdot \text{год}}{\text{місяць}}.$$

Аналогічний розрахунок проводимо для інших місяців і отримані результати розрахунків заносимо до таблиці 4.5.

Таблиця 4.5 - Результати розрахунків теплоприходу від Сонця в систему опалення в період з жовтня по квітень

Місяць	№місяця	$E_M$ ,	$\epsilon$	$Q_o$ ,	$Q_{ОПд}^{заг}$	$Q_{ОЗх+Сх}^{заг}$ ,	$Q_{ПС}^{міс}$ ,
		$\frac{\text{Вт} \cdot \text{год}}{\text{м}^2 \cdot \text{день}}$		$\frac{\text{Вт} \cdot \text{год}}{\text{м}^2 \cdot \text{день}}$	$\frac{\text{Вт} \cdot \text{год}}{\text{день}}$	$\frac{\text{Вт} \cdot \text{год}}{\text{день}}$	$\frac{\text{кВт} \cdot \text{год}}{\text{місяць}}$
<b>Жовтень</b>	0	5179	0,51	1056,5	170907	3169,5	1179
<b>Листопад</b>	1	4393	0,5	878,6	144969	2635,8	998
<b>Грудень</b>	2	3782	0,7	1059,0	124806	3176,9	888
<b>Січень</b>	1	4393	0,66	1159,8	144969	3479,3	1025
<b>Лютий</b>	2	5179	0,74	1533,0	170907	4599,0	1223
<b>Березень</b>	3	5213	0,66	1376,2	172029	4128,7	1216
<b>Квітень</b>	4	4351	0,57	992,0	143583	2976,1	1000
							$\Sigma = 7530$

Різниця між втратами теплоти будинку та теплоприходом систему опалення, яку необхідно покривати традиційними джерелами теплоти

Результати розрахунку зведені в таблицю 4.6.



Таблиця 4.6 - Різниця між тепловими втратами будинку і теплоприходом в систему опалення

Місяць	№ місяця	$Q_{втр.сп}$ , $\frac{\text{кВт} \cdot \text{год}}{\text{місяць}}$	$Q_{ПС}^{mic}$ , $\frac{\text{кВт} \cdot \text{год}}{\text{місяць}}$	$\Delta Q$ , $\frac{\text{кВт} \cdot \text{год}}{\text{місяць}}$
Жовтень	10	2939,8	1179	1760,7
Листопад	11	4093,9	998	3095,4
Грудень	12	4681,9	888	3794,1
Січень	1	5596,5	1025	4571,8
Лютий	2	3919,7	1223	2696,3
Березень	3	3506,0	1216	2290,1
Квітень	4	1655,0	1000	654,7
		$\sum Q_{втр.сп,i} = 26393$	$\sum Q_{ПС,i}^{mic} = 7530$	$\sum \Delta Q_i = 18863$

Для регіонів з довготривалою хмарною погодою і недостатньою кількістю сонячних днів для повноцінного пасивного опалення будівель доцільна комбінація пасивного сонячного опалення та опалення на вичерпних енергоресурсах. Це дозволяє заощадити вичерпні енергоресурси під час сонячної погоди.

Для регіонів з достатньою частотою сонячних днів слід оптимізувати термічний опір пасивних сонячних систем, для забезпечення мінімальних витрат енергії за опалювальний період.

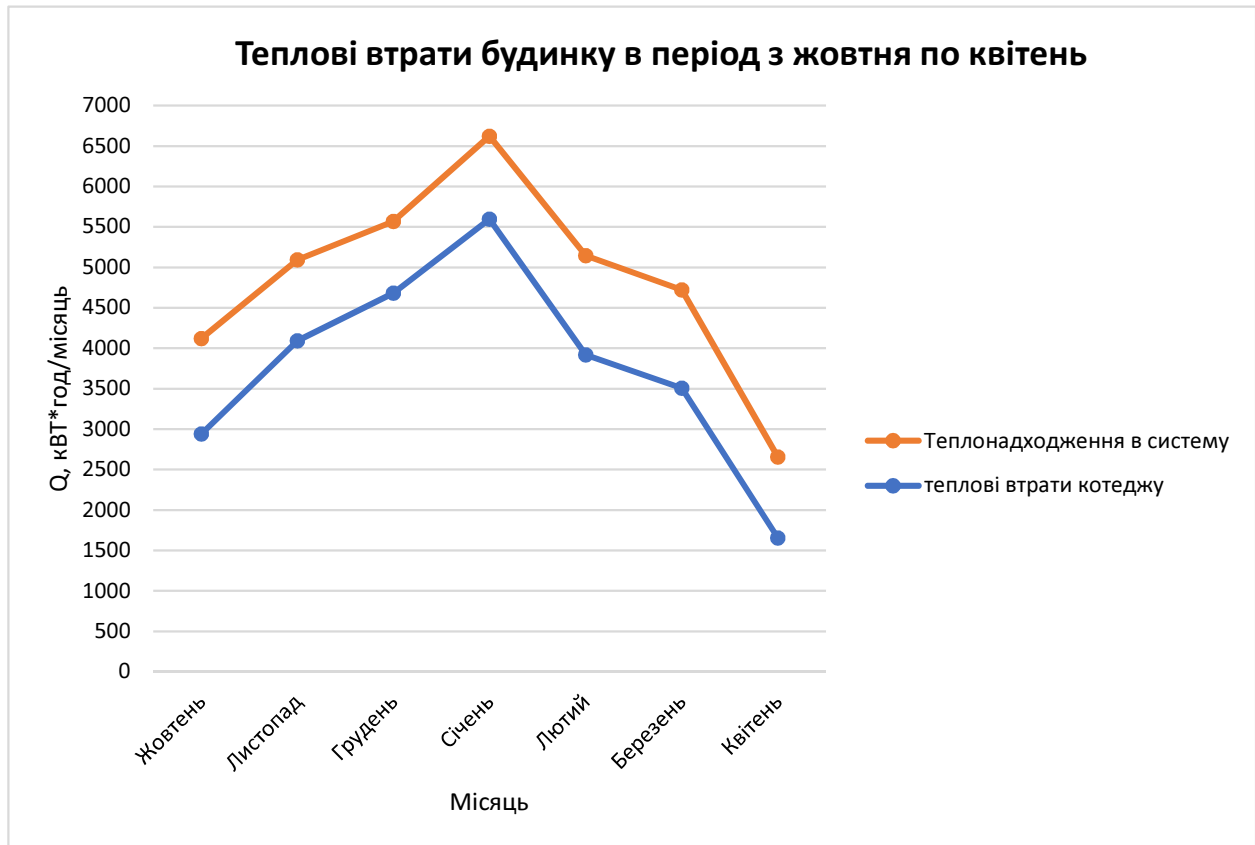


Рисунок 4.3 - Графік теплових втрат будинку в період з жовтня по квітень

#### 4.4.3 Вибір теплонасосного агрегата для системи опалення будинку

##### 4.4.3.1 Визначення необхідної теплопродуктивності теплового насоса

Знайдемо значення найбільшої різниці між тепловими втратами будинку і теплоприходом у систему опалення, кВт. За графіком, зображеним на рисунку 3, бачимо, що найбільша різниця між зазначеними величинами має місце в січні. Обчислимо значення цієї різниці:

$$\Delta Q' = \frac{\Delta Q_{\text{сч}}}{31 \cdot 24}; \quad (4.20)$$

$$\Delta Q' = \frac{4572}{31 \cdot 24} = 6,14 \text{ кВт} \approx 6,2 \text{ кВт} .$$

##### 4.4.3.2 Вибір опалювального агрегата

За обчисленим значенням  $\Delta Q'$  вибираємо тепловий насос типу «повітря-вода» марки GREE, модель GRS-CQ8.QPdNaB-R(O). «Холодне» джерело агрегата – атмосферне повітря, «гаряче» – вода, яка циркулює в системі опалення.

Обраний тепловий насос має наступні технічні характеристики:

– номінальна теплопродуктивність  $Q_T = 8,5 \text{ кВт}$ ;

- електрична потужність, що споживається,  $N = 6,2$  кВт;
- максимальна витрата води  $V_B = 0,72$  м<sup>3</sup>/год;
- максимальна витрата повітря  $V_{\text{пов}} = 1000$  м<sup>3</sup>/год;
- максимальна температура води  $t_{\text{max},B} = 80$  °С;
- мінімальна температура повітря  $t_{\text{min},\text{пов}} = -20$  °С.

У комплекті з тепловим насосом іде додаткове джерело теплоти – електронагрівач потужністю 1,1 кВт. Він установлений за конденсатором у корпусі теплового насоса. На випадок тривалої відсутності сонця чи під час різкого зниження температури електронагрівач зможе забезпечити надійну роботу системи опалення.

#### 4.4.3.3 Розрахунок витрат теплоносіїв через тепловий насос

Холодопродуктивність теплового насоса, кВт:

$$Q_x = Q_c - N ; \quad (4.21)$$

$$Q_x = 8,5 - 2,1 = 2,3 \text{ кВт} .$$

Витрата води в системі опалення:

$$m_g = \frac{Q_c}{c_{p,g} \cdot (t_g'' - t_g')} ; \quad (4.22)$$

де  $\overline{c_{p,g}}$  – середня теплоємність води при проходженні через конденсатор, кДж/(кг·°С).

