

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

ІНЖЕНЕРНИЙ НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ  
КАФЕДРА ТЕПЛОЕНЕРГЕТИКИ ТА ГІДРОЕНЕРГЕТИКИ

**Кваліфікаційна робота**  
**другий магістерський**  
(рівень вищої освіти)

на тему Самооцінка та самооптимізація будівель та приладів для покращення енергетичних показників

Виконав: студент 2 курсу, групи 8.1449  
спеціальності теплоенергетика

(код і назва спеціальності)

освітньої програми теплоенергетика

(код і назва освітньої програми)

спеціалізації

(код і назва спеціалізації)

Логвін Олександр Олександрович  
(підписати та прізвище)

Керівник доцент, д.т.н.

(посада, місце зв'язку, науковий ступінь, підпис, ініціали та прізвище)

А.О.Чейлінко

Рецензент професор, д.т.н.

(посада, місце зв'язку, науковий ступінь, підпис, ініціали та прізвище)

В.А.Банах

Запоріжжя  
2020

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Кафедра теплоенергетики та гідроенергетики  
Рівень вищої освіти другий магістерський  
Спеціальність 144 Теплоенергетика  
(код та назва)  
Освітня програма Теплоенергетика  
(код та назва)  
Спеціалізація \_\_\_\_\_  
(код та назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ  
Завідувач кафедри \_\_\_\_\_  
« 01 » грудень 2020 року

**ЗАВДАННЯ**  
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТОВІ

Логвін Олександр Олександрович  
(прізвище, ім'я, по батькові)

1 Тема роботи (проекту) Самооцінка та самооптимізація будівель та приладів для покращення енергетичних показників керівник роботи Чейлітко Андрій Олександрович, д.т.н., доцент,  
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, місце роботи)

затвержені наказом ЗНУ від «25» травня 2020 року № 601-с

2 Строк подання студентом роботи 15 грудня 2020 р.

3 Вихідні дані до роботи м.Запоріжжя, Геометричні характеристики будівлі. Коефіцієнти ефективності системи опалення. Енергоспоживання будівлі.

4 Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) Використання математичного моделювання енергетичного стану будівель. Вибір оптимальної системи опалення. Оцінка ефективності системи опалення. Принципи проектування енергоефективного будинку. Використання сонячної енергії для формування енергозабезпеченості будівлі.

5 Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень) Графік коефіцієнтів ефективності системи опалення. Гідравлічна схема УГВне 90. Залежність величини інтенсивності потоку сонячного випромінювання від середнього значення потоку світла. Залежність ККД

сонячного колектора від різниці температур приймальної поверхні колектора та навколишнього середовища

6 Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
1	Чейлитко А.О.		
2	Чейлитко А.О.		
3	Чейлитко А.О.		

7 Дата видачі завдання 05 травня 2020 р

**КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН**

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Математичні моделі для визначення розосереджених параметрів теплового стану будівель як енергетичних систем	05.05.2020	
2	Самооцінка та самооптимізація будівель та приладів для покращення енергетичних показників	10.08.2020	
3	Охорона праці та техніка безпеки при будівництві багатоквартирних будинків	20.10.2020	
4	Оформлення пояснювальної записки	01.12.2020	
5	Підготовка презентації	10.12.2020	

Студент   
(підпис)

О.О. Логвін  
(ініціали та прізвище)

Керівник роботи (проекту)   
(підпис)

А.О. Чейлитко  
(ініціали та прізвище)

**Нормоконтроль пройдено**

Нормоконтролер   
(підпис)

Ю.М. Каюков  
(ініціали та прізвище)

## АНОТАЦІЯ

Логвін О.О. Самооцінка та самооптимізація будівель та приладів для покращення енергетичних показників.

Кваліфікаційна випускна робота для здобуття ступеня вищої освіти магістра за спеціальністю 144 – Теплоенергетика, науковий керівник доктор техн. наук, професор А.О. Чейлітко. Запорізький національний університет, Інженерний навчально-науковий інститут, кафедра теплоенергетики та гідроенергетики, 2020.

В роботі розглянуто питання підвищення рівня ефективності енерговикористання будівель шляхом удосконалення існуючих і розробки нових наукових та управлінських методів оцінювання енергоефективності; урахування взаємозв'язку джерел енергії, теплового захисту та екологічних показників; розробки динамічних моделей теплового стану будівлі як енергетичної системи.

Ключові слова: енергоефективність, енергозбереження, тепловий насос, сонячний колектор.

## ABSTRACT

Logvin OO Self-assessment and self-optimization of buildings and devices to improve energy performance..

Qualification graduation work for the degree of higher education of master's degree in specialty 144 - Thermal power engineering, scientific supervisor doct. of Sciences, Professor A.O. Cheylitko. Zaporizhzhya National University, Engineering Educational and Scientific Institute, Department of Thermal Power and Hydropower, 2020.

The paper considers the issue of increasing the level of energy efficiency of buildings by improving existing and developing new scientific and managerial

methods of energy efficiency assessment; taking into account the relationship between energy sources, thermal protection and environmental performance; development of dynamic models of the thermal state of the building as an energy system.

Keywords: energy efficiency, energy saving, heat pump, solar collector.

## АННОТАЦИЯ

Логвин А.А. Самооценка и самооптимизации зданий и приборов для улучшения энергетических показателей.

Квалификационная выпускная работа для получения степени высшего образования магистра по специальности 144 - Теплоэнергетика, научный руководитель докт. тех. наук, профессор А.А. Чейлытко. Запорожский национальный университет, Инженерный учебно-научный институт, кафедра теплоэнергетики и гидроэнергетики, 2020.

В работе рассмотрены вопросы повышения уровня эффективности энергопотребления зданий путем совершенствования существующих и разработки новых научных и управленческих методов оценки энергоэффективности; учета взаимосвязи источников энергии, тепловой защиты и экологических показателей; разработки динамических моделей теплового состояния здания как энергетической системы.

Ключевые слова: энергоэффективность, энергосбережение, тепловой насос, солнечный коллектор.

## ЗМІСТ

ВСТУП.....	8
1 МАТЕМАТИЧНІ МОДЕЛІ ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ РОЗОСЕРЕДЖЕНИХ ПАРАМЕТРІВ ТЕПЛООВОГО СТАНУ БУДІВЕЛЬ ЯК ЕНЕРГЕТИЧНИХ СИСТЕМ.....	10
1.1 Використання математичного моделювання енергетичного стану будівель.....	10
1.2 Будівля як складна енергетична система .....	15
1.3 Аналіз існуючих технічних рішень у системі опалення .....	19
1.4 Вибір оптимальної системи опалення .....	27
1.5 Оцінка ефективності системи опалення.....	27
1.6 Система гарячого водопостачання .....	32
1.7 Використання моделювання при визначенні та підвищенні енергоефективності будівель.....	37
2 САМООЦІНКА ТА САМООПТИМІЗАЦІЯ БУДІВЕЛЬ ТА ПРИЛАДІВ ДЛЯ ПОКРАЩЕННЯ ЕНЕРГЕТИЧНИХ ПОКАЗНИКІВ .....	43
2.1 Принципи проектування енергоефективного будинку .....	43
Принципи формування архітектури енергоефективних будівель .....	46
2.2 Розрахунок енергетичних показників будівлі.....	49
2.2 Використання сонячної енергії для формування енергозабезпеченості будівлі .....	54
2.3 Математичний опис процесу теплопереносу в геліоколекторі.....	64
3 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ТАХНІКА БЕЗПЕКИ ПРИ БУДІВНИЦТВІ БАГАТОКВАРТИРНИХ БУДИНКІВ.....	76
3.1 Основні положення .....	76
3.2 Організація управління охороною праці.....	79
3.3 Експлуатація засобів виконання будівельно-монтажних робіт .....	79
3.4 Особливості роботи будівельників, небезпечні і шкідливі виробничі чинники на будівельних майданчиках .....	80
3.5 Забезпечення безпеки при підйомі на висоту і при роботі на висоті	82

ВИСНОВКИ .....	84
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ.....	86

## ВСТУП

*Актуальність теми.* За сучасними даними інституцій країн Євросоюзу, більшість населення планети перебуває до 90 % всього часу в приміщеннях різного призначення. Близько 40 % світового енергоспоживання припадає на будівлі. В багатьох країнах є великий потенціал, як енергоощадження, так і покращення теплового мікроклімату в цивільних будівлях. Світові тенденції у підвищенні енергетичної ефективності систем теплозабезпечення, в цілому, спрямовані на використання природних відновлювальних джерел енергії, скидних вторинних енергоресурсів, децентралізацію постачання теплоти, а також перехід на низькотемпературні опалювальні системи. Тому постановка проблеми самооцінки та самооптимізації будівель та приладів для покращення енергетичних показників є актуальною задачею.

*Метою роботи є* підвищення рівня ефективності енерговикористання будівель шляхом удосконалення існуючих і розробки нових наукових та управлінських методів оцінювання енергоефективності; урахування взаємозв'язку джерел енергії, теплового захисту та екологічних показників; розробки динамічних моделей теплового стану будівлі як енергетичної системи.

*Об'єкт дослідження* – процеси теплообміну в будівлях, енергоспоживання і енергозбереження та оцінювання ефективності енерговикористання об'єктами громадської сфери в умовах динамічної зміни характеристик середовища.

*Предмет дослідження* – методи і способи оцінювання показників енергоспоживання та енергетичної ефективності елементів та в цілому громадських будівель із використанням математичних моделей.

Для реалізації поставленої мети необхідно *розв'язати наступні задачі:*



- визначити та обґрунтувати вибір даного типу систем опалення та гарячого водопостачання;
- розглянути будівлю як складну енергетичну систему;
- проаналізувати систему гарячого водопостачання, розрахувати систему гарячого водопостачання;
- визначити фізично небезпечні і шкідливі виробничі фактори при монтажі систем та оцінити безпеку мешканців.

*Методи дослідження.* В роботі використовувалися теоретичні методи дослідження. При інформаційно – аналітичному дослідженні методів та обладнання для систем опалення та гарячого водопостачання використали Internet-мережу як джерело інформації.

*Практичне значення та реалізація результатів дослідження.* Можна використати як варіант проекту пропозицій системи опалення та системи гарячого водопостачання.

*Наукова новизна роботи* заключається в проведенні аналізу сучасних тенденцій використання математичного моделювання енергетичного стану та визначення енергоефективності будівель.

*Особистий внесок здобувача.* Автору належать основні ідеї роботи, постановка завдання, обґрунтування основних припущень, теоретичні викладки та аналіз отриманих результатів і формування висновків за результатами проведених досліджень.

*Апробація роботи.* Положення роботи викладені на П'ятій Всеукраїнській науково-практичній інтернет-конференції студентів, аспірантів і молодих вчених «Актуальні проблеми сучасної енергетики – 2020» та XXV науково-технічній конференції аспірантів, магістрів, студентів та викладачів Інженерного навчально-наукового інституту Запорізького Національного Університету.

Пояснювальна записка містить: 92 сторінки, 22 таблиць, 7 рисунків, 51 джерело посилань.

# 1 МАТЕМАТИЧНІ МОДЕЛІ ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ РОЗОСЕРЕДЖЕНИХ ПАРАМЕТРІВ ТЕПЛООВОГО СТАНУ БУДІВЕЛЬ ЯК ЕНЕРГЕТИЧНИХ СИСТЕМ

## 1.1 Використання математичного моделювання енергетичного стану будівель

Адекватна оцінка рівня енергоефективності будівель залежить від використання математичних моделей енергетичного стану будівель як складної енергетичної системи. В роботі проаналізовано рівень енергоефективності комплексу громадських будівель та визначено основні напрямки реалізації енергозберігаючих заходів. Використання математичного моделювання при визначенні та підвищенні енергоефективності будівель є основним інструментом оцінки, тому вибір та розробка моделей для моделювання теплового стану будівель є основною задачею.

За статистикою споживання енергетичних ресурсів України можна поділити на три великі групи: промисловість (до 28 %), транспорт (до 32 %) та житловий сектор (понад 40 %) [1]. Особливості економіки України полягають в тому, що в структурі споживання первинних енергоресурсів в Україні газ становить десь 41 % (нафта 18,4 %, вугілля 24,3 %, атомна енергія та інші – 16,3 %), що втричі більше, ніж в світі, і удвічі – ніж у Європі. При цьому, ситуацію, безумовно, ускладнює те, що незважаючи на загальний стереотип, головними споживачами газу в Україні, до того ж українськими, є не підприємства промисловості, а населення, комунальне господарство та ТЕЦ, які виробляють теплову та електричну енергію. Так, у 2007 році з 69,8 м<sup>3</sup> в Україні весь промисловий сектор використав близько 26 м<sup>3</sup> газу, а населенням, непромисловими підприємствами та ТЕЦ (йдеться про виробіток електро- та теплоенергії для населення) спожито 35-36 млрд. м<sup>3</sup>. [1, 2].

У житлово-комунальному господарстві України споживається 75 млн. т умовного палива, що становить близько 40 % щорічного витрачання палива в загальному енергобалансі країни [1-5]. Житловий фонд та інші об'єкти соціальної сфери споживають 85 % енергоресурсів на потреби опалення.

В 70...80-х роках в опалювальний сезон питома витрата енергії на 1 м<sup>2</sup> житла для будинків, побудованих раніше, складала 280 кВт·год/м<sup>2</sup> в Англії, 360 кВт·год/м<sup>2</sup> в Німеччині, 400 кВт·год/м<sup>2</sup> в Польщі. В 90-х роках ХХ століття в Західній Європі цей показник сягав 120 кВт·год/м<sup>2</sup>, а згідно сучасних вимог 40 або 60 кВт·год/м<sup>2</sup>. В той же час в Україні питома витрата теплової енергії на 1 м<sup>2</sup> житла становить у будинках, зведених в радянський період, багатоквартирних цегляних – 400 кВт·год/м<sup>2</sup>, багатоквартирних панельних – 600 кВт·год/м<sup>2</sup>, індивідуальних – 700 кВт·год/м<sup>2</sup> [1].

Проблемами для України залишається неефективне споживання населенням паливно-енергетичних ресурсів та неналежний технічний стан переважної більшості існуючих будівель та енергетичних систем. Низький рівень енергоефективності будівель в основній мірі пов'язаний з низьким термічним опором огорожувальних конструкцій. Норми по тепловому захисту будівель в Україні (в Радянському Союзі) існують з 1921 р. протягом цього часу вони підлягали більше десяти редакціям, пов'язаних зі змінами технічного рівня будівництва в країні. До кінця 80-х років акцент наголошувався на вартості будівництва, тобто мінімізувалися капітальні затрати і майже не враховувалися експлуатаційні витрати. На той час основна увага приділялася не ефективному використанню енергетичних ресурсів в будівлях, а орієнтувалася на економію будівельних матеріалів, нормування показників гігієни та безпеки. Більшість будівель, що експлуатуються в Україні (близько 80 %) відповідають вимогам масової забудови 70-80-х років.

Ситуація змінилася після набуття Україною статусу незалежної держави та переходу до ринкової економіки. Починаючи з 90-х років і до сьогодні цей період характеризується постійним ростом цін на енергоносії в

середині країни, що є відповіддю на аналогічні тенденції у світі. У зв'язку з газовою кризою в Україні починаючи з 2014 року, яка особливо гостро постала взимку 2017-2018 року, питання енергоефективності є одним з основних напрямків розвитку країни.

Зниження витрати енергоносіїв на опалення будівель може досягатися різними шляхами. В Україні один з шляхів – це використання сучасних теплоізоляційних матеріалів та технологій на стадіях як проектування та і експлуатації (рис. 1.1). Другим напрямком є використання відновлювальних та альтернативних джерел енергії в системах розподіленої генерації. Третій напрямок – використання автоматичного керування системами тепlopостачання будівель (локальне керування теплоспоживанням). Четвертий – використання впливу на соціальний фактор, умови експлуатації, управління поведінкою користувачів.

Для реалізації першого напрямку для стимулювання населення до енергозбереження в Україні з червня 2017 року набув чинності Закон "Про енергетичну ефективність будівель" № 2118-VIII [6] та діє ряд державних та регіональних програм підтримки населення при впровадженні енергоощадливих технологій [7, 8].

Міжнародні інвестиційні програми в Україні в більшій мірі зосередженні на термомодернізації громадських об'єктів та майже небрали до уваги житлові будинки. Наприклад, в рамках проекту "Вища освіта України" між Україною та Європейським інвестиційним банком проводиться термомодернізація вищих навчальних закладів. Такі об'єкти мають великий розмір, а отже потребують великих капіталовкладень, що зменшує кількість програм, де можуть реалізуватися такі проекти. Для міжнародних інвестиційних програм, що діють в Україні, невеликі соціальні об'єкти (наприклад, школи, дитячі садочки) є більш привабливими з точки зору залучення коштів. Наприклад, Український фонд соціальних інвестицій за фінансової підтримки Уряду Німеччини реалізують проекти по термомодернізації соціальних об'єктів по всій території країни. В програмі

вже прийняли участь міста, смт. та села Львівської, Кіровоградської, Вінницької, Запорізької та Київської області. Ще один з напрямків набув актуальності при термомодернізації у бюджетній сфері, залучення до співпраці енергосервісної компанії – ЕСКО. ЕСКО компанія інвестує кошти та отримує відсоток від отриманої економії, у т.ч. і з бюджетних коштів, призначених для оплати енергоресурсів [9].

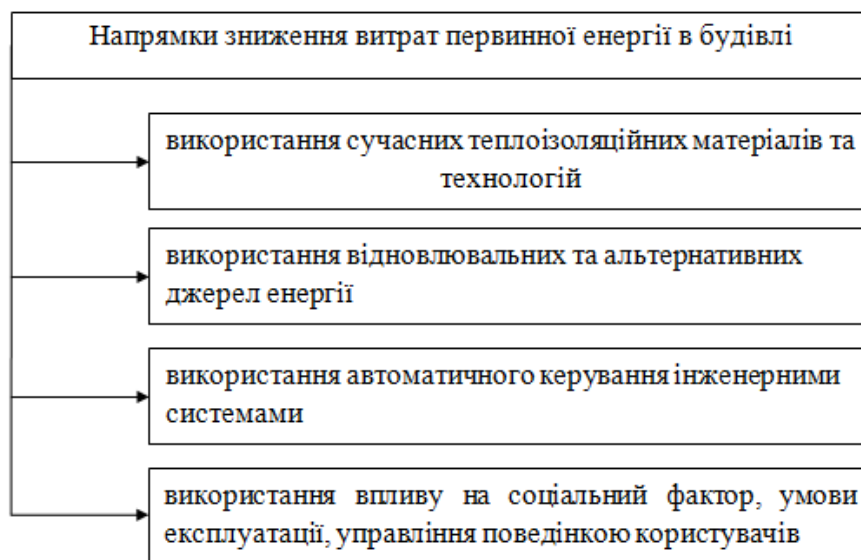


Рисунок 1.1 – Основні напрямки зниження витрат енергоносіїв на опалення будівель

Для реалізації другого напрямку підвищення енергоефективності діє система зелених тарифів, що набула особливої популярності в приватних домогосподарствах. Для громадських будівель впроваджуються проекти зеленої сертифікації (LEED-сертифікація) [10].

Третій напрямок є найбільш ефективним з точки зору забезпечення комфортних умов з врахуванням добових та сезонних коливань зовнішніх погодних умов та графіку роботи будівель певного призначення [11, 12]. Регулювання температури приміщень являється найбільш маловитратним, але широке застосування даного напрямку має ряд проблем. При цьому теплові процеси в будівлі є складним динамічним процесом тепломасообміну. Аналіз ефективності управління системою опалення

базується на створенні адекватної математичної моделі. В основі регулювання лежить зниження температури повітря в приміщеннях до визначеного рівня в період відсутності людей, потім у визначений момент система опалення вмикається або збільшує теплове навантаження для прогріву повітря до комфортної температури до моменту приходу людей в приміщення.

Потенціал зниження енергозатрат добре вивчений у стаціонарному режимі, зниження температури повітря в приміщенні на 1 °С дозволяє знизити тепловтрати на (2...5) %. Значне зменшення споживання теплової енергії може бути досягнуто шляхом зниження внутрішньої температури в період відсутності людей в житлових чи офісних будівлях. Добове використання економічних режимів з обмеженням температури повітря в приміщенні 10 °С протягом 5 робочих днів тижня дозволяє зменшити енергозатрати на опалення до 14,7 % в порівнянні з постійним режимом комфортної температури. Постійне зниження температури до 10°С має місце, наприклад, у святкові періоди, коли працівники відсутні на робочих місцях [12]. Для забезпечення комфортної температури у робочі години після тривалого пониження рівня внутрішньої температури повітря, потрібно завчасно вмикати опалення, що зменшить економічний ефект [12]. В стандарті [13] рекомендована глибина пониження внутрішньої температури повітря не нижче (3...4) °С від нормативної температури в робочі години.

В рамках реалізації проекту "Вища освіта України" - для громадських будівель та програми "теплі кредити" - для житлових будівель, при облаштуванні індивідуальних теплових пунктів автоматичним погодним регулюванням, дозволило зменшити енерговикористання на 10 % [8].

Висновок. Рівень енергоспоживання будівель в Україні зменшується різними напрямками і залежить від ряду факторів, таких як тепловий захист огорожувальні конструкції, керування інженерними системами теплопостачання, кліматичні умови тощо. Саме тому для забезпечення раціонального використання енергетичних ресурсів на опалення необхідний

ефективний підхід щодо вивчення впливу цих факторів, встановлення можливого потенціалу економії енергоресурсів.

## 1.2 Будівля як складна енергетична система

Енергоефективність – це показник, який характеризується відношенням ефективності від використання енергоресурсів до їх витрат. Підвищення рівня енергоефективності комплексом чи системою включають розробку організаційних, техніко-економічних, екологічних, технічних, технологічних аспектів виробництва, розподілу, транспортування та споживання енергії. Споживання енергії є найбільш впливовим напрямком реалізації комплексу енергозберігаючих заходів.

В працях В.Н. Садовського і Є.Г. Юдіна взаємодія системи з середовищем представлена у визначеннях: 1) вона базує особливу єдність з середовищем; 2) як правило, будь яка розглянута система представляє собою елемент системи більш високого порядку; 3) елемент будь якої розглянутої системи, в свою чергу, зазвичай виступає як система більш низького порядку [14].

Тому, на прикладі, системи енергопостачання району/групи будівель є підсистемою енергопостачання міста/регіону, елементи якої можуть бути розділені як система нижчого порядку (наприклад, будівля). Тому поняття підсистеми передбачає, що виділена відносно незалежна частина системи (наприклад, будівля), володіє властивостями системи, має свою ціль, на досягнення якої орієнтована підсистема.

По даним [15] витрата теплової енергії на підтримання функціонування будівель складає більше 25 % в енергобалансі України. Громадські та житлові будинки являються одними з найбільших споживачів енергоресурсів в Україні. Практично 80 % будівель нині не відповідають сучасним вимогам енергоефективності. На сьогоднішній день головними проблемами таких будівель є підвищені витрати теплової енергії на опалення

та невідповідність внутрішнього мікроклімату приміщень загальноприйнятим нормам комфорту.

Поняття енергетична ефективність будівель з'явилося на початку 70-років минулого століття. Причиною цьому стала перша енергетична криза, яка змусила увесь світ замислитися про ефективність споживання енергетичних ресурсів. Сьогодні у світовій практиці, розглядаючи питання енергетичної ефективності будівель, розташованих у помірній та холодній кліматичних зонах, основний акцент роблять на теплоспоживанні будівель, оскільки це є основна складова витрат на енергоресурси, а також саме в цій сфері зосереджений найбільший резерв енергозбереження.

Відповідно до європейського стандарту [16], будівля - це конструкція в цілому, включаючи її огорожувальну конструкцію і всі інженерні системи будівлі, для яких енергія використовується для опалення та/або кондиціонування внутрішнього мікроклімату, для забезпечення гарячого водопостачання і освітлення та інших послуг, пов'язаних з використанням будівлі для забезпечення її функціонування [16]. В стандарті [16] відмічено, що термін може відноситися до будівлі в цілому або її частин, які були вибрані або змінені для окремого дослідження. Будівля є складною єдиною енергетичною системою, тому для її вивчення застосовується методологія системного підходу. Як єдина енергетична система будівлі включає огороження, джерела, внутрішнє та зовнішнє середовище, активні споживачі. [16-19]. Визначення будівлі як енергетичної системи введено Табунщиковим Ю.А., до складу якої він включає зовнішній клімат, оболонку будівлі, енергетичні процеси в приміщеннях [20]. ДСТУ Б EN ISO 13790:2011, ДСТУ Б EN 15217:2013, ДСТУ Б EN 15603:2013 до її складу та енергетичного балансу включають інженерні системи будівлі [16, 17]. Буяк Н.А. до енергетичної системи будівлі включила людину як індикатор умов комфортності середовища [18].

Тому будівля як складна енергетична система розглядається як сукупність зовнішнього клімату, інженерних систем, оболонки, людини, як



індикатор умов комфортності, та енергетичних процесів в приміщеннях будівлі.

В працях Ю.А. Табунщикова [20] представлено будівлю як складну архітектурно-конструктивну систему з різноманітним складовим її елементам огорожувальних конструкцій та інженерного обладнання, в яких протікають різні по фізичній суті процеси поглинання, перетворення і перенесення теплоти.

Під дією різниці температур зовнішнього і внутрішнього повітря і сонячної радіації приміщення через огорожувальні конструкції в зимовий час втрачає, а в літній отримує теплоту. Гравітаційні сили, дія вітру і вентиляція створюють перепади тисків, що призводять до перетікання повітря між сполученими приміщеннями і до його інфільтрації/ексфільтрації через пори матеріалів і нещільності огорожень. Атмосферні опади, вологовиділення в приміщеннях, різниця вологості внутрішнього і зовнішнього повітря призводять до вологообміну через огорожі, під впливом якого можливо зволоження матеріалів, накоплення вологи в огороженні і погіршення їх теплозахисту [20].