$t_g'$  – температура води на вході в конденсатор теплового насоса, (у зворотньому трубопроводі системи опалення), °С; приймаємо  $t_g' = 50$  °С;

$t_g''$  – температура води на виході з конденсатора теплового насоса, (у подавальному трубопроводі системи опалення), °С; приймаємо  $t_g'' = 55$  °С.

Середня температура води в конденсаторі теплового насоса:

$$\overline{t_g} = \frac{t_g' + t_g''}{2} ; \quad (4.23)$$

$$\overline{t_g} = \frac{50 + 55}{2} = 52,5 \text{ °С} .$$

Середня теплоємність води згідно з [17] при середній температурі  $\overline{t_g} = 52,5$  °С

$$\overline{c_{p,e}} = 4,1753 \text{ кДж}/(\text{кг} \cdot ^\circ\text{C}).$$

Таким чином, масова витрата води дорівнює:

$$m_e = \frac{2,3}{4,1753 \cdot (55 - 50)} = 0,1 \text{ кг/с} = 360 \text{ кг/год}.$$

Об'ємна витрата води:

$$V_e = \frac{m_e}{\rho_e}, \quad (4.24)$$

де  $\rho_e$  – густина води при її середній температурі,  $\text{кг}/\text{м}^3$ ; по [17] при  $\overline{t_b} = 52,5 \text{ } ^\circ\text{C}$   $\rho_e = 986,9 \text{ кг}/\text{м}^3$ .

$$V_e = \frac{360}{986,9} = 0,364 \text{ м}^3/\text{год}.$$

Бачимо, що витрата води не перевищує допустимого значення  $0,72 \text{ м}^3/\text{год}$ , вказаного у технічному паспорті агрегата.

Витрата повітря через випарник теплового насоса:

$$m_{нов} = \frac{Q_x}{c_{p,нов} \cdot (t_{нов}'' - t_{нов}')}; \quad (4.25)$$

де  $\overline{c_{p,нов}}$  – середня теплоємність повітря при проходженні через випарник теплового насоса,  $\text{кДж}/(\text{кг} \cdot ^\circ\text{C})$ ;

$t_{нов}'$  – температура повітря на вході у випарник теплового насоса,  $^\circ\text{C}$ ; о приймаємо  $t_{нов}' = -10 \text{ } ^\circ\text{C}$ ;

$t_{нов}''$  – температура повітря на виході із випарника теплового насоса,  $^\circ\text{C}$ ; приймаємо  $t_{нов}'' = -20 \text{ } ^\circ\text{C}$ .

Середня температура повітря у випарнику теплового насоса:

$$\overline{t_{нов}} = \frac{t_{нов}' + t_{нов}''}{2}; \quad (4.26)$$

$$\overline{t_{нов}} = \frac{-10 - 20}{2} = -15 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

Середня теплоємність води згідно з [17] при середній температурі

$$\overline{t_{нов}} = -15 \text{ } ^\circ\text{C} \quad \overline{c_{p,нов}} = 1,009 \text{ кДж}/(\text{кг} \cdot ^\circ\text{C}).$$

Тоді витрата повітря дорівнює:

$$m_{нов} = \frac{2,3}{1,009 \cdot (-10 - (-20))} = 0,227 \text{ кг/с} = 820 \text{ кг/год.}$$

Об'ємна витрата повітря:

$$V_{нов} = \frac{m_{нов}}{\rho_{нов}}, \quad (4.27)$$

де  $\rho_{нов}$  – густина повітря при його середній температурі, кг/м<sup>3</sup>; по [17] при  $\overline{t_{нов}} = -15^\circ\text{C}$   $\rho_{нов} = 1,3685 \text{ кг/м}^3$ .

$$V_{нов} = \frac{820}{1,3685} = 600 \text{ м}^3/\text{год.}$$

Витрата повітря не перевищує допустимого значення 1000 м<sup>3</sup>/год, вказаного у технічному паспорті агрегата.

#### 4.4.3.4 Вибір нагрівальних приладів системи опалення

##### 4.4.3.4.1 Вибір марки та типу опалювальних приладів

Використаємо в якості нагрівальних приладів низькотемпературні плоскі радіатори з термостатичним вентилем «Stelrad» серії Compact [26] із температурним режимом 55/50/20 °С (температура води в подавальному трубопроводі системи опалення 55 °С, у зворотному – 50 °С, температура повітря в приміщенні 20 °С).

Для прикладу виконаємо вибір радіаторів для приміщення №1. При цьому визначимо основні технічні характеристики радіаторів. Для інших приміщень розрахунки виконуються аналогічно. Результати зведемо в таблицю 4.7.

##### 4.4.3.4.2 Розрахунок і підбір радіаторів

###### Вибір опалювальних приладів для приміщення №1

Теплові втрати приміщення №1 дорівнюють сумі втрат усіма огорожуючими конструкціями і складає  $Q_{втр} = 669,2 \text{ Вт}$ . Виконуємо перерахунок потужності нагрівального прилада згідно з [26]:

$$Q_{НП} = Q_{втр} \cdot n, \quad (4.28)$$

де  $n$  – низькотемпературний поправковий коефіцієнт; для режиму температур гарячої води в опалювальному приладі 55/50 °С і температури повітря всередині приміщення 20 °С  $n = 1,1$ .

Таким чином, маємо:

$$Q_{НП} = 1580 \cdot 1,1 = 1738 \text{ Вт.}$$

За значенням теплової потужності нагрівального прилада  $Q_{HP} = 1738$  Вт із таблиці номінальних потужностей стандартних опалювальних приладів «Stelrad Compact» [19] для температурного режиму  $75/65/20^{\circ}\text{C}$  вибираємо радіатор типу 33 (номінальна потужність 1800 Вт), який має наступні технічні характеристики:

- габаритна довжина  $L = 700$  мм;
- габаритна висота  $H = 600$  мм;
- габаритна глибина (товщина)  $B = 158$  мм;
- відстань між патрубками  $h = 450$  мм;
- маса  $m = 21,7$  кг;
- ємність  $V = 4,17$  л;
- площа поверхні  $F = 3,8$  м<sup>2</sup>.

Вибір радіаторів для інших приміщень

Для інших приміщень вибір радіаторів виконується аналогічним чином. Результати підбору зводимо в таблицю 4.7.

Таблиця 4.7 - Результати вибору нагрівальних приладів

№ приміщення	Теплове навантаження на радіатор $Q_{emp}$ , Вт	Тип радіатора	Технічні характеристики радіаторів						
			Довжина, $L$ , мм	Висота $H$ , мм	Товщина $B$ , мм	Відстань між патрубками $h$ , мм	Площа поверхні $F$ , м <sup>2</sup>	Ємність $V$ , л	Маса, кг
1	1738	33	900	600	58	450	3,8	4,17	21,7
2	3949	22	1500	600	100	550	7,74	6,6	35
3	2057	21	1000	500	77	350	1,72	2,25	9,85
4	517	33	600	600	158	550	8,13	6,86	36,75
5	506	11	600	600	61	550	3,26	2,28	13,79
6	2981	11	1200	300	61	250	0,79	0,41	2,22

#### 4.4.4 Розрахунок системи установки гарячого водопостачання

4.4.4.1. Системи гарячого водопостачання та опалення з використанням рідинних сонячних колекторів (активні системи). Системи гарячого водопостачання.

У системах ГВП необхідна температура води для споживачів лежить біля  $42^{\circ}\text{C}$  [23].

Вода є придатною для ванни, душу та миття посуду. Максимально припустима

температура води для ГВП складає по нормах  $55\text{ }^{\circ}\text{C}$  [26]. Така температура є розрахунковою для традиційних систем ГВП, але її не слід поширювати на сонячне ГВП. Це пов'язано з тим, що ККД СК зменшується з підвищенням температури теплоносія [22, 23]. Відзначимо, що температура  $55\text{ }^{\circ}\text{C}$  не завжди витримується і у традиційних системах, особливо коли не працює циркуляційний насос і мале споживання гарячої води, яку викликає відносно великі втрати теплоти в трубопроводах.

Сонячні системи ГВП не можуть гарантувати щоденно необхідну температуру води, тому вони обов'язково у своєму складі містять акумулятори та резервне традиційне джерело теплоти [27]. У якості традиційного джерела найчастіше використовують електронагрівальні установки, що не вимагають великих капіталовкладень. Також можуть використовуватися газові колонки, котли на різних видах палива.

У великих системах теплопостачання сонячні колектори слугують першою ступінню підігріву води перед резервуарами [28, 23]. Таке рішення дозволяє зменшити витрати традиційного палива в Україні. Слід відзначити деяку складність методики розрахунку продуктивності установок ГВП для середнього проектувальника.

Досить часто використовуються в комплексі з сонячними системами теплопостачання теплонасосні установки.