Зовнішні огорожувальні конструкції захищають приміщення від несприятливих впливів клімату, спеціальні системи опалення, вентиляції та кондиціонування повітря підтримують у приміщенні протягом усього року певні параметри внутрішнього середовища. Сукупність усіх інженерних систем і пристроїв, що забезпечують заданий тепловий режим в приміщеннях будівлі, називається системою кліматизації будівлі [20].

Тепловим режимом будівлі називається сукупність всіх факторів і процесів, що визначають теплову обстановку приміщення. Теплова ефективність будівлі характеризується витратами енергії на кліматизацію, віднесеними до розрахункового періоду часу.

Завдання забезпечення в приміщеннях будівлі певного теплового режиму являє собою організацію взаємодіючих і взаємопов'язаних теплових потоків в складній архітектурно-конструктивній системі з різноманітним

складових її елементів огорожувальних конструкцій та інженерного обладнання, кожен з яких є енергоносієм і енергопередатчиком. Принциповою особливістю цієї системи є те, що будівля як єдина енергетична система представляє не просте сумування елементів, а особливості з'єднання, що додає всій системі в цілому нової поведінки/якості, які відсутні у кожного з елементів по одинці.

В даний час для побудови і реалізації математичних моделей складних енергетичних об'єктів, до яких може бути віднесено будівля, використовується методологія системного підходу [20, 21].

Системний підхід побудови математичної моделі теплового режиму будівлі передбачає виконання таких етапів:

1. Виділення із загальної енергоспоживаючої системи даного об'єкту, наприклад, виділення будівлі з мікрорайону, цеху в будівлі заводу або окремого корпусу, приміщення в житловому або громадському будинку.

2. З'ясування складових елементів, їх внутрішньої структури і видів зв'язків між ними.

3. Розділення об'єкта за допомогою методу декомпозиції на більш прості елементи і його подальше відновлення, наприклад, за допомогою теорії графів.

4. Розробка системи взаємопов'язаних математичних моделей окремих елементів будівлі і узагальненої математичної моделі теплового режиму будівлі в цілому.

Наукові основи проектування енергоефективних будівель [22], запропоновані авторами Ю.А. Табунщиковим та М.М. Бородачем, засновані на розгляді будівлі і оточуючого середовища як єдиної енергетичної системи.

До існуючих будівель та тих, що проектуються, висувуються вимоги енергоефективності, тобто мінімальний рівень енергоефективності, який має бути досягнутий [16]. Як згадувалось вище, основна увага приділяється тепловій енергоефективності. Теплова енергоефективність будівель – це комплекс показників, які характеризуються питомими затратами енергії на

опалення, охолодження, вентиляцію, гаряче водопостачання, освітлення приміщень тощо. До комплексу показників теплової енергоефективності будівлі відноситься енергетичний рейтинг, енергопотреба тощо.

Потреба в енергії на опалення або охолодження визначається, як тепло, що має бути доставлене чи видалене з кондиціонованого простору для підтримки призначених температурних умов для певного періоду часу [23]. Потреба в енергії розраховується і не може бути легко виміряна, тому її визначення потребує застосування різноманітних методик, моделей та програмних продуктів. На базі значень енергопотреби будівлі визначають енергетичний рейтинг. Показник енергоефективності - енергетичний рейтинг поділений на кондиціоновану/опалювальну площу

Енергетичний рейтинг представляє собою оцінку енергетичної ефективності будівель на основі зваженої суми розрахованого або виміряного використання енергоносіїв [17]. Енергетичні оцінки будівлі бувають: розрахункові; стандартні; проектні; пристосовані; інструментальні.

Вирішення задач енергоефективності будівель з врахуванням комплексу показників, а саме теплофізичні та теплоінерційні особливості огорожень, умови мікроклімату, графіки експлуатації, кліматичні умови, система опалення та теплонадходження тощо, які впливають на питомі енергетичні характеристики (показник енергоефективності) будівлі потребує системного підходу є складною комплексною задачею. Вирішення цих задач потребує створення математичних моделей для дослідження енергетичних характеристик будівлі. Математичні моделі можуть бути різного кроку дискретизації розрахунків в залежності від задач, що ставляться, що спрощує/ускладнює модель.

### 1.3 Аналіз існуючих технічних рішень у системі опалення

Діючі будівельні норми вимагають встановлення на нагрівальних приладах систем опалення термостатичних клапанів, які автоматично

підтримують в приміщенні постійну, задану споживачем, температуру. Це економить до 20% тепла за рахунок використання теплонадходжень від сонячної радіації, побутових і виробничих тепловиділень.

Найбільш широке застосування знайшли три типи водяних систем опалення: вертикальні однотрубні, вертикальні і горизонтальні двотрубні системи. Всі ці типи систем широко застосовуються при проектуванні. Аналіз багаторічної роботи цих систем у специфічних умовах показує, що кожна з цих систем має як свої переваги, так і свої, недоліки. У тих чи інших умовах будівництва та експлуатації постають різні переваги та недоліки систем.

Розглянемо детально три типи водяних систем опалення.

#### *Вертикальні однотрубні системи опалення.*

Вертикальна однотрубна система застаріла, не відповідає сучасним вимогам, її проектування треба якщо не припинити, то максимально обмежити. Не зважаючи на це, однотрубна система має такі переваги, які в звичайних умовах експлуатації будівель висувають її на перше місце.

Головна перевага полягає у тому, що ця система набагато надійніша, ніж двотрубна.

Існують й інші переваги однотрубних систем: менша вартість, велика простота заготовок, можливість уніфікації деталей системи, легкість монтажу, тощо.

Мають ці системи і недоліки. Основний з них - це те, що у тому випадку, якщо приміщення перегріто і термостат закрився, теплоносій мине опалювальний прилад не остигаючи. У цьому сенсі можна сказати, що однотрубна система не економить, а не дає перевитратити тепло. Протягом опалювального сезону існують такі періоди, коли температура на вулиці 18-20°C, а система опалення працює тому, що завтра буде знову -5 °C і відключати систему недоцільно. Можна назвати такий режим режимом мінімум. При цьому режимі всі термостати можуть бути закриті, а теплоносій з подаючої лінії перетікає у зворотню, майже не остигаючи. Це вкрай

небажане явище, якщо джерелом теплопостачання є ТЕЦ. До того ж, зворотній теплоносій перш, ніж повернутися в тепломережу, як правило, проходить попереднє охолодження у першому ступені підігріву системи гарячого водопостачання.

Зона застосування вертикальних однотрубних систем опалення з термостатами обмежується мінімальною кількістю поверхів у стояку. Наприклад, при кількості поверхів на стояку менше 7 температура води, що виходить з останніх приладів, знижується в розрахунковому режимі до 18-20°C, що неприпустимо. Пояснюється це тим, що в будинках, запроектованих у відповідності з другим етапом енергозахищеності, тепловтрати знижені і, відповідно, витрата теплоносія в стояку також невелика. При коефіцієнті затікання теплоносія в прилад (0,2...0,3) і малій кількості води в стояку кількість теплоносія, що затікає в прилад, стає неприпустимо малою і вода остигає до зазначених температур. У практиці рекомендується не застосовувати однотрубні системи при кількості приладів у стояку менше (9...10). Максимальна кількість приладів у стояку рівна 25.

Ще однією особливістю однотрубних систем є те, що витрата теплоносія в системі мало залежить від ступеня відкриття термостатів. Якщо в режимі максимум (всі термостати відкриті) витрату води по стояку прийняти за 100 %, то витрата по замикаючим ділянкам може бути 80 %. У режимі мінімум (всі термостати закриті) витрата води по замикаючим ділянкам трохи збільшиться і загальна витрата по системі може досягати 90%. З достатнім ступенем правдоподібності можна сказати, що витрата води в однотрубних системах - величина постійна. Цей факт впливає на балансування стояків в системі.

У деяких випадках (наприклад, при розрахунку системи методом постійних перепадів температур на стояках) розрахунковий перепад тисків на стояках не відповідає розрахунковим тискам, що є в місцях розташування цих стояків. При цьому в стояк буде надходити кількість теплоносія, відмінна від розрахункового. Це призводить до перегріву або недогріву

приміщень. Така ж ситуація може мати місце, якщо опір трубопроводів при монтажі або реконструкції системи буде відрізнятися від розрахункового. Для зрівнювання фактичної кількості теплоносія в стояку з розрахунковим на стояках встановлюються балансувальні клапани (БК).

Факт сталості витрати теплоносія в стояку впливає на тип БК.

Потрібно мати на увазі, що БК створюють додаткову втрату тиску в системі в розмірі (15...20) кПа.

Вертикальні двотрубні системи опалення

На відміну від однотрубних систем, двотрубні системи безпосередньо економлять тепло. У тому випадку, якщо приміщення перегріто, термостат зменшує або припиняє доступ теплоносія в прилад. Якщо теплоносій, який не надійшов у прилад, потрапить в прилад сусіднього приміщення, то він перегріє це приміщення і термостат цього приміщення прикриється. Таким чином, зайвий теплоносій з циркуляції виключається. У режимі мінімум в двотрубну систему надходить теплоносій, який циркулює тільки за нерегульованими стояками (сходові клітки, ліфтові холи, міжквартирні коридори). У цьому відношенні двотрубні системи більш прогресивні, ніж однотрубні.

Для забезпечення необхідної теплової і гідравлічної стійкості у вузлах об'язки нагрівальних приладів встановлюються термостати, здатні здроселювати значну втрату тиску. З теорії автоматизації відомо, що для якісної роботи регулюючого органу його авторитет (відношення втрати тиску в регуляторі до втрати тиску на регульованій ділянці) повинен бути в межах (30...70) %. Таким чином, ця втрата може коливатися від (8...10) кПа на периферії до (25...28) кПа біля основи стояка.

Для забезпечення такої втрати тиску, враховуючи, що розрахункова витрата теплоносія в приладі може бути невелика, розмір дроселюючого отвору термостата повинен бути дуже маленьким. Практично мінімальний отвір в термостатах для двотрубних систем порівняно навіть не з шпилькової

головкою, а з шпильковим вістря. У тому випадку, якщо теплоносій у системі має забруднення, такі отвори легко засмічуються.

Для того, щоб цього не відбувалося, потрібно якісне обслуговування системи, постійне очищення грязьовиків і ще ряд відомих заходів. У тому випадку, якщо замовник не в змозі гарантувати таке обслуговування (а також збереження термостатичних клапанів у приладів), застосування двотрубною системи не є оптимальним рішенням. Тому при виборі типу системи опалення рекомендовано в першу чергу з'ясувати, в яких умовах буде експлуатуватися будівля.

Вертикальні двотрубні системи проектуються найчастіше з нижнім прокладанням розвідних магістралей. Пояснюється це тим, що через різницю температур в подаючому і зворотному стояках виникають значні гравітаційні тиски (у 25-поверховому будинку до 10 кПа). Для приладів різних поверхів ці тиски різні, чим вище прилад, тим більше гравітаційний тиск. При нижньому розташуванні розвідних магістралей додатковий гравітаційний тиск використовується для подолання теплоносієм трубопроводів стояка. У цих умовах система працює більш рівномірно. Однак, якщо це неможливо, можна проектувати системи і з верхнім розташуванням магістралі, що подає. Рекомендується уникати систем з верхнім розташуванням прямої та зворотної магістралей, тому що в цьому випадку важко виключити засмічення нижніх приладів, вони стають природними збірниками шламу.

Для балансування в основі стояків встановлюються БК.

Зона застосування двотрубних систем відрізняється від зони застосування однострубних: стояки двотрубних систем можуть бути і одноповерховими. Обмеження висотності має бути швидше зверху. Рекомендовано обмежувати висотність 17-20 поверхами. При зменшенні висоти системи знижуються вертикальні розрегулювання і економиться більша кількість тепла.

Горизонтальні поквартирні системи опалення

З теплотехнічної і гідродинамічної точок зору горизонтальні поквартирні системи опалення оптимальні. Зона їх застосування - від одного поверху до максимуму, який обмежується міцністю елементів системи або висотою пожежного відсіку висотного будинку. Ці системи здатні економити найбільшу кількість тепла. Такі системи найменш вразливі у разі несанкціонованої зміни або реконструкції. Вони мають безсумнівні естетичними переваги. Словом, ці системи майже у всьому найкращі. За винятком одного - вони найдорожчі з розглянутих систем.

Крім явних переваг: незалежність, ремонтпридатність, легкість організації по квартирному вимірюванню тепла та інші – дана система перевищує вертикальну двотрубну тим, що БК (регулятор постійного перепаду тиску) тут максимально наближається до опалювального приладу і знімає всі розрегулювання, які виникають до нього в процесі роботи системи (гравітаційні напори, зміна втрат тиску на стояку). Це не тільки краще стабілізує систему, але і дозволяє налаштовувати термостати на більші настройки, що приводять до більш плавного регулювання і більшій економії тепла.

*Переваги та недоліки вентильованих фасадів житлових будинків.*

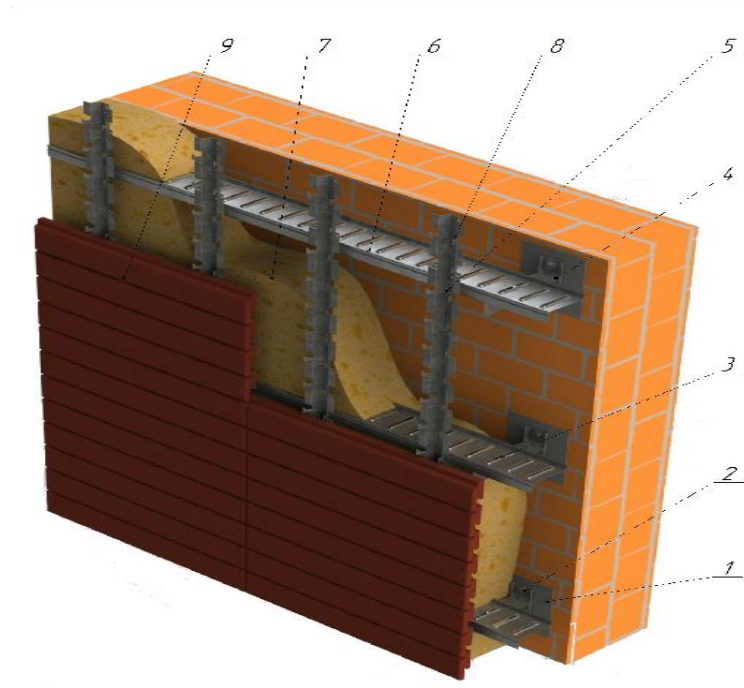
Більшість приватних будинків на сьогодні утеплюються “мокрим способом” – за допомогою клею або піни пінопласт кріпиться назовні стіни, далі він армується та оздоблюється. Але є і інші способи, які менш відомі рядовому забудовнику, проте мають незаперечні переваги. Наприклад, вентильований фасад.

Вентильований фасад – каркасна система оздоблення фасаду будівлі (див. рис. 1.2). За допомогою спеціальних фасадних профілів та кріплень по зовнішній стіні будівлі створюється каркас. Він кріпиться безпосередньо до стіни. З лицьової сторони до профілів прикріпляються спеціальні фасадні панелі, яких є багато видів. Фасадні панелі можуть бути металеві (сталь, алюміній), природні (камінь, дошка), пластикові, композитні. В якості фасадних можуть виступати навіть сонячні панелі. Безпосередньо до стіни за



допомогою тарільчатих дюбелів кріпиться утеплювач. Зазвичай, мінераловатні плити. Фасадні панелі не прилягають до утеплювача, між ними та утеплювачем пустий простір ((1...6) см, що забезпечує циркуляцію повітря). Звідси й назва “вентильовані”.

Для підбору системи проводиться два види розрахунків – міцнісний та теплотехнічний. Перший забезпечує надійність закріплення елементів системи, здатність протистояти власному та зовнішнім навантаженням. Другий – для мінімізації теплових втрат будівлі, збереження мінеральної вати в робочому стані.



1 - термоізоляційна прокладка; 2- дюбель; 3 - саморіз 6,3x19 мм; 4- консоль К-1,1; 5 - ригель ; 6 - шар теплоізоляції; 7 - стійка; 8 - фасадна плитка; 9 - переваги та недоліки вентильованих фасадів

Рисунок 1.2 – Конструктивно-технологічна схема ЕКВЕСОП-1

Вентильований фасад майбутній має наступні переваги:

- практично безмежні можливості по декору фасаду. Можливе облаштувати його каменем (граніт, мрамур), дошкою, металевими чи композитними панелями;
- великий вибір кольорів і текстур;
- утеплення будинку значно знижує витрати на опалення, точка роси не в несущій стіні;
- високі звукоізоляційні показники фасадної системи;
- строк експлуатації фасадної системи в залежності від вибраних матеріалів від 20 років і більше;
- висока ремонтоздатність – можливість в будь-який час замінити пошкоджену панель;
- вентиляційний повітряний прошарок між панелями та утеплювачем сприяє швидкому відведенню, що запобігає підвищенню теплопровідності ізоляційного матеріала;
- стійкість до атмосферних опадів;
- при використанні базальтової вати можна утеплювати багатоповерхові будинки.

Що потрібно відмітити про вентильований фасад. Ця технологія не з дешевих та потребує кваліфікованих виконавців. Для приватного будинку своїми руками значно дешевше та простіше проводити утеплення за методом скріпленої ізоляції, а от для багатоповерхових будинків, адміністративних, офісних, торговельних споруд вентильований фасад – те, що потрібно. Варто зазначити, що для його влаштування зовнішні несучі стіни повинні мати достатню міцність, щоб забезпечити надійне кріплення каркасу. Вимоги до конструкцій стін з фасадною ізоляцією викладені в ДБН В.2.6-33:2018.

## 1.4 Вибір оптимальної системи опалення

Серед розглянутих вище варіантів проектування системи опалення у багатоповерховому житловому будинку, зваживши всі переваги та недоліки даних систем, можна зробити висновок, що найефективнішою та перспективнішою в даний час є горизонтальна двотрубна поквартирна система опалення.

Поквартирні системи опалення в багатоповерхових житлових будинках - це новий вид інженерних систем в нашій країні. Поквартирні системи опалення - це такі системи, які можуть управлятися мешканцями квартири, без зміни теплового режиму сусідніх помешкань та забезпечувати поквартирний облік витрати теплової енергії. Це спроба одночасного вирішення двох суперечливих завдань - підвищення теплової комфортності житла й енергозбереження. Актуальність вирішення цієї задачі усвідомлюють і проектувальники, і будівельники, і муніципальні служби, і навіть політики, ратуючи за житлово-комунальну реформу.

Для того, щоб порівняно просто організувати поквартирний облік тепла, необхідно забезпечити одне введення в квартиру подаючого та зворотного трубопроводів і приєднати до них всі опалювальні прилади, розміщені в квартирі.

## 1.5 Оцінка ефективності системи опалення

Все тепло, що отримується, при спалюванні палива розподіляється на корисне тепло (тобто ту частину тепла, яка йде безпосередньо на нагрівання приміщення) та теплові втрати в навколишнє середовище.

На кожній із стадій виробництва, регулювання і розподілу тепла неминучі його втрати. Загальний коефіцієнт ефективності системи опалення

$$\eta_g = \eta_p \eta_d \eta_e \eta_c, \quad (1.1)$$

де  $\eta_g$ — загальний коефіцієнт ефективності системи опалення;

$\eta_p$  — коефіцієнт ефективності установки;

$\eta_d$ — коефіцієнт ефективності розподілення теплоти;

$\eta_e$  — коефіцієнт ефективності опалювальних приладів;

$\eta_c$  — коефіцієнт ефективності регулятора системи.

Згідно з європейськими нормами, прийнято вважати, що загальний коефіцієнт ефективності системи опалення  $\eta_g$  не повинен бути нижче певного значення, що обчислюється таким чином

$$\eta_g = 65 + 3 \log(P_n), \quad (1.2)$$

де  $\log(P_n)$  є десятковим логарифмом від номінальної потужності котла. Потужність котла виражається в кВт.

У нашому випадку розрахуємо допустимий загальний коефіцієнт ефективності для системи опалення 9 – ти поверхового житлового будинку з вбудовами у м. Харків, обладнаний модулями потужністю 480 кВт

$$\eta_g = 65 + 3 \cdot \log(480) = 73.$$

Іншими словами, мінімально допустимий загальний коефіцієнт ефективності більшості систем опалення повинен перевищувати 73 %.

З наведеного вище рівняння очевидно, що зниження будь-якого з коефіцієнтів ефективності призводить до зниження загального коефіцієнта ефективності системи опалення.

Наочно це зображується графіком (рис. 1.3), з якого видно, наскільки загальний коефіцієнт ефективності системи опалення залежить від кожного з множників рівняння.

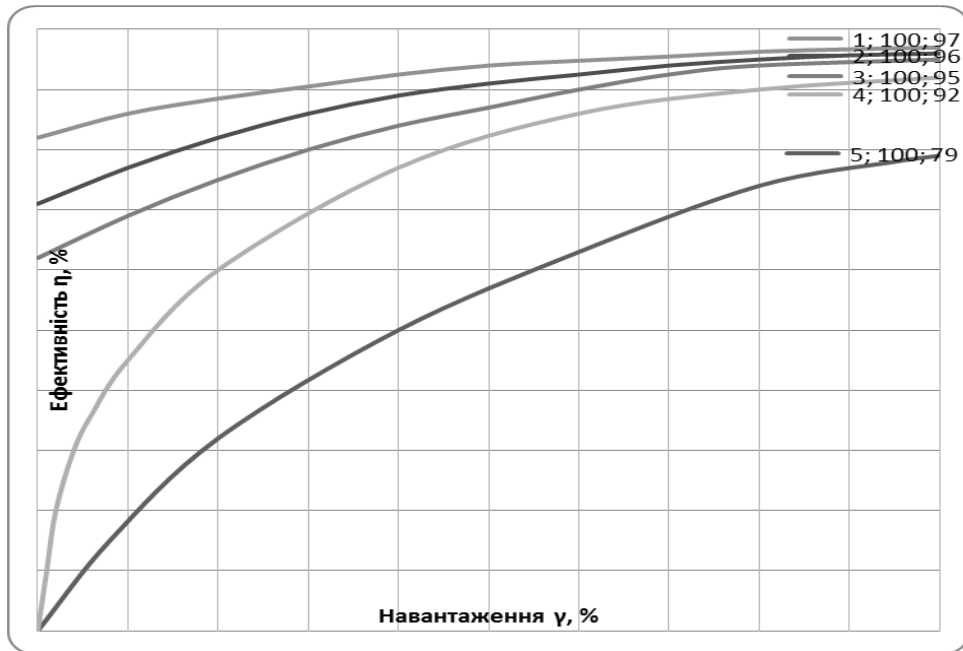


Рисунок 1.3 – Графік коефіцієнтів ефективності системи опалення

На рисунку 13 прийнято наступні умовні позначення: 1 -  $\eta_c$  (регулювання); 2 -  $\eta_e$  (опалювальних приладів); 3 -  $\eta_d$  (розподілення); 4 -  $\eta_p$  (установки); 5 -  $\eta_g$  (загальний).

Для прикладу розглянемо показники сучасної системи опалення, спроектованої і зібраної згідно з усіма нормами і правилами. У ній використовуються такі показники:

- коефіцієнт ефективності установки,  $\eta_p=0,89$ ;
- коефіцієнт ефективності розподілення теплоти,  $\eta_d=0,95$ ;
- коефіцієнт ефективності опалювальних приладів,  $\eta_e=0,96$ ;
- коефіцієнт ефективності регулятора системи,  $\eta =0,97$ .

Загальний коефіцієнт ефективності системи розраховується по формулі (1.1)

$$\eta_g = 0,89 \cdot 0,95 \cdot 0,96 \cdot 0,97 = 0,79.$$

Як видно, найбільший коефіцієнт ефективності виходить при 100 % навантаженні системи опалення, тобто при максимальній потужності

теплогенеруючої установки, яка закладається з розрахунку на мінімальну температуру зовнішнього повітря у найхолодніший період.

Оскільки середня температура зовнішнього повітря за опалювальний період значно вище мінімальної, то, відповідно, знижується і теплове навантаження опалювальної системи, а отже, і загальний коефіцієнт ефективності системи. У середньому за опалювальний період загальна ефективність системи опалення може становити близько 40-50% її максимального значення. Для спрощення прийнято вважати, що середнє значення загального коефіцієнта за опалювальний період становить 50% її значення при максимальному навантаженні.

Розглянемо, як змінюються складові загального коефіцієнта ефективності системи опалення при різних умовах.

Ефективність регулювання:

$\eta_c = 0,98$  — ефективне терморегулювання;

$\eta_c = 0,93$  — часткове терморегулювання;

$\eta_c = 0,85$  — без терморегулювання.

Ефективність опалювальних приладів:

$\eta_e = 0,98$  — конвектори з примусовою циркуляцією повітря;

$\eta_e = 0,97$  — добре відрегульовані панелі променистого обігріву (підлогове опалення);

$\eta_e = 0,96$  — добре відрегульовані радіатори.

Ефективність розподілення:

$\eta_d = 0,95-0,96$  — добре утеплені трубопроводи;

$\eta_d = 0,80-0,95$  — погано утеплені трубопроводи;

$\eta_d = 0,70-0,80$  — не утеплені трубопроводи.

Ефективність установки:

$\eta_p = 0,70-0,90$  — в залежності від типу котла, якості його налаштувань, розмірів, потужності і т.п.

Приклад аналізу загального коефіцієнта ефективності системи.