Таблиця 4.8 - Вихідні дані

Найменування та позначення величини	Значення величини
Кількість людей, $m$ , чоловік	3
Температура холодної води по [1]:	
а) взимку, $t_{хв.},\text{ }^{\circ}\text{C}$	5
б) влітку, $t_{хл.},\text{ }^{\circ}\text{C}$	15
Середньомісячна температура по [1], $t_{ср.м.},\text{ }^{\circ}\text{C}$ :	
- квітень	8,6
- травень	16
- червень	20
- липень	22
- серпень	21
- вересень	15
- жовтень	8,1

#### 4.4.4.2 Розрахунок системи гарячого водопостачання

##### Середні витрата теплоти на гаряче водопостачання

$$Q_{г.в.ср} = 1,395 \cdot \frac{m_{жс} \cdot (a+b)}{24} \cdot (t_{г.в.} - t_{х.в.}), \quad (4.29)$$

де 1,395 – коефіцієнт, що отриманий як добуток (1,2·4187/3600);

1,2 – враховує тепловіддачу в приміщення від трубопроводів системи гарячого водопостачання (опалення ванних кімнат і приміщень для сушіння білизни);

$m_{жс}$  – кількість жителів будинку;

$a$  – норма витрати води в кілограмах при температурі 55 °С для житлових будівель на одну людину за добу, по [29] знаходимо  $a = 85 \frac{\text{кг}}{\text{добу}}$ ;

$b$  – норма витрати гарячої води в кілограмах при температурі 55 °С для громадських будівель на одну людину,  $b = 0 \frac{\text{кг}}{\text{добу}}$ ;

$t_{г.в.}$  – температура гарячої води у споживачів,  $t_{г.в.} = 55 \text{ °С}$  ;

$t_{х.в.}$  – температура холодної (водопровідної) води в опалювальний період,  $t_{х.в.} = 5 \text{ °С}$ .

$$Q_{г.в.ср} = 1,395 \cdot \frac{3 \cdot (85+0)}{24} \cdot (55-5) = 741,1 \text{ Вт}.$$

##### Середня витрата теплоти на гаряче водопостачання у літній період

$$Q_{г.в.ср}^{л} = Q_{г.в.ср} \cdot \frac{(t_{г.в.} - t_{х.л.})}{(t_{г.в.} - t_{х.в.})} \cdot \beta, \quad (4.30)$$

де  $t_{х.л.}$  – температура холодної (водопровідної) води у літній період,  $t_{х.л.} = 15 \text{ °С}$  ;

$\beta$  – коефіцієнт, яким враховують зниження середньої витрати води на гаряче водопостачання у літній період відносно опалювального, по [29] знаходимо  $\beta = 0,8$ .

$$Q_{г.в.ср}^{л} = 741,1 \cdot \frac{(55-15)}{(55-5)} \cdot 0,8 = 474,3 \text{ Вт}.$$

##### Річна витрата теплоти на гаряче водопостачання

$$Q_{ГВ}^{рпч} = [Q_{г.в.ср} \cdot n_o + Q_{г.в.ср}^{л} \cdot (350 - n_o)] \cdot 24 \cdot 3600, \quad (4.31)$$

де  $n_o$  – продовжуваність опалювального періоду, по [29]  $n_o = 165$  днів;

350 – число робочих днів системи гарячого водопостачання у році з урахуванням 15-денної перерви на ревізію, гідравлічні випробування та



ремонт теплових мереж.

$$Q_{ГВ}^{pic} = [741,1 \cdot 165 + 474,3 \cdot (350 - 165)] \cdot 24 \cdot 3600 = 1,814 \cdot 10^{10} \frac{\text{Дж}}{\text{рік}}.$$

Розрахунок системи гарячого водопостачання із застосуванням сонячних колекторів

Колектор – одно-скляний Київського заводу. Схема руху води – одноконтурна з природною циркуляцією.

Оптимальний кут установки колектору

$$\gamma = \lambda' - 12^\circ = 48 - 12 = 36^\circ,$$

де  $\lambda'$  – географічна широта міста Луганськ,  $\lambda' = 48^\circ$ .

Травень

Кількість теплоти, необхідної на гаряче водопостачання протягом місяця

$$Q_{ГВ}^{mic} = Q_{с.в.ср} \cdot \frac{24}{1000} \cdot n, \quad (4.32)$$

де  $n$  – кількість днів у місяці (для квітня).

$$Q_{ГВ}^{mic} = 741,1 \cdot \frac{24}{1000} \cdot 30 = 533,6 \frac{\text{кВт} \cdot \text{год}}{\text{місяць}}.$$

Коефіцієнт корисної дії колектора по місяцям

$$\eta = \left( \nu - \frac{\kappa \cdot \left( \frac{t_{вх} + t_{вих}}{2} - t_{ср.м}^\delta \right)}{I} \right) \cdot \kappa_{ни}, \quad (4.33)$$

де  $\nu$  – оптичний коефіцієнт скла, приймаємо  $\nu = 0,85$ ;

$\kappa$  – коефіцієнт теплових втрат колектора віднесений до  $1 \text{ м}^2$  скла,  $\kappa = 5$ ;

$\kappa_{ни}$  – коефіцієнт неізотермічності абсорбенту колектора,  $\kappa_{ни} = 1$ ;

$I$  – середній за день потік сонячної енергії,  $I = 464,38 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2}$ ;

$t_{вх}$  – температура водопровідної води,  $t_{вх} = 15^\circ \text{C}$ ;

$t_{вих}$  – температура води на виході з сонячного колектору,  $t_{вих} = 55^\circ \text{C}$ ;

$t_{ср.м}^\delta$  – середньомісячна денна температура, яка перевищує на  $5^\circ \text{C}$  середньомісячну добову температуру  $t_{ср.м}$ :

$$t_{ср.м}^\delta = t_{ср.м} + 5, \quad (4.34)$$

$$t_{ср.м}^\delta = 16 + 5 = 21^\circ \text{C},$$

$$\eta = \left( 0,85 - \frac{5 \cdot \left( \frac{15+55}{2} - 13,6 \right)}{464,38} \right) \cdot 1 = 0,62.$$

Середній теплоприхід на 1 м<sup>2</sup> колектора за день

$$Q_0^{cep} = k_O \cdot k_3 \cdot E_M \cdot e \cdot \eta, \quad (4.35)$$

По [30] максимальна енергія в травні, яка накопичується колектором за день, при нахилі колектора до горизонту під кутом 60°С дорівнює  $E_M = 6512 \frac{\text{Вт} \cdot \text{год}}{\text{м}^2 \cdot \text{день}}$ .

По [30] енергетичний коефіцієнт дорівнює  $e = 0,61$ .

$$Q_0^{cep} = 1 \cdot 6512 \cdot 0,61 \cdot 0,62 = 2461,2 \frac{\text{Вт} \cdot \text{год}}{\text{м}^2 \cdot \text{день}}.$$

Середній теплоприхід на 1 м<sup>2</sup> колектора за місяць

$$Q_{Oсер}^{mic} = Q_0^{cep} \cdot \frac{n}{1000}, \quad (4.36)$$

$$Q_{Oсер}^{mic} = 2461,2 \cdot \frac{30}{1000} = 73,84 \frac{\text{кВт} \cdot \text{год}}{\text{м}^2 \cdot \text{місяць}}.$$

**Необхідна площа колекторів для покриття навантаження на ГВП**

$$F = \frac{Q_{ГВ}^{mic}}{Q_{Oсер}^{mic}}, \quad (4.37)$$

$$F = \frac{533,6}{73,84} = 7,2 \text{ м}^2.$$

Виконавши розрахунки для кожного місяця з періоду, що розглядається, для економії капіталовкладень приймаємо 5 колекторів з площею 1 м<sup>2</sup> кожний, тобто загальна площа колекторів складає  $F = 5 \text{ м}^2$ . У періоди, коли сонячної енергії недостатньо для гарячого водопостачання, вмикається електронагрівач і покриває решту навантаження.

**Кількість теплоти, яку отримують колектори впродовж місяця травня**

$$Q_{кол}^{mic} = Q_{Oсер}^{mic} \cdot F, \quad (4.38)$$

$$Q_{кол}^{mic} = 73,84 \cdot 5 = 369,2 \frac{\text{кВт} \cdot \text{год}}{\text{місяць}}.$$

Аналогічний розрахунок проводимо для інших місяців і отримані результати розрахунків заносимо до таблиці 4.9.

Таблиця 4.9 - Результати розрахунку теплонадходжень сонячної енергії в період з квітня по жовтень

Місяць	$t_{ср.м}$ °C	$t_{ср.м}^{\partial}$ °C	$\eta$	$E_M$ $\frac{\text{Вт} \cdot \text{год}}{\text{м}^2 \cdot \text{день}}$	$\epsilon$	$Q_0^{сер}$ ,	$Q_{Осер}^{міс}$ ,	$Q_{кол}^{міс}$ ,	$Q_{ГВ}^{міс}$ ,	
						$\frac{\text{Вт} \cdot \text{год}}{\text{м}^2 \cdot \text{день}}$	$\frac{\text{кВт} \cdot \text{год}}{\text{м}^2 \cdot \text{місяць}}$	$\frac{\text{кВт} \cdot \text{год}}{\text{місяць}}$	$\frac{\text{кВт} \cdot \text{год}}{\text{місяць}}$	
Квітень	8,6	3,6	0,62	6512	0,61	2461,2	73,84	369,2	533,6	
Травень	6	1	,69	6128	0,62	2620,2	81,23	406,1	551,4	
Червень	0	5	0,732	5953	0,61	2658,1	79,74	398,7	341,5	
Липень	2	27	0,758	6128	0,63	2927,8	90,76	453,8	352,9	
Серпень	21	6	0,753	6512	0,64	3138,7	97,30	486,5	352,9	
Вересень	5	0	0,691	6628	0,6	2749,6	82,49	412,4	533,6	
Жовтень	8,1	3,1	,588	5846	0,52	1786,3	55,37	276,9	551,4	
								$Q_{Осер}^{міс} = 80,1$	$\sum Q_{кол}^{міс} = 2803,7$	$\sum Q_{ГВ}^{міс} = 3217,3$