Проаналізуємо зміну загального коефіцієнта ефективності  $\eta_g$  у разі 9-ти поверхового житлового будинку. На прикладі покажемо, як підвищується ефективність системи при її поетапній модернізації, а також залежність загального коефіцієнта ефективності від всіх чотирьох множників:  $\eta_p$ ,  $\eta_d$ ,  $\eta_e$  і  $\eta_c$ . Для зручності будемо вважати, що схема котельні у всіх чотирьох випадках незмінна:

найпростіша схема системи опалення

$$\eta_g = \eta_p \eta_d \eta_e \eta_c = 0,71 \cdot 0,90 \cdot 0,90 \cdot 0,84 = 0,48;$$

у порівнянні з першою, вдосконалено регулювання системи

$$\eta_g = \eta_p \eta_d \eta_e \eta_c = 0,71 \cdot 0,90 \cdot 0,90 \cdot 0,99 = 0,57;$$

у порівнянні з першою, вдосконалено розподілення тепла в системі

$$\eta_g = \eta_p \eta_d \eta_e \eta_c = 0,71 \cdot 0,94 \cdot 0,99 \cdot 0,84 = 0,55;$$

у порівнянні з першою, вдосконалено виробництво тепла

$$\eta_g = \eta_p \eta_d \eta_e \eta_c = 0,88 \cdot 0,90 \cdot 0,90 \cdot 0,84 = 0,60;$$

у порівнянні з першою, зроблена комплексна модернізація системи опалення

$$\eta_g = \eta_p \eta_d \eta_e \eta_c = 0,88 \cdot 0,94 \cdot 0,99 \cdot 0,99 = 0,60.$$

Як видно з наведених вище розрахунків, комплексна модернізація системи опалення може призвести до майже дворазового підвищення

загального коефіцієнта ефективності системи опалення ( $\eta_g = 0,81$  проти  $\eta_g = 0,48$ ), а отже, і до істотної економії палива.

За середніми оцінками, проведення подібної модернізації системи опалення, при діючих цінах на газ, може окупитися за 6 років.

## 1.6 Система гарячого водопостачання

Гаряче водопостачання від модульної котельні, розміщеної на даху, забезпечується модулями нагріву МН – 120.

Модульні котельні установки служать для приготування, транспортування і якісного регулювання тепла для потреб систем опалення, гарячого водопостачання, приточної вентиляції, технологічних потреб. Працюють на природному газі низького тиску 1960 Па.

Принцип приготування гарячої води полягає у її приготуванні на весь будинок. Облік тепла ведеться у даховій котельні, підготовка теплоносія відбувається у котельні, існує потреба у додаткових трубопроводах, їх ізоляції, а також приладів контролю та обліку.

Також, гаряча вода, яка готується у даховій котельні житлового будинку, надходить до водорозбірних кранів в тій чи іншій мірі остигаючи в трубопроводах. Для її підігріву та постійної циркуляції доводиться витратити додаткову кількість теплової та електричної енергії.

Тому можна розглянути інший варіант приготування гарячої води, який може доповнити використання дахової котельні.

Основні функції ГВП від установок приготування гарячої води – УГВнс - це приготування гарячої води в необхідній кількості для споживання.

Переваги:

- компактність;
- отримання необхідної кількості гарячої води заданої температури;



- повністю автоматична робота ( без втручання людини);
- легкість монтажу і експлуатації;
- надійність і безпечність.

Галузь застосування:

- у котеджному будівництві (для гарячого водопостачання, підігріву води в басейнах);
- гаряче водопостачання адміністративних будинків і споруд;
- реконструкція систем гарячого водопостачання існуючого житлового фонду.

Основні параметри установок приготування гарячої води наведені у таблиці 1.1.

Таблиця 1.1 – Параметри УГВнс 90 [1]

Найменування параметра	Од. виміру	УГВнс 90
Номінальна теплова потужність установки	кВт	90
Витрата гарячої води (при $\Delta t = 40^{\circ}\text{C}$ )	л/хв.	30
Макс. температура води, що нагрівається	$^{\circ}\text{C}$	60
Максимальний тиск води	МПа	1
Напруга електроживлення	В/Гц	220/50
Максимальна електрична потужність, що споживається	кВт	0,34
Максимальний струм, що споживається	А	1,38
Застосовується паяний теплообмінник фірми Alfa – Laval насоси: первинного контуру вторинного контуру (Grundfos)		CB52 – 20 (27 - 32)  UPS 25 – 80 UPS 25 – 40

Установки приготування гарячої води настінні. Вони дають можливість готувати і використовувати необхідну кількість гарячої води.

В конструкції теплоцентру використовується паяний пластинчастий теплообмінник компанії Alfa Laval.

В установці теплоцентру УГВнс 90 встановлені насоси фірми Grundfos – насос первісного контуру UPS 25-80 , насос вторинного контуру UPS 25-40.

Гідравлічна схема УГВнс наведена на рисунку 1.4. На рис. 1.4 прийнято наступні умовні позначення: 1 – повітровідводник; 2 – капілярний датчик; 3 – насос 2-го контуру; 4 – клапан 3-х ходовий; 5 – головка термостатична; 6 – фільтр сітчастий; 7 – насос 1-го контуру; 8 – лічильник води; 9 – реле тиску; 10 – теплообмінник; Т1 – подача граючої води; Т2 – зворотня лінія; Т3 – подача гарячої води ГВП; Т4 – рециркуляція гарячої води; В1 – вхід холодної води.

Принцип дії УГВнс: теплоносій з подаючого трубопровода Т1 системи опалення очищається у фільтрі 6, надходить у теплообмінник 10 за допомогою насоса первинного контуру 7. Охолоджений в теплообміннику теплоносій повертається по трубопроводу Т2. Гаряча вода подається трубопроводом Т3. Задана температура води в квартирній системі гарячого водопостачання підтримується роботою регулюючого клапана прямої дії, зв'язаного з капілярним датчиком 2, який встановлений на трубопроводі Т3. По трубопроводу В1 надходить холодна вода, яка очищається у фільтрі 6 і проходить через лічильник води 8. Рециркуляція гарячої води Т4 з системи гарячого водопостачання надходить в установку, теплоносій очищається у фільтрі 6, за допомогою насоса вторинного контуру 3 надходить, підмішуючись з В1 до теплообмінника. Повітровідвідник 1 забезпечує видалення повітря з квартирної системи гарячого водопостачання.

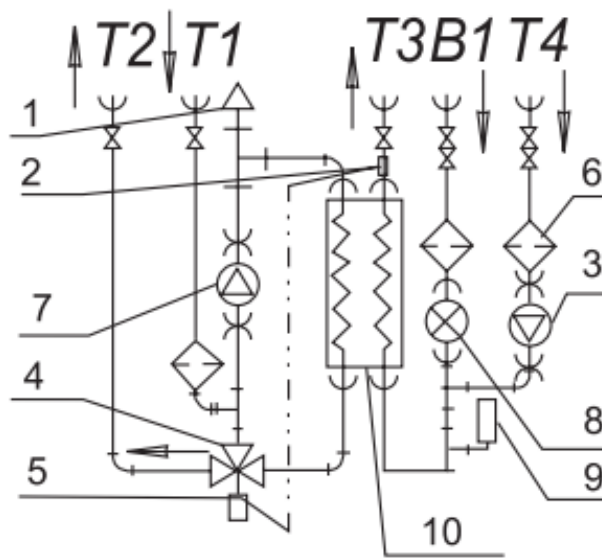


Рисунок 1.4 – Гідравлічна схема УГВнс 90

Якщо брати до уваги тільки одноразові витрати, то в більшості випадків розосередження обладнання не вигідно, тому що сконцентроване в одному місці потужне обладнання, як правило, дешевше безлічі одиниць устаткування тієї ж сумарної потужності. Тому можна очікувати, що вартість ста УГВнс стоквартирного будинку буде більше вартості одного модуля нагріву гарячої води у даховій котельні такої будівлі. Оцінка вартості витрат на тепловий пункт однієї квартири, теплова потужність якої складає 4,6 кВт з опалення та 19 кВт з гарячого водопостачання. Як показує аналіз, вартість модуля житлової частини будівлі, віднесена до однієї квартири, в проектах близько 600-800 у.о. Таким чином, як і слід було очікувати, УГВнс замість модуля призводить до збільшення витрат, пов'язаних з обладнанням теплових пунктів.

Є цілий ряд факторів, які працюють на здешевлення варіанту теплопостачання багатоквартирного будинку з УГВнс:

у будівлі з УГВнс немає системи гарячого водопостачання з протяжними подаючими та циркуляційними трубопроводами, на яких встановлюють арматуру, та інші прилади;

з УГВнс не потрібні водолічильники гарячої води.

Ці чинники значною мірою компенсують інвестору його додаткові витрати на влаштування УГВнс. Таким чином, подорожчання будівництва, пов'язане з пристроєм УГВнс замість модуля, оцінюється приблизно в 450 у.о. на одну квартиру. При площі квартири 80 м<sup>2</sup> це становить приблизно 5,5 у.о./м<sup>2</sup> або близько 0,25 %.

У той же час, при влаштуванні УГВнс в багатоквартирному будинку очевидні наступні експлуатаційні переваги цього технічного рішення:

- усунуться втрати тепла стояками системи гарячого водопостачання;
- усунуться витрати на електроенергію, звичайно затрачену на циркуляцію в системах гарячого водопостачання;
- зменшиться споживання води через те, що гаряча вода подається з крана через кілька секунд після його відкриття. Крім того, поліпшується робота змішувачів, оскільки за відсутності гідравлічних втрат у водонагрівачі тиску в холодному і гарячому водопроводі будуть практично однаковими;
- спроститься облік водоспоживання, оскільки не потрібно буде вимірювати витрати гарячої води і окремо платити за неї;
- підвищиться надійність системи гарячого водопостачання;
- знизиться небезпека захворювань, пов'язаних з поширенням вірусів легіонели в трубопроводах системи гарячого водопостачання;
- можна очікувати загального зменшення витрат тепла і води у зв'язку з тим, що власник кожної квартири відчує здатність, конкретно впливаючи на споживання теплової енергії, реально знизити свої експлуатаційні витрати.

Незважаючи на те, що не всі з перерахованих факторів підвищеної експлуатаційної ефективності можуть бути цілком достовірно оцінені кількісно. При щорічній економії 87 у.о. на кожній квартирі додаткові витрати, пов'язані з улаштуванням УГВнс, окупляться приблизно за 5 років.

Таким чином, встановлення УГВнс є енергоефективним рішенням для системи гарячого водопостачання у багатоповерховому житловому будинку.

В результаті аналізу та порівняння для даного проекту обрано двотрубну поквартирну систему опалення, яка підвищує теплову

комфортність житла, призводить до економії тепла за рахунок поквартирного обліку, а також, приготування гарячої води від УТВнс. Вони дають можливість готувати і використовувати необхідну кількість гарячої води індивідуально, для досягнення енергоефективності житлового будинку.

### 1.7 Використання моделювання при визначенні та підвищенні енергоефективності будівель

Одним з показників ефективного використання теплової енергії для опалення є питомі значення на одиницю площі чи/або об'єму. Тому особлива увага приділяється методам по визначенню енергопотребности на опалення, на базі яких встановлюються значення питомих показників енергоефективності, для з'ясування можливого рівня економії енергоресурсів будівлі. Для підвищення енергоефективності будівель, за попередньо розглянутими напрямками в п. 1.2, потрібно вирішити ряд задач, які потребують адекватної моделі розрахунку. Модель - це спрощене уявлення реального пристрою та/або протікаючих явищ, процесів. Одні й ті ж процеси в будівлях можуть описуватися різноманітними моделями. Можуть використовуватися алгебраїчні, сіткові, чисельні та на експериментальних даних моделі. Аналітична модель - є системою таких співвідношень між заданими й шуканими величинами, які виражені математичними формулами в явному вигляді. Їх рішення шукаються в замкнутому вигляді, у вигляді функціональних залежностей [24]. Рішення чисельних методів - є дискретний ряд чисел чи таблиць. Моделі універсальні, зручні для вирішення складних завдань, але не наочні і трудомісткі при аналізі і встановленні взаємозв'язків між параметрами. В даний час такі моделі реалізують в вигляді програмних комплексів - пакетів програм для розрахунку на комп'ютері. Сіткова модель – множина поєднаних між собою фізично залежних елементів для опису. На основі сіткових моделей побудовано більшості програмних продуктів. Математична модель може бути побудована шляхом обробки

експериментально отриманих результатів, такі моделі отримали назву експериментальні [25].

Вирішення цих завдань, аналіз фактичних та отримання приведених до стандартних умов даних по енергоспоживанню потребує використання методів розрахунку та математичних моделей різного призначення [26]. На рисунку 1.5 наведено класифікацію моделей для визначення та підвищення енергоефективності.

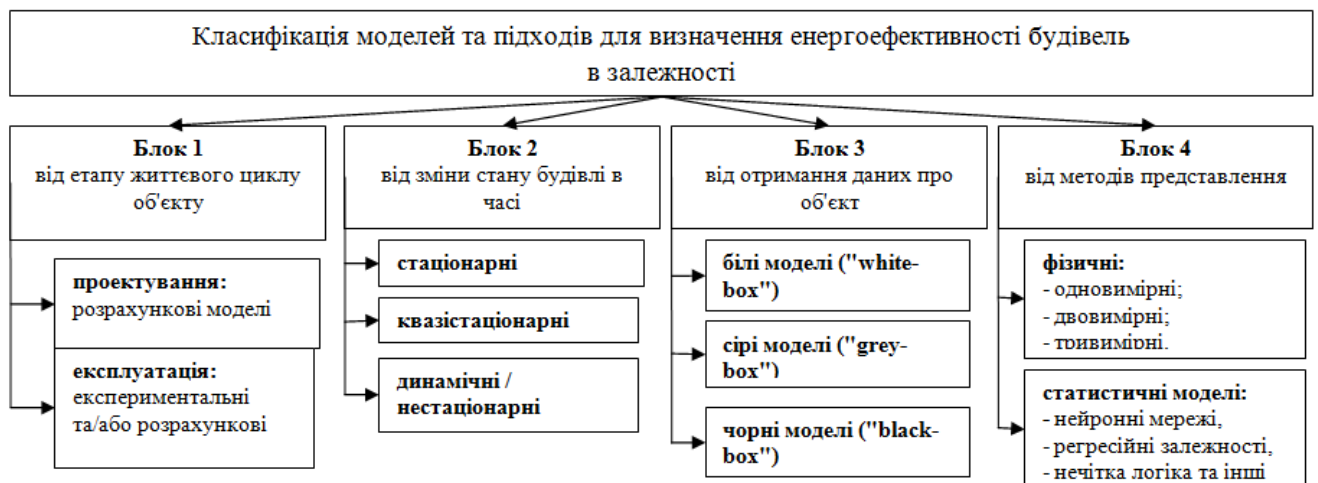


Рисунок 1.5 – Класифікація моделей для визначення та підвищення енергоефективності

В *блоці 1* розглядаються розподіл використання моделей енергетичного стану будівлі на стадії проектування та і на стадії експлуатації. В проектуванні використовуються розрахункові моделі для аналізу та оцінки енергоспоживання. Для вже існуючих будівель - розрахункові та/або експериментальні.

В *блоці 2* розглядаються підходи до класифікації в залежності від зміна стану будівлі в часі, тобто в залежності від часових інтервалів розрахунку моделі можуть бути стаціонарні, квазістаціонарні та динамічні (нестаціонарні). Стаціонарні методи розрахунку, що найбільш широко використовуються в Україні, дозволяють проводити розрахунок визначення енергопотребі будівлі в опалені в річному розрізі та не враховують інерційні

особливості будівлі. Квазістаціонарні методи використовують для розрахунку теплових балансів для досить тривалого інтервалу часу (зазвичай один місяць чи цілий сезон), динамічні процеси використання надходжень та/або втрат приймають до уваги за емпірично визначеним коефіцієнтом. Для детального аналізу енергетичних характеристик доцільно використовувати нестаціонарні та/або динамічні моделі розрахунку енергоспоживання. В динамічних методах тепловий баланс розраховують за короткотривалими часовими інтервалами (зазвичай одна година), беручи до уваги обсяг тепла, що акумулюється в, або вивільняється від масиву будинку [26].

В залежності від отримання даних про взаємозв'язок між параметрами в *блоці 3* розглядаються три типи моделей: метод чорного ящика ("black-box"), білого ящика ("white-box") та сірі моделі ("grey-box") [27]. Моделі які побудовані на базі рівнянь фізичних процесів та/або імітаційного моделювання називають "white-box". Імітаційне моделювання передбачає представлення моделі у вигляді алгоритму та комп'ютерної програми, яка дозволяє відтворити поведінку об'єкту. Імітаційні моделі розглядаються як експерименти, що проводяться на комп'ютерах, з математичними моделями, що імітують поведінку реальних об'єктів. При цьому імітуються елементарні явища, що складають процес, зі збереженням їх логічної структури та послідовності у часі, що дозволяє отримати відомості про стан системи у певний момент часу та оцінити характеристики системи. Імітаційні моделі дозволяють вирішувати більш складні задачі, ніж аналітичні. Моделі, які побудовані на основі статистичного аналізу отриманих даних про будівлю називаються "black-box". Поєднання фізичних та статистичних моделей аналізу отримало назву "grey-box" [28-32].

В *блоці 4* в залежності від методів аналізу будівель моделі бувають фізичні та статистичні. Фізичні методи розрахунку можуть вирішувати одновимірні, двовимірні та тривимірні задачі. Статистичні моделі будівель можуть проводити аналіз на основі нейронних мереж, регресійного аналізу та нечіткої логіки і т.п., тобто при створенні моделей даних по

енергоспоживанню можуть застосовуватися формальні підходи Datamodeling [33, 34].

Виходячи з вище розглянутої класифікації моделі можуть мати різні напрямки застосування, що залежать від області та мети застосування та задач дослідження.

Енергопотреба може визначатися в річному [35, 36, 39, 40], помісячному [23], погодинному [23, 37, 38] розрізі на стадії проектування [23, 37] та експлуатації [23, 32, 37-39] будівель.

Зі зростанням попиту на енергоефективне будівництво виникла проблема прогнозування енергетичної ефективності будівництва на етапі проектування. Моделювання енергетичної ефективності будівель на стадії проектування активно використовується в Європі. Інформаційне моделювання будівель (Building Information Modeling - BIM) - це інтелектуальний процес заснований на 3D-моделях, який використовується на стадії проектування та будівництва для більш ефективного планування, проектування та управління будівлею, групою будівель та інфраструктурою в цілому. BIM на основі моделювання енергії дає ряд переваг, включаючи: більш точний та повний аналіз енергоефективності на ранніх етапах проектування, зниження вартості життєвого циклу тощо [41, 42]. В Росії BIM підходи до аналізу будівель були прийняті з кінця 2016 року. Інформаційна модель будівель BIM більш широке поняття та включає в себе моделювання енергетичного потенціалу (Building Energy Modeling - BEM). Енергетичне моделювання в будівництві (BEM) передбачає прогнозоване споживання енергії будівлею та відповідний рівень енергозбереження порівняно із стандартною базовою лінією. Таким чином, це демонструє відповідність проекту вимогам зеленої сертифікації LEED. BEM прогнозує енергоефективність на основі даних типового метеорологічного року (Typical Meteorological Year - TMY), а також припущень щодо експлуатації будівель, що, в свою чергу, дозволяє розрахувати різні енергозберігаючі заходи [41, 42]. BEM може бути використаний для оцінки споживання енергії



в будівництві при застосуванні різних дизайнерських рішень та допомагає проєктувальникам приймати найкращі рішення [41-43, 30]. ВЕМ підходи реалізуються на базі програмних продуктів, найбільш поширений серед них це EnergyPlus та TRNSYS [44, 45]. ВЕМ використовуються для аналізу вже діючих будівель. Для діючого старого фонду будівель України актуальний аналіз на стадії експлуатації, тому ВЕМ може знайти використання в нашій країні. На стадії експлуатації для аналізу та моніторингу використовують Системи енергоменеджменту будівлі (Building Energy Management Systems - BEMS) постійно привертають увагу як дієва система контролю будівлі [29, 46]. Ці системи в даний час працюють з класичними алгоритмами управління, такими як включення-вимкнення, PID-регулювання (proportional–integral–derivative controller) та оптимальні процедури запуску-зупинки. Теплова взаємодія між різними зонами будівлі та HVAC (Heating, Ventilation and Air-Conditioning - системи опалення, вентиляції та кондиціонування повітря) призводить до різноманітної поведінки, яку не можна точно контролювати за допомогою класичних методів управління [29]. Таким чином, вдосконалені системи керування, які можуть обробляти декілька входів і множинних виходів, є кращим підходом для контролю теплового стану будівель [29, 46, 47]. Інтеграція математичних моделей ВЕМ, які можуть описувати будівельну фізику, може допомогти в успішному контролі енергоефективності будівництва.

При проєктуванні звертається увага впливу конструкцій оболонки для оцінки групи/району будівель [39, 48, 49], для окремих будівель [50], репрезентативних приміщень [20, 51], впливу кліматичних факторів на енергопотребу [52, 53].

Для експлуатаційних умов важливим є прогноз навантаження на систему HVAC для різних часових інтервалів [38, 49, 31, 32, 48, 49], для періоду опалення [31, 40, 54] та/або охолодження [40, 54].

Математичні моделі будівлі можуть використовуватися при сертифікації будівель [55-60] та побудові енергетичних рейтингів будівель [56, 61, 62].

В більшості розвинених країн оптимізація показників енергоефективності будівель виконується на стадії проектування. В Україні житловий та громадський фонд будівель в значній своїй мірі побудований в роки СРСР, тому аналіз показників енергоефективності широко використовується на стадії експлуатації для вже діючих будівель. Основна перешкода – відсутність адекватної оцінки енергопотреби в будівлях в Україні призводить до того, що на відміну від країн ЄС, неможливо визначити базу порівняння поточного рівня енергоефективності сектора нерухомості і встановити реалістичні цілі щодо його зниження в перспективі. Запропоновані підходи аналізу будівлі як складної енергетичної системи мають свої особливості та межі застосування, що потрібно враховувати при розробці та вдосконаленні моделей.

## 2 САМООЦІНКА ТА САМООПТИМІЗАЦІЯ БУДІВЕЛЬ ТА ПРИЛАДІВ ДЛЯ ПОКРАЩЕННЯ ЕНЕРГЕТИЧНИХ ПОКАЗНИКІВ

### 2.1 Принципи проектування енергоефективного будинку

Енергоефективність — ефективне (розсудливе, доцільне) використання енергетичних запасів. Це застосування меншої кількості енергії для підтримання того ж рівня енергетичного забезпечення будівель або технологічних процесів на виробництві. Ця галузь знань перебуває на стику інженерії, економіки, юриспруденції і соціології.

На відміну від енергозбереження (заощадження, збереження енергії), головним чином спрямованого на зменшення енергоспоживання, енергоефективність (корисність енергоспоживання) — доцільне (ефективне) витрачання енергії.

Для населення — це значне скорочення комунальних витрат, для країни — заощадження ресурсів, підвищення продуктивності промисловості і конкурентоздатності, для довкілля — обмеження викиду парникових газів в атмосферу, для енергетичних компаній — зниження витрат на паливо і необґрунтованих витрат на будівництво.

Підвищення вартості енергоресурсів, стрімка зміна клімату в Україні – все це є причинами для впровадження методів підвищення енергетичної ефективності будівель на стадії їх проектування. На сьогодні велика кількість будинків в Україні не відповідає вимогам енергозбереження. Розробка нових та розвиток наявних методів, що на ранніх стадіях розробки проектів підвищують енергоефективність будівель, є актуальною задачею.

Енергоефективний будинок – це будинок, який характеризується раціональним використанням енергетичних ресурсів та покращеними зведеними показниками тепловитрат порівняно з нормативними.

Проектування енергоефективної будівлі спрямовано на побудову об'єкта, що ефективно використовує тепло, є колектором та акумулятором теплової енергії. Всі елементи будинку повинні бути узгоджені з головним

принципом, сприяти та регулювати надходження сонячного тепла до будинку. Задача проектування енергоефективних будівель – можливість отримання в результаті проектування будови, в якій досягнуто мінімального впливу зовнішнього середовища на будинок; будови, що характеризується компактністю забудови, захищеної від несприятливих природних явищ зі сприятливою орієнтацією. Задачею проектування окремого об'єкта є створення будинку, що характеризується максимальним накопиченням тепла всередині, компактністю форми, оптимальною орієнтацією за сторонами світу, диференціацією скління, пасивним та активним використанням сонячної енергії, можливістю сезонної трансформації енергонакопичувальних елементів будинку, температурним зонуванням будинку.

Зовнішній клімат, тепло землі, водні ресурси, біомаса і т.д. є джерелами енергії, тому слід передбачити можливість їх використання за допомогою теплових насосів (див. рис. 2.1.), сонячних колекторів (див. рис. 2.2) та інших енергетичних устаткувань.