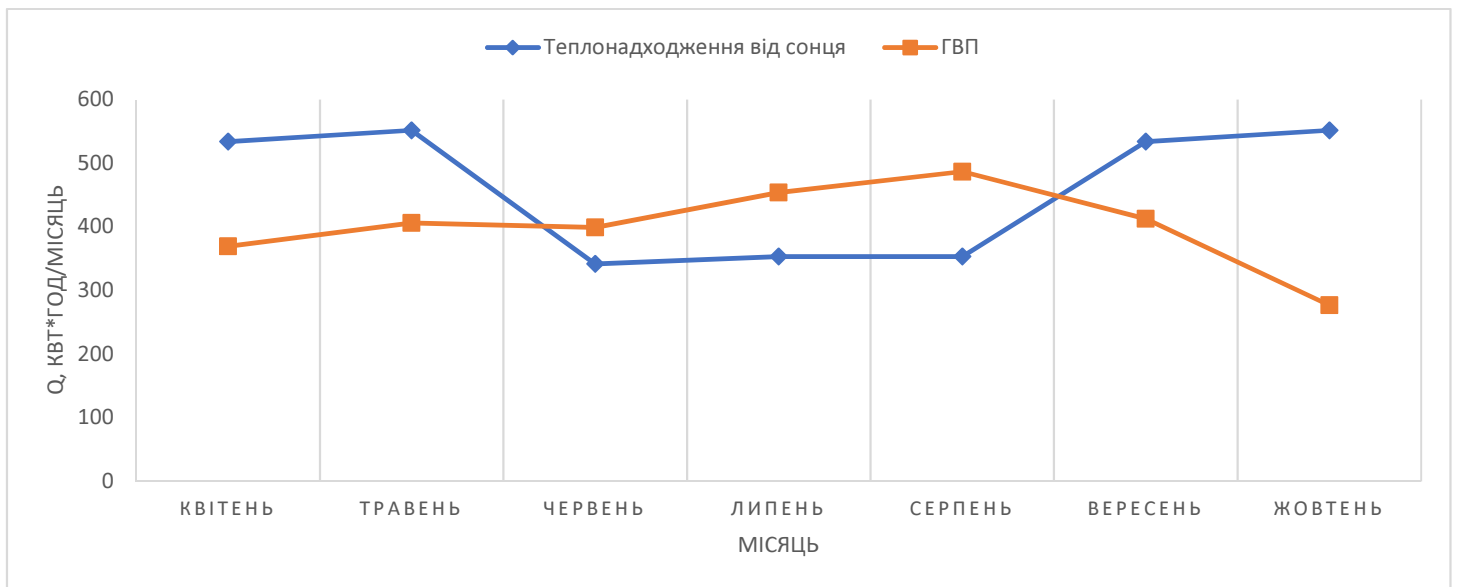


Рисунок 4.4 - Графік споживання теплоти на ГВП і теплоприходу від Сонця в період з квітня по жовтень

#### 4.5 Висновки до розділу

В результаті розрахунку системи теплопостачання котеджу з використанням пасивної системи (південний фасад будинку застеклений), гарячого водопостачання та з використанням сонячного колектора та льодяної стіни були отримані такі результати:

1. Розрахунки показали, що за опалювальний період сумарний теплоприхід від пасивної системи в приміщення складає 7530 кВт·год при теплових втратах будинку, що дорівнюють 26393 кВт·год. Таким чином, встановлення пасивної системи дозволяє компенсувати приблизно 30 відсотків від сумарних втрат теплоти житловим будинком. Розрахунки показали, що термін окупності даної системи складає приблизно 4,6 років. В якості основного джерела теплоти для системи опалення використовується тепловий насос типу «повітря-вода».

2. Теплоприхід від сонячного колектора в період з квітня по жовтень становить 2803,7 кВт·год. Протягом трьох літніх місяців надходження теплоти від сонця до колектора повністю покриває потреби на гаряче водопостачання, які за весь період з квітня по жовтень складають 3217,3 кВт·год. Для решти місяців догрівання гарячої води буде виконуватися традиційним джерелом теплоти, яким у даному випадку є електронагрівач. Термін окупності такої системи 5,6 років. Для потреб гарячого водопостачання на даху будинку встановлений теплоізолюваний бак-акумулятор, з якого подається гаряча вода для споживання, діаметр бака 0,7 м, висота 0,8 м.

3. Використання теплоти кристалізації води у буферній зоні котеджного будинку дозволило зменшити теплові втрати через зовнішні обгородження будинку майже вдвічі, а саме в 2,04 рази.

4. Після аналізу використання теплоти кристалізації води матеріали були використані для оформлення та отримання патенту на корисну модель.

## **5 РОЗРОБКА СТАРТАП ПРОЕКТУ: «СТВОРЕННЯ ПРОЕКТІВ КОТЕДЖІВ З ВИКОРИСТАННЯМ НЕТРАДИЦІЙНИХ ДЖЕРЕЛ ТЕПЛОПОСТАЧАННЯ» .**

### **5.1 Резюме проекту**

Запропоновано створення проекту будинку, який буде поєднувати в собі архітектурні і інженерні рішення направлені на використання нетрадиційних джерел теплопостачання.

В проекті буде закладено використання таких нетрадиційних джерел, як: сонячні колектори, тепловий насос, ґрунтовий теплообмінник.

Архітектурним проектом буде передбачено використання льодяної стіни і стіни «Мішеля-Тромба».

В перспективі ці технології можна використовувати, наприклад, на Марсі. Там виявлено поклади льоду, що дасть можливість використовувати його для ізоляції будівель без використання інших матеріалів і економити на транспортуванні їх на планету.

Так як вночі температура може досягати  $-128\text{ C}^0$ , що дає можливість наморозити льодяну стіну, а вдень сягає  $+30\text{ C}^0$ , що дає можливість розморозити ті поклади, які вже є на планеті.

Автори проекту

В таблиці 5.1 – Автори проекту, наведені всі автори, що беруть участь у проекті:

Таблиця 5.1 – Автори проекту

Прізвище, ім'я, по батькові	Місце роботи (для студентів – факультет, група), адреса ел. пошти
Живиця Катерина Олегівна	НТУУ «КПІ» ТЕФ, ТП-61м, магістрант, zhivitsia.ekaterina@gmail.com
Пуховий Іван Іванович	НТУУ «КПІ» імені І.Сікорського, ТЕФ, д.т.н., проф.

### **5.2 Види та спрямованість проекту**

Вид проекту – це проектування. Проектування будинку з використанням нетрадиційних джерел енергії.

Проект спрямований на економію енергоресурсів, адже з використанням льодяної стіни і стіни Мішеля-Тромба можна зменшити тепловтрати будинку.

В таблиці 5.2 – Аналіз ідеї проекту, наведено основні ідеї та напрямки, а також вигода для користувача:

Таблиця 5.2 – Аналіз ідеї проекту

Зміст ідеї	Напрямки застосування	Вигоди для користувача
Запропоновано проектування будинків з використанням різноманітних нетрадиційних джерел теплопостачання.	1.Персональні будинки.	Економія енергоресурсів, економія коштів.
		Незалежність від цін на гарячу воду та опалення

Визначення характеристик ідеї проекту.

В таблиці 5.3– Характеристики ідеї проекту, наведено сильні та слабкі сторони у порівнянні з найближчими конкурентами:

Таблиця 5.3 - Характеристики ідеї проекту

Техніко-економічні характеристик и ідеї	Продукція конкурентів				W (слабк а сторона)	N (нейтраль на сторона)	S (сильн а сторона)
	Мій проект	Кон-т 1 (зазначити)	Кон-т 2 /(зазначити )	Кон-т 3 (зазначит и)			
Створення проекту будинку з установкою для наморозження льоду.	Створення П-образної установки для наморозження льоду і зменшення тепловтрат.					-	
Створення проекту будинку з установкою стіни «Мішеля-Тромба»	Створення проекту будинку з архітектурним рішенням, яке передбачає встановлення з південної сторони лоджії.	Z500	FreeDom Project	Архитек турная компания TMV		-	

### 5.3 Технологічний аудит ідеї проекту.

Проводиться аудит технології, за допомогою якої можна реалізувати ідею проекту (технології створення товару, надання послуги).

Визначення технологічної здійсненності ідеї проекту передбачає аналіз таких складових (таблиця 5.4):

- за якою технологією буде виготовлено товар згідно ідеї проекту?
- чи існують такі технології, чи їх потрібно розробити/добробити?
- чи доступні такі технології авторам проекту

Таблиця 5.4 - Технологічний аудит ідеї проекту

Ідея проекту	Технології її реалізації	Наявність технологій	Доступність технологій
Створення проекту будинків з використанням різноманітних нетрадиційних джерел теплопостачання.	Створення П-образної установки для намороження льоду і архітектурне рішення, яке передбачає встановлення з південної сторони лоджії.	Наявна	Доступна авторами проекту

Технологія виготовлення П-образної установки для намороження льоду і архітектурне рішення, яке передбачає встановлення з південної сторони лоджії досліджена авторами проекту і може бути використана для реалізації бізнес плану.

### Правове забезпечення ідеї проекту.

Визначається рівень захисту основних складових ідеї проекту (таблиця 5.5)

Таблиця 5.5 - Правове забезпечення ідеї проекту

Реєстраційний номер патенту, країна	Назва патенту	Автор патенту	Наявність прав використання	Монопольність використання
UA 120648	Спосіб утворення льодяної стіни в холодному повітрі	Пуховий І.І Живиця К.о.	+	+

**Висновок щодо науково-технічного рівня ідеї (необхідне підкреслити):**

- немає аналогів в світі або краща за існуючі в світі аналоги;
- на рівні кращих світових аналогів;
- немає аналогів в Україні;
- краща за існуючі в Україні аналоги за основними показниками;
- перевищує існуючі в Україні аналогічні розробки за окремими показниками.

#### 5.4 Аналіз ринкових можливостей запуску проекту

Характеристика потенційних споживачів.

Визначається характеристика потенційного споживача проекту

Таблиця 5.6 - Характеристика потенційного споживача

Потреба, що формує ринок	Цільова аудиторія	Особливості поведінки споживачів	Вимоги споживачів до товару
Потреба в економії коштів на будівництві.	Власники котеджів.	Споживачі зацікавлені економити власні кошти та дбати про екологію.	Екологічність, дешевизна, висока якість.

#### SWOT-аналіз проекту

Перелік сильних та слабких сторін проекту Таблиця 5.7.

Таблиця 5.7 - Аналіз сильних та слабких сторін проекту

Сильні сторони (S): Доступність матеріалів, економія енергоресурсів, ноу- хау, монопольність на ринку, висока якість продукції	Слабкі сторони (W): Пошук споживачів продукції.
Можливості (O): Удосконалення способів, розширення ринку	Загрози (T): Відсутність ринку



### Оцінка ризиків проекту

На основі проведеного SWOT-аналізу виділяються найзагрозливіші (не більше 5-ти), якими необхідно управляти для того, щоб реалізація проекту стала можливою. Експертним шляхом визначаються параметри ризику:

Таблиця 5.8 - Оцінка ризиків

Найменування ризику	Міра ризику	Рівень ризику	Метод мінімізації
Відсутність ринку	висока	високий	Виділення коштів на рекламу
Тепла зима	середня	середня	Пошук інших ринків

### 5.5 Обґрунтування економічних параметрів проекту

#### Визначення ціни

Експертним методом визначається ціна продукції з огляду на ціни на товари-аналоги або товари субститути, а також рівень доходів цільової групи споживачів (таблиця 5.9)

Таблиця 5.9 - Визначення ціни проекту.

Рівень цін на товари-замінники	Рівень цін на товари-аналоги	Рівень доходів цільової групи споживачів	Верхня та нижня межі встановлення ціни на продукцію	Розрахункова ціна продукції
80 грн/1м.	70 грн/1м.	Вище середнього	50-90грн/1м. погонний	40грн/1м. погонний

#### Визначення обсягу виробництва продукції.

Експертним методом визначається обсяг виробництва продукції з огляду на ціни на товари-аналоги або товари субститути, а також рівень доходів цільової групи споживачів (таблиця 5.10).

Таблиця 5.10 – Визначення обсягу виробництва продукції

Показник	Значення по роках			
	2018	2019	2020	2021
Загальна потреба в продукції	5-7	7-9	9-12	12-30
Можливі річні обсяги випуску в натуральних показниках	5-7	7-9	9-12	12-30
Ціна одиниці продукції (тис. грн.)	0,07	0,08	0,09	0,1
Річні обсяги випуску в вартісних показниках (тис. грн.)	72	100	150	195

### 5.6 Планування проекту

Розрахунок загальних початкових інвестиційних витрат

Визначаються першочергові витрати, необхідні для запуску проекту – ті, що передують основній діяльності та мають бути понесені для її реалізації.

Таблиця 5.11 – Планування проекту

Назва етапу	Строки виконання	Обсяги фінансування, тис. грн.
Проектування системи	1 місяць	70
Витрати на управління	1 місяць	20
Інші витрати		5
Разом	1 місяць	95

## Розрахунок виробничих витрат

Визначаються витрати, необхідні для реалізації поточної діяльності за проектом (виробництво продукції, надання послуг тощо).

Таблиця 5.12 – Розрахунок виробничих витрат

Показник	Значення по роках				Разом
	2018	2019	2020	2021	
Інвестиційні витрати (п. 5.1)	100	-	-	-	100
Виробничі витрати (п. 5.2)	115	170	265	320	870
Обсяг загальних витрат, в тому числі за рахунок	125	170	265	320	870
– власних коштів	-	-	-	-	-
– кредиту	-	-	-	-	-
– коштів інвестора	125	170	265	320	870

## Розрахунок загальних витрат на реалізацію проекту по роках

Таблиця 5.13 – Розрахунок загальних витрат на реалізацію проекту по роках

з/п	Стаття витрат	Сукупні витрати за період, тис. грн.			
		2018	2019	2020	2021
1.	Загальногосподарські витрати	5	10	15	30
1.1	витрати на просування та рекламу	15	30	90	100
2.	Витрати на оплату праці проектувальників	95	130	160	190
Разом		115	170	265	320

### 5.7 Прогнозування фінансово-економічної ефективності проекту

#### Визначення терміну окупності проекту

Проект за визначених показників окупиться не більш як через 3 роки після початку його впровадження.

Формування грошового потоку від реалізації проекту.

Чистий дисконтований дохід (NPV, Net Present Value) – це різниця між надходженнями за весь період інноваційного проекту та інвестиціями в проект.

Таблиця 5.14 - Формування грошового потоку від реалізації проекту

Показник	Значення по роках				Разом
	2018	2019	2020	2021	
Надходження від проекту (виручка від реалізації продукції, послуг – див. п. 5.2) (D)	150	300	600	900	1950
Загальні витрати (див. п. 5.3) (I), в тому числі	125	170	265	320	870
Грошовий потік (3 = 1 – 2) (CF)	25	130	335	580	1080

Можна зробити висновок, що проект інвестиційно привабливий.

#### Розрахунок індексу рентабельності інвестицій в проект

(ROI, Return On Investment) характеризує рівень грошового потоку, що припадає на одиницю інноваційних витрат і обчислюється за формулами:

$$ROI = \frac{\sum D_i}{\sum I_i},$$

$$ROI = \frac{1950}{870} = 2,3$$

$ROI > 1$  – інноваційний проект доцільно прийняти.

### **5.8 Висновки до розділу**

Економія енергоресурсів та екологічність - ті критерії, які роблять даний проект привабливим для інвестора.

## **РОЗДІЛ 6 ТЕХНІЧНІ РІШЕННЯ І ЗАПОБІЖНІ ЗАХОДИ З ОХОРОНИ ПРАЦІ ТА БНС.**

Основною мета охорони праці - безпека праці, попередження травматизму і професійних захворювань, пожеж і вибухів на виробництві.

Основними завданнями охорони праці є: створення безпечних умов праці робочого персоналу, попередження професійних захворювань, виконання контролю за виконанням техніки безпеки на виробництві.

Вірогідність нещасних випадків на виробництві в Україні на цьому етапі набагато перевищує ті ж показники в розвинених зарубіжних країнах. У наслідок отримання травми людиною на виробництві знижується продуктивність праці, з'являються додаткові витрати на виплату компенсацій хворим або інвалідам, виникають соціально-економічні і психологічні проблеми як в колективі, так і у окремо взятих людей, пов'язаних з нещасним випадком на виробництві. При чіткому виконанні усіх правил і вимог охорони праці людина може захистити себе від різних виробничих травм, поразок електричним струмом, професійних захворювань.

У цьому дипломному проекті розроблена система теплонасосного опалення житлового будинку. Установа працює по зворотному циклу Ренкіна (термодинамічному циклу), забираючи теплоту каналізаційних стоків, повітря, що віддаляється з будинку витяжною вентиляцією, зовнішнього повітря, землі на яку упирається будинок.

В даному розділі запропоновані технічні рішення та організаційні заходи з безпеки експлуатації теплового насоса, а також визначено основні заходи з гігієни праці та виробничої санітарії і визначені основні заходи пожежної безпеки.

### **6.1 Технічні рішення та організаційні заходи з безпечної експлуатації теплового насоса**

#### 6.1.1 Компонівка основного і допоміжного обладнання

Приміщення теплонасосної знаходиться в підвальному поверсі будівлі, ізольовано від житлових приміщень і має розміри 4,4×4,5м при висоті стелі 3м. У цьому приміщенні розміщені: тепловий насос, циркуляційний насос, теплоакумуляуюча посудина, бак з етиленгликолевою сумішшю.

Циркуляція незамерзаючої етиленгликолевої суміші через випарник теплового насоса здійснюється за допомогою циркуляційного насоса. Ця суміш циркулює через теплообмінник, який складається із сталевих емальованих труб, в середині якої тече умовно чиста частина каналізаційних стоків.

При температурі зовнішнього повітря нижче  $-2^{\circ}\text{C}$ , або в інших випадках, коли потужності першого і другого контура не вистачає, з'являється потреба у використанні третього контура циркуляції через атмосферний теплоприймач з подачею в нього холодоносія з температурою  $-20\dots-25^{\circ}\text{C}$

При температурі зовнішнього повітря нижче  $-10^{\circ}\text{C}$ , включається четвертий контур циркуляції етиленгліколевої суміші - через ґрунтовий теплообмінник, який розміщується безпосередньо під теплоізолюваною підлогою підвалу.