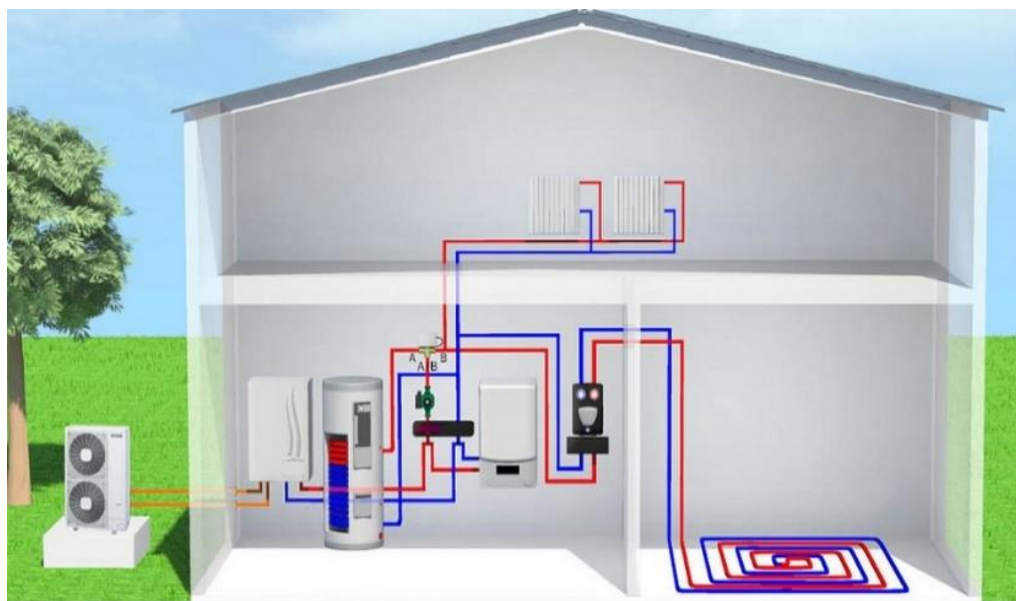


Рисунок 2.1 - Схема роботи теплового насосу

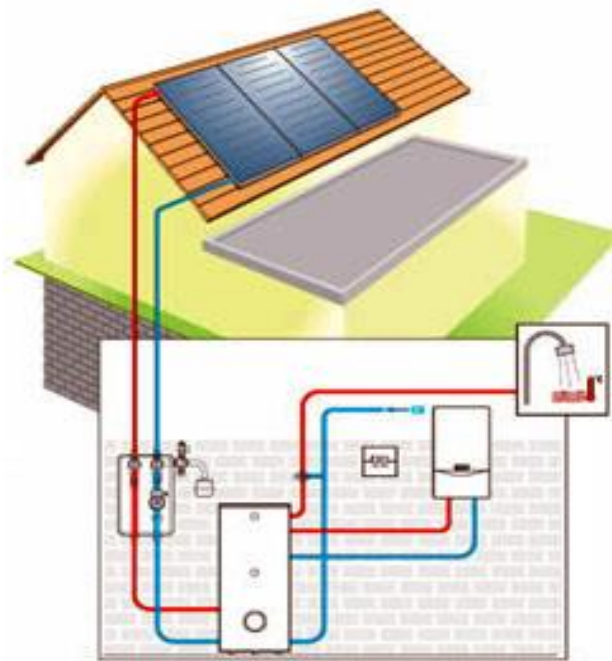


Рисунок 2.2 - Схема роботи сонячного колектора

Основними факторами впливу на енергоефективність будівлі є сонячна радіація, температура і вологість повітря, використання поновлювальних джерел енергії. Безпосередньо впливають на енергоефективність будинків нормативні та технологічні вимоги до інсоляції, природного освітлення, акустики, шумозахисту, аерації тощо.

Методичною основою для дослідження енергетичної здатності зовнішнього клімату (тепла землі та водних ресурсів) є статистична обробка результатів метеорологічних спостережень. При побудові математичної моделі сукупності зовнішнього клімату, можна використовувати детермінований або ймовірнісний підходи.

Детермінований підхід заснований на використанні реального поєднання сукупності показників зовнішнього клімату кожного географічного пункту за багаторічний період, щогодинні і нагальні показники клімату для даного географічного пункту, зібраного в архівах метеостанцій за багато років.

У разі ймовірнісного підходу до побудови математичної моделі сукупності показників зовнішнього клімату зміна цих показників є випадковим процесом, причому нестационарним і багатовимірним. За експериментальними даними можна побудувати як одновимірні функції розподілу показників зовнішнього клімату, так і двовимірні: температура – швидкість вітру, температура – сонячна радіація, температура – відносна вологість, ентальпія зовнішнього повітря – сонячна радіація.

#### Принципи формування архітектури енергоефективних будівель

Під час проектування енергоефективної будівлі дотримуються декількох основоположних архітектурних і будівельних принципів підвищення енергоефективності:

- оптимізація архітектурних форм будівлі з урахуванням можливого впливу вітру;
- оптимальне розташування будівлі відносно сонця, що забезпечує можливість максимального використання сонячної радіації;
- збільшення термічного опору огорожувальних конструкцій будівлі (зовнішніх стін, покриттів, перекриттів над неопалюваними підвалами) до технічно можливого максимального рівня;
- зведення до мінімуму кількості теплової провідності, наявних в конструкції теплових мостів;
- забезпечення необхідної повітряної щільності конструкції будівлі щодо припливу зовнішнього повітря;
- підвищення до максимального технічно можливого рівня термічного опору світлопрозорих огорожувальних конструкцій;
- створення системи вентиляції для подачі свіжого повітря, видалення відпрацьованого повітря, розподілу тепла в приміщенні і організація регенерації тепла вентиляційного повітря.

В роботі методологія проектування енергоефективних будівель заснована на системному аналізі будівлі як єдиної енергетичної системи. Представлення будівлі як суми незалежних інноваційних рішень порушує

принципи системності і призводить до втрати енергетичної ефективності проекту. Проектування енергоефективної будівлі згідно з принципами системного аналізу включає в себе три етапи:

- побудову математичної моделі тепломасообмінних процесів в будівлі;
- вибір цільової функції, тобто граничних умов і формулювання оптимізаційної задачі залежно від цілі оптимізації;
- розв'язання поставленої оптимізаційної задачі.

Основний вплив на формування теплового режиму і відповідно енергетичного статусу будинку (енергетичних витрат на забезпечення необхідного теплового режиму) здійснює його теплоізоляційна оболонка. Від властивостей цієї енергетичної підсистеми залежить вибір параметрів підсистеми опалення.

Архітектурні енергозощаджувальні рішення повинні найкращим чином враховувати позитивний вплив зовнішнього клімату і мають максимально нейтралізувати його негативний вплив, зі урахуванням орієнтації і форми будівлі, яка пов'язана природним чином зі склінням, тепло-, сонцезахистом огорожувальних конструкцій.

В основу принципу альтернативного проектування теплоізоляційної оболонки прийнято забезпечення інтегральної енергетичної характеристики системи (будинку в цілому) – питомі максимально допустимі тепловтрати на опалення. Визначення цього показника здійснюється на підставі моделювання теплового режиму.

Завдання оптимізації рівня теплоізоляції за рахунок вибору раціональної орієнтації та розмірів будинку виконується завдяки максимальному використанню сонячної радіації в зимовий період та конструктивного захисту від сонячного опромінювання приміщень в літній період року, а також вибору такої геометрії, коли за інших однакових умов на одиницю корисної площі або об'єму витрачається мінімум теплової енергії на опалення та охолодження.

Показники теплової комфортності або санітарно-гігієнічні теплові вимоги визначаються таким чином  $\Delta t_{\text{пр}} \leq \Delta t_{\text{ср}}$ , де  $\Delta t_{\text{пр}}$ ,  $\Delta t_{\text{ср}}$  - фактичний (або розрахунковий) та допустимий за санітарно-гігієнічними вимогами температурний перепад між температурою внутрішнього повітря і зведеною температурою внутрішньої поверхні огорожувальної конструкції, °С.

Основною методологічною особливістю умови є забезпечення теплових комфортних параметрів приміщень, що є обов'язковою умовою енергоефективності будинку. В той же час слід враховувати, що тепловий комфорт не є точним технічним терміном і в жодному нормативному документі немає чіткого його визначення. Основною перевагою регламентного підходу проектування теплоізоляційної оболонки за економічними тепловими показниками є чітка визначеність вимог до кожного елементу оболонки. Основною енергетичною характеристикою будівлі є витрати теплоти на забезпечення необхідних за санітарно-гігієнічними вимогами теплових параметрів приміщень. Для порівняльного аналізу будівель, що експлуатуються в різних умовах, слід користуватися питомими показниками тепловитрат. Для цього введений параметр питомих тепловитрат на опалення будинку, а фізичний зміст цього параметру полягає у визначенні кількості енергії (Дж), що витрачається на забезпечення оптимальних теплових умов мікроклімату приміщень та відноситься до  $1\text{м}^2$  опалювальної площі або  $1\text{м}^3$  опалювального об'єму за опалювальний період року, який характеризується кількістю градусодіб.

Приміщення з вікнами, орієнтованими на південь мають сприятливу інсоляцію влітку, а взимку в них потрапляють низькі, глибоко проникаючі у приміщення сонячні промені.

З урахуванням переважання в опалювальний період вітрів західного і східного напрямку широтна орієнтація є оптимальною.

Форма, розмір і орієнтація будівлі повинні вибиратись таким чином, що б було забезпечено максимальне використання позитивного і



нейтралізовано негативний вплив зовнішнього клімату на тепловий баланс будівлі.

У процесі вибору форми будинку важливим завданням архітектора є максимальне скорочення площі поверхні зовнішніх огорожувальних конструкцій з метою мінімізації тепловтрат в холодний час і теплонадходжень у теплу пору року.

Найбільш ефективною з точки зору мінімізації тепловтрат є кругла форма. Вона має найменший периметр, і, отже, будівлі круглої в плані форми будуть мати найменшу площу зовнішніх огорожувальних конструкцій. Також ця форма є сприятливою з точки зору впливу вітрових потоків. Питання оптимізації форми тіл зводиться, як правило, до визначення найбільш раціональної форми серед наперед заданого класу тіл.

## 2.2 Розрахунок енергетичних показників будівлі

Навіть на сьогоднішній день, коли технології розвиваються семимильними кроками, ми маємо величезні втрати енергії. Це спонукає нас замислитись: що ми можемо зробити щоб ощадливо та ефективно використовувати надану нам енергію.

За оцінкою фахівців, одним з основних напрямів поліпшення екологічної обстановки у світі та збереження здоров'я населення є зниження рівня споживання природних енергетичних ресурсів.

Житлово-будівельна сфера споживає близько 20 % всіх споживаних в країні топливоенергетичних ресурсів.

Енергозбереження - передбачає вкрай економне витрачання енергетичних ресурсів, тому природні ресурси вичерпані, дорого коштують, а їх видобуток в більшості випадків завдає шкоди навколишньому середовищу.

У багатьох розвинених країнах (США, Японія та ін), після світової енергетичної кризи, що вибухнула в 70-ті роки, були розроблені різні

концепції що до енергозбереження, в результаті реалізації яких річна витрата енергії в цих країнах була знижена на (30...40) %.

В даний час практично для всіх видів виробництв розроблені енергозберігаючі, теплоутилізуючі установки і прийняті інші теплозахисні заходи, проте рівень енергоефективності підприємств будівельної галузі та житлово-комунального господарства у нас в країні значно нижче зарубіжного.

Енергоефективність - це галузь знань, що знаходиться на стику інженерії, економіки, юриспруденції та соціології. Означає раціональне використання енергетичних ресурсів, досягнення економічно доцільної ефективності використання існуючих паливно-енергетичних ресурсів при дійсному рівні розвитку техніки та технології та дотриманні вимог до навколишнього середовища.

Поняття «енергоефективність» означає досягнення певного результату, наприклад, опалення будинку, з використанням меншої кількості енергії, ніж потрібно зазвичай.

Для населення - це значне скорочення комунальних витрат, для країни - економія ресурсів, підвищення продуктивності промисловості і конкурентоздатності, для екології - обмеження викиду парникових газів в атмосферу «хто ефективно використовує енергію, той запобігає зловживанням ресурсами та охороняє навколишнє середовище », для енергетичних компаній - зниження витрат на паливо і необґрунтованих витрат на будівництво.

Для оцінки енергоефективності для продукції або технологічного процесу використовується «показник енергетичної ефективності», який оцінює споживання або втрати енергетичних ресурсів.

Енергоефективні технології можуть застосовуватися в освітленні (наприклад, плазмові світильники на основі сірки), в опаленні (інфрачервоне опалення, теплоізоляційні матеріали) [46].

В цілому, поняття дуже енергоефективність та енергозбереження часто використовуються як рівнозначні. Проте насправді енергоефективність є всього лише одним аспектом енергозбереження.

На відміну від енергозбереження (збереження енергії), яке головним чином направлене на зменшення споживання енергії, енергоефективність (користь енергоспоживання) — це корисна, ефективна витрата енергії.

Говорячи про енергоефективність, маємо на увазі не лише «енергозбереження», тобто економію енергії у повсякденному житті. Мова йде про раціональне та свідоме використання енергетичних ресурсів, доступних кожному, з метою їх дбайливого збереження для навколишнього середовища та наших нащадків.

Енергозбереження включає в себе зміни в поведінці людей, наприклад, відключення електроприладів замість залишання їх в режимі очікування. Ефективне використання енергії призводить до її економії, скорочення виплат по рахунках за комунальні послуги і захисту навколишнього середовища. Як наслідок, зменшується споживання енергоресурсів і викиди парникових газів.