Приміщення теплонасосної ізолювано від інших приміщень будівлі.

Тепловий насос оснащений приладами управління і контролю, засобами автоматизації.

#### 6.1.2 Електробезпека

В приміщенні теплонасосної встановлено наступне устаткування:

- два теплових насоса TRANE CGWH 125 (основний і резервний)  
Технічні характеристики TRANE CGWH 125:
  - Холодоносії R - 12.
  - Номінальна холодопродуктивність  $Q_n=80,3\text{кВт}$ .
  - Номінальна потужність  $N_k=19\text{ кВт}$ .
  - Температура в камері  $3^{\circ}\text{C}$ .
  - Температура повітря на вході в конденсатор  $18^{\circ}\text{C}$
- два циркуляційних насоса фірми "Grundfos" LMD 80-160 (основний і резервний)  
Технічні характеристики "Grundfos" LMD 80-160 :
  - При витраті теплоносія  $18\text{ м}^3/\text{год}$  насос створює натиск  $11,5\text{ м вод. ст.}$
  - Потужність електродвигуна -  $N_{\text{max}}=1,5\text{ кВт}$ ,
  - Кількість обертів за хвилину -  $n_{\text{max}}=2890\text{ хв}^{-1}$ .
- два підживлювальних насоса фірми "Wilo" CR 1-8 (основний і резервний), що живляться від 4-х дротів 3-х фазній мережі електропередачі з глухо-заземленою нейтраллю, напругою  $380/220\text{ В}$ .  
Технічні характеристики "Wilo" CR 1-8:
  - Потужність електродвигуна -  $N=0,55\text{ кВт}$ ,
  - Кількість обертів за хвилину -  $n=2950\text{ хв}^{-1}$ .

Мережа трифазна 4-х дротяна з глухо-заземленою нейтраллю. Згідно з ГОСТ 12.1.038-82 у приміщенні теплонасосної є два чинники підвищеної небезпеки електротравматизму, а саме, є можливість одночасного дотику до корпусу двигуна компресора і до металоконструкції, що мають контакт з землею. Підлога в теплонасосній бетонна струмопровідна. Відсутній струмопровідний пил, відносна вологість не перевищує

75%, температура повітря 35<sup>0</sup>С. Приміщення відноситься до I категорії по небезпеці електротравматизму - з підвищеною небезпекою.

#### 6.1.3 Технічні рішення по запобіганню електротравматизму від дотику до нормальної струмопровідних частин електрообладнання.

1. Ізоляція нормально струмопровідних частин, запобігає контакту з струмопровідними частинами. При монтажі системи електропостачання опір ізоляції має бути не нижче 1кОм/В, надалі контролювати щорічно перед кожним опалювальним сезоном. Опір ізоляції не має бути нижче 0,5кОм/В. Гранично допустима напруга дотику і струм що проходить через людину при нормальному (неаварійному) режимі роботи електроустановки згідно ГОСТ 12.1.038-82 дорівнюють  $U_{пр}=2В$ ,  $I_{пр}=0,3мА$  (змінний струм).

2. Освітлення приміщення теплонасосної - стельові світильники з лампочками розжарювання, напруга живлення 220В, висота підвісу 3м. Підведення живлення виконується так, щоб не перетиналися проходами, що проходять, і трубопроводами. Усі кабелі включені в спеціальні короба, які розміщені у верхній частині споруди і надійно закріплені.

3. Застосування засобів орієнтації в електроустановці (маркування і певне забарвлення коробів і дротів).

4. Приміщення теплонасосної має окремий вхід з металевими дверима - це унеможливило попадання в небезпечне приміщення сторонніх. Усі роботи по монтажу, підключенню і ремонту електроустановки повинні виконуватися фахівцем - електриком.

#### 6.1.4 Технічні рішення щодо запобігання електротравм під час переходу напруги на нормально не струмопровідні частини електрообладнання

З метою забезпечення надійної роботи ізоляції виробляється профілактичні дії. Спочатку потрібно виключити механічне ушкодження, вологість, хімічний вплив, запилення. Навіть з нормальними роботами ізоляція постійно втрачає свої первинні якості. Відбувається так званий пробій ізоляції, в слідстві чого виникає коротке замикання, яке може привести до поразки електричним струмом. В цілях захисту людей від поразки електричним струмом при аварійних попаданнях напруги на будь-які струмопровідні частини теплового насоса, застосовується занулення - умисне електричне з'єднання нормально неструмопровідних частин електроустановки із заземленим нульовим дротом.

При пробії фази на корпус електроустановки створюється коротке замикання, що викликає відключення електроустановки.

При пробитті фази на корпус, струм проходить через трансформатор, фазовий дріт, запобіжник корпус електроустановки, нульовий провід.



При короткому замиканні в нульовому дроті виникає небезпека поразки, яка існуватиме до тих пір, поки не станеться виключення пошкодженого устаткування за рахунок згорання запобіжника або виключення апарату. Занулення використовується в трифазних електричних лініях до 1000В з глухо-заземленою нейтраллю.

#### 6.1.5 Електрозахисті засоби захисту персоналу при обслуговуванні електрообладнання приміщенні теплонасосної

При обслуговуванні обслуговуючим персоналом електричних пристроїв, що перебувають під напругою (при неможливості їх знеструмити) -застосовуються засоби захисту від дії електричного струму.

Засоби колективного захисту: екрани; переносні заземлення; огороження.

Засоби індивідуального захисту: діелектричні рукавички, боти, калоші, килими, підставки; монтерський інструмент із ізольованими ручками; оперативні й струмовимірювальні кліщі, штанги й т.п.

Електрозахистні засоби повинні періодично випробовуватися: придатність електрозахистних засобів підтверджується клеймом.

Норми і терміни електричних випробувань електрозахисних засобів  
рукавички діелектричні - 1 раз в 6 місяців;  
калоші діелектричні - 1 раз в 12 місяців;  
ізолюючі накладки - 1 раз в 24 місяці.

## 6.2 Технічні рішення та організаційні заходи з гігієни праці та виробничої санітарії

### 6.2.1 Мікроклімат та повітря робочої зони.

Повітря робочої зони включає в себе:

- мікроклімат приміщень;
- склад повітряного середовища.

Відповідно ДСН – 3.3.6.042-99 під мікрокліматом виробничих приміщень розуміють клімат їх внутрішнього середовища, який визначається діючими на організм людини температурою, вологістю, швидкістю руху повітря та тепловим випромінюванням.

Використовуваний в теплонасосній установці етиленгликолева суміш малотоксична, в класифікації, приведеній в ГОСТ 12.1.005-88 вона відсутня. Може представляти небезпеку тільки у разі значних витоків. Всього в системі знаходиться 50 кг етиленгліколю.

Для виключення накопичення його в приміщенні теплонасосної у разі витоків, під час роботи компресора включається вентиляція. Повітря, що видаляється, забирається з нижньої частини приміщення, оскільки пари етиленгліколю важче за повітря і збиратимуться внизу.

Таблиця 6.1 – Оптимальні та допустимі норми температури, відносної вологості та швидкості руху повітря у робочій зоні виробничих приміщень

Період року	Температура, °C		Відносна вологість, %		Швидкість руху повітря, м/с	
	Оптимальна	Допустимий діапазон	Оптимальна	Допустимі	оптимальна	Найбільша
Холодний	17-20	Для постійних робочих місць 15-23, для непостійних 10-24	40-60	75	0,2	0,4
Теплий	20-23	Для постійних робочих місць 16-27, для непостійних 15-29	40-60	75 при $t < 24$ °C	0,3	0,5

Фактичні параметри відповідають вимогам, приведеним в таблиці.

#### 6.2.2 Захист від виробничого шуму

1. Головним джерелом шуму в приміщенні теплонасосної є компресор,

за паспортними даними компресора сумарні значення рівня звуку складають 150 дБА, звідси необхідна звукоізоляція:  $R_{А\text{треб}} = 150 - 20 = 130$  дБА.

Шум нормується за граничними спектрами, тобто встановлюється допустимий рівень сили звуку в стандартних октавних смугах зі середньгеометричними частотами 31,5 – 8000 Гц або за рівнем звуку – в дБА.

2. Нормування по допустимих значеннях рівень звуку  $L_A$ , дБА.

Для забезпечення комфортних умов в житлах, особливо в нічний час, допускається значення рівня звуку - 20 дБА. Нормовані параметри шуму

( ДСН 3.3.6.037-99)

3. Між приміщенням теплонасосної і житлом розташовано дві цегляні стіни (маса  $1\text{ м}^2$  стіни  $M_{\text{ст1}}=800\text{ кг/м}^2$ ,  $M_{\text{ст2}}=400\text{ кг/м}^2$ ), а також залізобетонна багатопустотна панель перекриття масою  $M_{\text{пер}}=250\text{ кг/м}^2$ .

Загальна звукоізоляція житла, дБА:

$$R_{A\Sigma}=R_{A\text{ст1}}+R_{A\text{ст2}}+R_{A\text{пер}}, \quad (6.1)$$

де  $R_{A\text{ст1}}$ ,  $R_{A\text{ст2}}$ ,  $R_{A\text{пер}}$  - відповідно звукова ізоляція першої, другої стіни і перекриття.  
Звукоізоляція окремої стіни (перекриття) :

$R_{\text{треб}}=60$  дБА.

Отже, будівельні конструкції забезпечують достатній захист від шуму, і додаткова звукоізоляція не вимагається.

### 6.2.3 Освітлення

Рекомендації по оптимальним параметрам освітлення виробничих приміщень в робочій зоні з ціллю збереження здоров'я, запобігання виробничих травм та нещасних випадків згідно ДБН В 2.5.28-2006.

У приміщенні теплонасосної освітлення- загальне штучне.

Розряд зорових робіт - V;

під розряд зорової роботи - Г;

характеристика зорової роботи - середньої точності;

розмір об'єкту розрізнення - 0,5-1,0мм;

контраст об'єкту розрізнення з фоном - великий;

фон - світлий.

Необхідна освітленість теплонасосної - 150Лк.

Оскільки висота стель в теплонасосної 3м, штучне освітлення передбачити від мережі напругою  $U=42\text{ В}$ .

## 6.3 Безпека в надзвичайних ситуаціях

### 6.3.1 Оповіщення та евакуація

Згідно ст. 27 ПКМ від 15.02. 99 N 192 "Положення про організацію оповіщення і зв'язку у надзвичайних ситуаціях" передбачено:

– встановлення електросирен з можливістю централізованого запуску (місце встановлення: газова котельня);

– обладнання всіх виробничі, службові та адміністративні приміщення радіотрансляційними точками (радіоприймачами відповідного діапазону для районів, де немає проводового мовлення) для гарантованого приймання програм державного радіомовлення;

– безперешкодний допуск працівників, які здійснюють експлуатаційно-технічне обслуговування апаратури і технічних засобів оповіщення та зв'язку ЦО, за пред'явленими ними посвідченнями особи на територію та в приміщення своїх підприємств, установ і організацій для проведення ремонту або інших робіт, пов'язаних з технічною експлуатацією та обладнанням систем оповіщення.

Готовність систем оповіщення забезпечено шляхом:

- організованої цілодобової чергової операторів котельні;
- налагодження телефонного зв'язку чергових служб котельні з оперативно-черговою службою пункту управління облдержадміністрації та черговими службами органів Державної служби з надзвичайних ситуацій в місті Бориспіль;
- завчасної підготовки персоналу чергових служб до дій у надзвичайних ситуаціях;
- впровадження автоматизованих систем оповіщення з використанням сучасних технологій;
- якісного експлуатаційно-технічного обслуговування апаратури і технічних засобів оповіщення та системи зв'язку.

### 6.3.2 Дії персоналу при надзвичайних ситуаціях

Відповідно до вимог Кодексу цивільного захисту України робочим проектом передбачено комплекс технічних заходів з забезпечення підготовки персоналу до дій у надзвичайних ситуаціях за умовою регламентної експлуатації котельні. Серед них:

- планування та здійснення необхідних заходів для захисту своїх працівників, об'єктів господарювання;
- розроблення планів локалізації та ліквідації аварій з подальшим погодженням з Державною службою України з надзвичайних ситуацій;
- підтримання у готовності до застосування сил і засобів із запобігання виникненню та ліквідації наслідків надзвичайних ситуацій;
- створення та підтримання матеріальних резервів для попередження та ліквідації надзвичайних ситуацій;
- забезпечення своєчасного оповіщення своїх працівників про загрозу виникнення або при виникненні надзвичайної ситуації.

Згідно, Кодексу цивільного захисту України, основною особливістю дій малих підприємств при загрозі або виникненні надзвичайних ситуацій є в першу чергу захист персоналу та відвідувачів. Виходячи з ст. 130 Кодексу цивільного захисту України, для котельні, як для підприємства з чисельністю персоналу 50 осіб і менше, передбачено:

- розробка та затвердження інструкцій щодо дій при загрозі або виникненні надзвичайних ситуацій. Розробка інструкції не повинна суперечити положенням та вимогам Кодексу цивільного захисту України. Інструкція розробляється та підписується посадовою особою підприємства з питань цивільного захисту, затверджується керівником підприємства та доводиться до всіх працівників під підпис;

- розробка та затвердження плану евакуації при пожежі або загрозі вибуху;

- внесення до посадових інструкцій працівників деяких конкретних заходів, що не відображені в нормативних документах підприємства;

- розробка та інформування всіх працівників з Порядком цілодобового оповіщення керівництва та працівників у випадку загрози або виникнення надзвичайної ситуації. Всі працівники підприємства повинні бути навчені діям, чітко знати свої обов'язки та неухильно їх виконувати. Це також стосується адміністрації малого підприємства, яка в екстремальній обстановці не може приймати помилкові рішення або віддавати необґрунтовані розпорядження. Уникнути цього дозволить якісно розроблена Інструкція щодо дій персоналу малого підприємства при загрозі або виникненні надзвичайних ситуацій, наведена нижче.

### 6.3.3 Пожежна безпека та профілактика

Пожежна безпека забезпечується: системою запобігання пожежі, системою протипожежного захисту, організаційно-технічними заходами.

У приміщенні може виникнути пожежа у випадку порушення ізоляції електропроводів й устаткування при короткому замиканні, при порушенні правил пожежної безпеки, при порушенні правил експлуатації електроустановок. У приміщенні експлуатації знаходяться наступні пожежонебезпечні матеріали: складові частини вентиляційного устаткування – електро - й теплоізоляція установки. Приміщення згідно з НАПБ Б.03.002-2007 відноситься до категорії "В", а робочі зони згідно з ДНАОП 0.00-1.32-0 відносяться до класу П-ІІ-а з пожежонебезпеки.

Існує можливість пожежі при короткому замиканні в системі електроживлення. Для усунення можливості запалення, живлення електричною енергією відбувається через щиток, на якому встановлені автоматичні вимикачі. При підвищенні струму вище допустимого значення (5А), відбувається відключення електронної техніки від загальної мережі електроживлення. Кабелі електропроводки захищені негорючою ізоляцією. Згідно вимог ДБН В.2.5-13-98 у приміщенні передбачена система автоматичної пожежної сигналізації.

У повітрі приміщення немає ніяких вибухонебезпечних паро- і газоповітряних сумішей. Для евакуації людей з приміщення використовується один евакуаційний вихід, розроблена схема шляхів евакуації при пожежі, яка розташована на стіні біля дверей виходу.

Приміщення, де розташовані кабельні комунікації, має II ступінь вогнестійкості з межею вогнестійкості 0,75 ч. (СНиП 2.01.02-85).

Відповідно до вимог, розглянуте приміщення категорії "Д" не входить у перелік приміщень, що підлягають устаткуванню автоматичними установками пожежогасіння. Згідно вимог ISO 3941-77 та ДСТУ 3675-98, із засобів пожежогасіння в приміщенні необхідна наявність одного вогнегасника типу ОУ-8 (1 шт.).

У приміщенні передбачений вільний доступ до виходу на випадок евакуації.

Мінімальний час евакуації, ширина евакуаційних виходів та проходів, максимальна віддаленість робочих місць від евакуаційних виходів відповідають вимогам ДБН В.1.1-8-2002, СНиП 1.01.02-85 та СНиП 2.09.02-85.

Система протипожежного захисту відповідає НАПБА.01.001-95 – Правила пожежної безпеки в Україні.

## ВИСНОВКИ

На сьогоднішній день, зменшення ресурсів енергії є однією з найбільших проблем людства. До того ж, вартість традиційних джерел постійно зростає. А екологічні проблеми, які виникли в усьому світі, не минули і Україну. У зв'язку з цим, актуальним питанням сьогодення постає економія енергії. З'являється неабиякий інтерес до відновлюваних джерел енергії (енергія землі, води, Сонця).

Актуальність роботи визначається зацікавленістю нетрадиційними джерелами енергії у зв'язку зі стрімким зменшенням традиційних енергоресурсів, підвищенням на них цін та екологічними проблемами, які виникли в усьому світі.

Проблема ресурсозбереження є актуальною на сьогодні для України, як і для усього світу. Вона пов'язана з обмеженістю енергоресурсів, економічними проблемами і її найважливішим екологічним аспектом.

Найкращим вирішенням проблеми є пасивні системи, які є частиною архітектурного рішення будинку.

В магістерській дисертації розглянуто доцільність використання теплоти кристалізації води у буферній зоні будівлі, утвореної льодяною огорожею.

Тема є досить актуальною оскільки, як вже зазначалося раніше, екологічні проблеми стрімкого зменшення запасів та підвищення цін на традиційні енергоресурси зумовлюють збереження енергії, і як наслідок приділяється більше уваги дослідженню та використанню нетрадиційних джерел енергії.

В результаті зроблено наступні висновки:

1. При огляді джерел було виявлено, що досі лід, як нетрадиційне і відновлювальне джерело використовувався для холодопостачання, а теплота кристалізації просто відводилась у атмосферу. Було запропоновано використання теплоти кристалізації води для опалення будівель з буферними зонами.

2. Комп'ютерне моделювання температурних процесів у багатошаровій льодяній стіні показало, що чим більше товщина і кількість льодяних пластин, тем зростає терміний опір і тим нижчими становляться теплові втрати.

3. Встановлено, що при розрахунках використання теплоти кристалізації води у житловому будинку теплові втрати через зовнішні обгородження будівлі зменшуються, а отже відбувається економія теплоти всередині приміщення і як наслідок маємо економію електроенергії на опалення.

5. Після аналітичних розрахунків авторами отримано патент на спосіб опалення будівлі під час морозів з використанням холодної води, яка використовується для опалення

буферної зони теплою кристалізацією води при одночасному опаленні житлової зони високотемпературним теплоносієм, що включає створення огорожі буферної зони між фасадом будівлі і навколишнім середовищем. Огорожу буферної зони виготовляють у вигляді льодяної стінки, що зрошується водою.

9. Оформлено заявку на спосіб утворення льодяної стіни в холодному повітрі.

Підсумовуючи вищесказане, можна зробити висновок, що використання теплоти кристалізації води у буферній зоні будівлі, утвореної льодяною огорожею для цілей тепло- та холодопостачання є доцільним, а враховуючи економічно-екологічну ситуацію у світі перспективним і у деяких випадках навіть необхідним для розвитку відновлювальних та енергозберігаючих технологій.

Одночасно дані результати потребують подальшого детального вивчення, дослідження та розробки для практичного застосування.

#### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Ткачев А.Г., Теплообмен при намораживании льду. Вопросы теплообмена при изменении агрегатного состояния вещества./ А.Г. Ткачев, Г.Н. Данилова. – Л.: Госэнергоиздат, 1953. – 276 с;
2. Шатали Л.Н. Теплообмен в процессах намораживания и таяния льда./ Л.Н. Шатали – Л.: Энергоатомиздат, 1990. – 120 с;



3. Быкова А.В / Различные области применения холода/ А.В. Быков – М.:Агропромиздат, 1985. – 272 с;
4. Мхитарян Н.М. Энергетика нетрадиционных и возобновляемых источников. Опыт и перспективы./ Н.М. Мхитарян – Киев: Наукова думка, 1999. – 315с;
5. Бобков В.А. Производство и применение водяного льда./ В.А. Бобков –М: Госиздат, 1961 - 167с;
6. Касаткин Ф.С. Градирня системы Клейменова для изготовления льда// Ф.С. Касаткин холодильная промышленность. – 1937. - 1. – с.27-28;
7. Пуховий І.І.,Розробка та гідродинамічні дослідження бурульового льодогенератора, що використовує природній холод./ І.І. Пуховий, В.В. Живиця. Наукові вісті НТУУ "КПІ". 1997. Серія теплоенергетики. – с. 26-28;
8. Алексеев В.Р., Опыта возведения снеговых конструкций сложной конфигурации./ В.Р. Алексеев, Г.И.Сморягин Сб. Гляциология Восточной Сибири. Иркутск. Сиб отделение АН СССР. Институт географии Сибири и Дальнего Востока. – 1983.-с.257
9. Пат. Франції FP0162095, опубл. 27.11.1985
10. Пат. Росії 2301944, опубл. 10.04.2004
11. Система отопления здания И.И.Пухового . -1388665A1.СССР. F24D 15/00/И.И. Пуховой – 4069963/29-06/ Заявл.19.03.86. Опубл.14.0388,Бюл.14.
12. Пуховий І.І. Використання сонячної енергії для опалення та гарячого водопостачання міських багатоповерхових будівель / І.І. Пуховий , В.В. Шевельов Энергетика и электрофикация. 2000.- 12. – с. 44 – 45.
13. Богословський В.Н..Строительная теплофизика/ В.Н. Богословський-.М.:Высш. Шк., 1982.- 415 с.
14. Пуховой І.І. Система отопления зданий без теплового насоса с использованием природной холодной воды./ І.І. Пуховой Пром. теплотехника,1992, т.14, 1-3, стр.57-61.
15. Конспект лекцій В.В. Босого з дисципліни «Тепломасообмін»
16. Конспект лекцій М.Ф.Боженко з дисципліни “Джерела теплопостачання і споживачі теплоти”
17. Краснощеков Е.А., Сукомел А.С. Задачник по теплопередаче: Учебное пособие для вузов./ Е. А. Краснощеков, А.С. Сукомел – 4-е изд., переработ. – М.: Энергия, 1980. – 288 с.
18. Журнал “Идеи Вашего дома” вип. 1,UA, 2007. – 194с.
19. Стаття на сайті [www.kzim.com.ua/btv.htm](http://www.kzim.com.ua/btv.htm), 7.03.08р.
20. Інформаційний сайт представленої продукції [www.vinso.kiev.ua](http://www.vinso.kiev.ua), 10.03.08р.

21. Інтернет – стаття “Таблиця коефіцієнтів теплопровідності” <http://attik-design.com/index/0-36>, 10.03.08
22. Ферт А.Р. Рекомендації щодо проектування споруд з пасивними системами сонячного опалення./ А. Р.Ферт Київ:ЗНИИЕП, – 1989. – 99с.
23. Сарнацкий Э. В., Система солнечного тепло – и холодоснабжения. / Э. В. Сарнацкий, С. А. Чистовича м.: Стройгудат. – 1990. – 320с.
24. Пуховий І.І. Температурні режими та економія енергії в пасивних системах сонячного опалення типу застелена лоджія багатоповерхівок. / І.І. Пуховий – 2004. – 2. – с. –14–18.
25. Пуховий І.І. Розробка та теплові розрахунки систем сонячного опалення: Методичні вказівки з курсу “Використання нетрадиційних видів енергії у системах тепlopостачання” для студентів спеціальності “Промислова теплоенергетика”./ І.І. Пуховий – К.: КПІ, 1992. – 24 с.
26. Пешехонов Н.І. Проектування тепlopостачання./ Н.І. Пешехонов Київ: Вища школа. – 1982. – 327с.
27. Марченко Н.В. Індивідуальні сонячні установки./ Н.В. Марченко М.:Енергоатомиздат. – 1991. – 208 с.
28. Альман Аль Уста. Ефективність використання відновлювальних джерел енергії на об`єктах промислового тепlopостачання Сирії. / Альман Аль Уста Автореф. Канд.дис. Одеса. – 2003. – 20с.
29. Алабовський О.М., Боженко М.Ф., Хоренженко Ю.В. Проектування котелень промислових підприємств./ О.М.Алабовський, М.Ф. Боженко, Ю.В. Хоренженко – Київ:“Вища школа”, 1992. – 208 с .
30. Рей. Д., Тепловые насосы./ Д. Рей, Маклайл - М.: Энергоиздат.-1982. с.98-108
31. Пат. України на корисну модель 46112, МПК (2009) F24D 15/00, зареєстрований 10.12.2009 р., бюл.23, автори Пуховий І.І. Приймак К.О.

ДОДАТОК А **Технічне завдання** на науково-дослідну роботу

ДОДАТОК Б Акт впровадження результатів магістерської дисертації

## ДОДАТОК В

Ф. 3.3

СПИСОК НАУКОВИХ ПРАЦЬ Живиці Катерини Олегівни.

/п	Найменування праць	Рукописні або друковані	Назва видавництва, журналу (номер, рік) або номер авторського	Кількість друкованих аркушів або	Прізвища співавторів праць
----	--------------------	-------------------------	---	----------------------------------	----------------------------

			свідоцтва, номер диплома на винахід	сторінок разом	
1	2	3	4	5	6
1.	Льодяна огорожа з повітряними прошарками для буферної зони будівлі з використанням теплоти кристалізації води	Друк.	XIV міжнародна науково-практична конференція аспірантів, магістрантів, студентів «Сучасні проблеми наукового забезпечення енергетики». Тези доповідей міжнародної науково-практичної конференції аспірантів, магістрантів і студентів, м. Київ, 18-21 квітня 2016 р. – ВАТ „Володимирецька друкарня”.-2016.-С.174	1 стор.	Пуховий І.І.
2.	Досвід використання системи сонячного опалення «Розширена стіна Тромба- Мішеля»	Друк.	XV міжнародна науково-практична конференція аспірантів, магістрантів, студентів «Сучасні проблеми наукового забезпечення енергетики». Тези доповідей міжнародної науково-практичної конференції аспірантів, магістрантів і студентів, м. Київ, 25-28 квітня 2017 р. – ВАТ „Володимирецька друкарня”.-2017.-С.145	1 стор.	Пуховий І.І.
3.	Аналіз теплопередачі в будівлях з льодяними огорожами буферних зон	Друк.	XVI міжнародна науково-практична конференція аспірантів, магістрантів, студентів	1 стор.	Пуховий І.І,

			«Сучасні проблеми наукового забезпечення енергетики». Тези доповідей міжнародної науково-практичної конференції аспірантів, магістрантів і студентів, м. Київ, 24-27 квітня 2018 р. – ВАТ „Володимирецька друкарня”.-2018.- С.189.		
4.	Спосіб утворення льодяної стіни в холодному повітрі		Патент на корисну модель МПК F24D 15/00 (2006.01) 10.11.2017		Пуховий І.І.

Автор

Живиця К.О.  
(ініціали, прізвище)

ДОДАТОК Г

## ПЕРЕВІРКА МАГІСТЕРСЬКОЇ ДИСЕРТАЦІЇ НА ПЛАГІАТ



для проверк...  
Завантажено: 05/11/2018  
Перевірено: 05/11/2018

## Інтернет + Бібліотека

91.59% Оригінальність	8.41% Схожість	292 Джерела
-----------------------	----------------	-------------