Україна, яка споживає у загальному балансі більше (60...70) % імпортованих енергоресурсів, є однією з енергозалежних країн Європи. І цьому сприяє не тільки їх відсутність, а й неефективне використання, що загрожує національним інтересам та національній безпеці країни. Тому вирішення питань енергозбереження та енергоефективності є одним з першочергових в умовах енергетичної кризи в країні [36].

В Україні, як і в більшості європейських країн, понад 30 % кінцевої енергії споживається будинками. Це найбільший сектор національної економіки з точки зору енергоспоживання, за яким ідуть промисловість і транспорт. Якщо в індустріальному секторі споживання енергії з часом зменшується (підприємства хоч і поступово, але впроваджують енергоефективні технології), то в житловому нічого не змінюється. Причина

цього – наявність бар'єрів, які перешкоджають власникам житла впроваджувати енергоефективні технології у своїх будинках.

Енергоефективність означає раціональне використання енергетичних ресурсів, досягнення економічно доцільної ефективності використання існуючих паливно-енергетичних ресурсів при дійсному рівні розвитку техніки та технології та дотриманні вимог до навколишнього середовища.

Для населення – це значне скорочення комунальних витрат, для країни – економія ресурсів, підвищення продуктивності промисловості і конкурентоспроможності, для екології – обмеження викидів парникових газів в атмосферу, для енергетичних компаній – зниження витрат на паливо і необґрунтованих витрат на будівництво.

Через незабезпеченість енергоефективності будівель втрати тепла становлять 47 %, 12 % тепла втрачається через зношеність мереж, 5 % – через застаріле обладнання котелень. За допомогою тепломодернізації та капітального ремонту в будинках можна зменшити щорічне споживання і втрати енергії на (10...25) %. При цьому в цілому по Україні потенціал зменшення енергоспоживання становить 75 %[38].

Кожний уряд незалежної України одним з головних пріоритетів у своїй діяльності визначав необхідність розв'язання проблем підвищення енергоефективності житлово-комунального господарства. У своїх програмах дій вони намічали шляхи розв'язання цих проблем, розробляли відповідні державні програми, визначали комплекс заходів, які сприяли їх реалізації.

Питання підвищення енергоефективності будівель було визначено владою країни як пріоритетне. Реконструкція житлових будівель передбачала такі заходи, що сприяють зменшенню споживання енергії:

- утеплення зовнішніх стін;
- ізоляція даху (водонепроникність і теплоізоляція);
- заміна вікон у приміщеннях загального користування і вхідних групах;

- заміна всіх вікон (зазвичай проводиться індивідуально власниками квартир);
- утеплення стель підвалу;
- термостатичні клапани та налагодження системи опалення;
- реконструкція вертикальних труб і горизонтальних труб розподілу;
- реконструкція електричних установок (всередині квартири проводиться власниками помешкання);
- реконструкція електропроводки.

Світова практика показує, що споживання енергії тільки в житловому секторі може бути скорочено принаймні в 2 рази, якщо впроваджувати новітні технології виробництва та експлуатації матеріалів і устаткування.

Що в результаті заходів з енергозбереження (утеплення, встановлення лічильників тощо) споживання енергоресурсів знижується десь на 30–40 %. За оцінками експертів, реалізація проектів термомодернізації житлових будинків дала б можливість щороку економити понад 30 млн мВт/год, або приблизно 7 млрд грн. [37, 38].

Україна далеко не перша держава у Європі, яка стикнулася з необхідністю підвищення енергоефективності житлових будинків та будівель соціального призначення. Позитивним є те, що, освоюючи нові технології, ми вже можемо покладатися на практичний досвід інших країн. Акумулюючи результати вже реалізованих реформ і власних розробок, ми можемо знайти найбільш прийнятні моделі для кожного регіону України, враховуючи його індивідуальну специфіку.

## 2.2 Використання сонячної енергії для формування енергозабезпеченості будівлі

Основним елементом сонячної нагрівальної системи являється приймач (геліоколектор), в якому відбувається поглинання сонячного випромінювання та передача енергії теплоносію.

Ефективність СК залежить від метеоумов місцевості, прозорості скла, кута нахилу колектора, способу установки, часу використання (протягом усього року або сезонно), обслуговування та ін.

Для визначення залежності ККД від цих факторів використано рівняння теплового балансу: в будь-який момент часу кількість сонячної радіації, що поглинається поверхнею абсорбера СК  $Q_{\text{пов}}$ , дорівнює сумі корисної теплоти для нагріву води  $Q_{\text{ск}}$ , теплоти яка витрачається на нагрів самого СК  $Q_{\text{нагр}}$ , і тепловтрат в навколишнє середовище  $Q_{\text{втр}}$ . З моменту стабілізації температури і надходження сонячної радіації теплотою  $Q_{\text{нагр}}$  можна знехтувати, тобто

$$Q_{\text{пов}} = Q_{\text{ск}} + Q_{\text{втр}}. \quad (2.1)$$

ККД СК визначається як відношення корисної енергії  $Q_{\text{ск}}$  до кількості сонячної радіації, поглиненої поверхнею абсорбера  $Q_{\text{пов}}$ .

Корисну теплоту для нагріву води представляємо  $Q_{\text{ск}}$ , Вт

$$Q_{\text{ск}} = A[\tau_{\text{пов}} \alpha_{\text{п}} I - (T_{\text{п}} - T_{\text{н.с.}})/R_{\text{п}}], \quad (2.2)$$

де  $A$  – площа освітлюваної поверхні колектора,  $\text{м}^2$ ;  $\tau_{\text{пов}}$  – коефіцієнт пропускання сонячного випромінювання прозорим покриттям;  $\alpha_{\text{п}}$  – коефіцієнт поглинання сонячного випромінювання приймальною поверхнею колектора;  $I$  – сумарна інтенсивність потоку сонячного випромінювання на горизонтальну поверхню,  $\text{Вт}/\text{м}^2$ ;  $T_{\text{п}}$  – температура приймальної поверхні СК, К;  $T_{\text{н.с}}$  – температура навколишнього повітря, К;  $R_{\text{п}}$  – термічний опір приймальної поверхні СК.

Кількість тепла, поглинена абсорбером СК, Вт

$$Q_{\text{пов}} = \tau_{\text{пов}} \alpha_{\text{п}} A I \quad . \quad (2.3)$$

Зворотній тепловий потік в навколишнє середовище за рахунок підвищення температури поверхні СК у процесі поглинання енергії дорівнює, Вт

$$Q_{\text{втр}} = A (T_{\text{п}} - T_{\text{н.с}}) / R_{\text{п}}, \quad (2.4)$$

де  $T_{\text{н.с}}$  – температура навколишнього повітря, К.

$T_{\text{п}}$  – температура поглиначи приймається 314 К

Остаточно залежність ККД від факторів впливу визначається як

$$\eta = 1 - \frac{Q_{\text{втр}}}{Q_{\text{пов}}} \quad (2.5)$$

Для визначення інтенсивності потоку штучного випромінювання необхідно за допомогою люксметра виміряти потік світла, який падає на поверхню геліоколектора під кутами в 4 точках та в центрі колектора (5

режимів) , визначити середнє його значення, обчислити інтенсивність потоку випромінювання за формулою  $I = aE_{cp}$  ( $a = 0,37$  — емпіричний коефіцієнт перерахунку лк в Вт/м<sup>2</sup>) та заповнити таблицю 2.1.

Таблиця 2.1 — Інтенсивність потоку випромінювання для п'яти режимів

$E_{1,лк}$	$E_{2,лк}$	$E_{3,лк}$	$E_{4,лк}$	$E_{ц,лк}$	$E_{cp,лк}$	$I, Вт/м^2$
463	460	495	485	894	559	207
924	918	988	968	1785	1117	413
1487	1440	1600	1549	2856	1786	661
1989	1926	2140	2072	3820	2389	884
2322	2249	2499	2420	4463	2791	1033

Обчислюємо середнє значення освітленості  $E_{cp}$ , лк :

$$E_{cp1} = \frac{463+460+495+485+894}{5} = 559;$$

$$E_{cp2} = \frac{924+918+988+968+1785}{5} = 1117;$$

$$E_{cp3} = \frac{1487+1440+1600+1549+2856}{5} = 1786;$$

$$E_{cp4} = \frac{1989+1926+2140+2072+3820}{5} = 2389;$$

$$E_{cp5} = \frac{2322+2249+2499+2420+4463}{5} = 2791.$$



Обчислюємо інтенсивність потоку випромінювання для п'яти режимів, Вт/м<sup>2</sup>:

$$I_1 = 0,37 \cdot 559 = 207;$$

$$I_2 = 0,37 \cdot 1117 = 413;$$

$$I_3 = 0,37 \cdot 1786 = 661;$$

$$I_4 = 0,37 \cdot 2389 = 884;$$

$$I_5 = 0,37 \cdot 2791 = 1033.$$

Будуємо залежність величини інтенсивності потоку випромінювання  $I$ , Вт/м<sup>2</sup>, від середнього значення освітленості  $E_{\text{ср}}$ , лк для п'яти режимів (див. рис. 2.3).

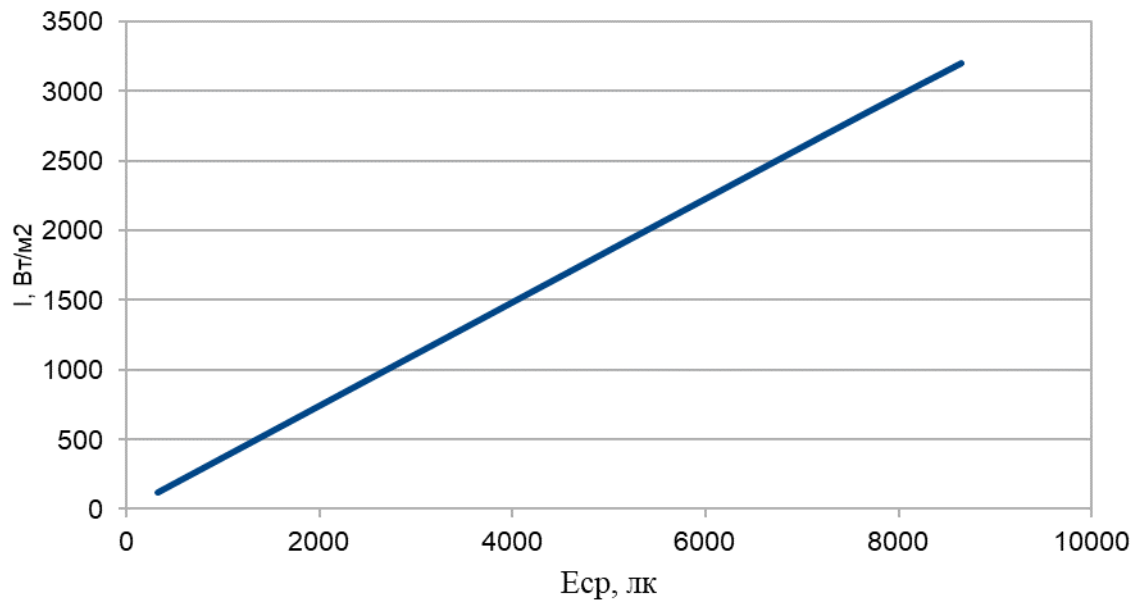







Рисунок 2.3 - Залежність величини інтенсивності потоку сонячного випромінювання, Вт/м<sup>2</sup>, від середнього значення потоку світла  $E_{\text{ср}}$ , лк

Реальні виміри інтенсивності сонячного випромінювання приведені в таблиці 2.2.

Таблиця 2.3 — Інтенсивність сонячного випромінювання (реальні вимірювання)

№	Фотографія неба	Інтенсивність сонячного випромінювання, Вт/м <sup>2</sup>	Дата	Час	T <sub>н.с</sub>
1		207	15.05.2017	13:00	16
2		413	08.07.2017	11:29	25
3		661	11.05.2017	12:50	20
4		884	15.11.2017	12:23	16
5		1033	03.04.2017	13:20	18

ККД сонячного колектора залежить від різниці температур приймальної поверхні колектора та навколишнього середовища. Отже, для п'яти варіантів інтенсивності штучного випромінювання було виконано варіативні розрахунки основних параметрів роботи сонячного колектора. Результати, які було отримано для інтенсивності потоку штучного випромінювання  $I = 207 \text{ Вт/м}^2$ , наведено в таблиці 2.3.

Таблиця 2.3 – Основні параметри роботи сонячного колектора при інтенсивності потоку штучного випромінювання  $I = 207 \text{ Вт/м}^2$

$I, \text{Вт/м}^2$	$T_{o.c}, \text{К}$	$T_{п}, \text{К}$	$Q_{ск}, \text{Вт}$	$Q_{пов}, \text{Вт}$	$Q_{втр}, \text{Вт}$	$\eta$
207	289	311	19,0347	337,527	318,492	0,1
	291	311	47,9884		289,5385	0,14
	293	311	76,943		260,5836	0,23

Для зручності сприйняття отриманих результатів, вони були представлені у графічному вигляді (рис. 2.4). На рисунку представлено залежність ККД сонячного колектора від різниці температур приймальної поверхні колектора та навколишнього середовища

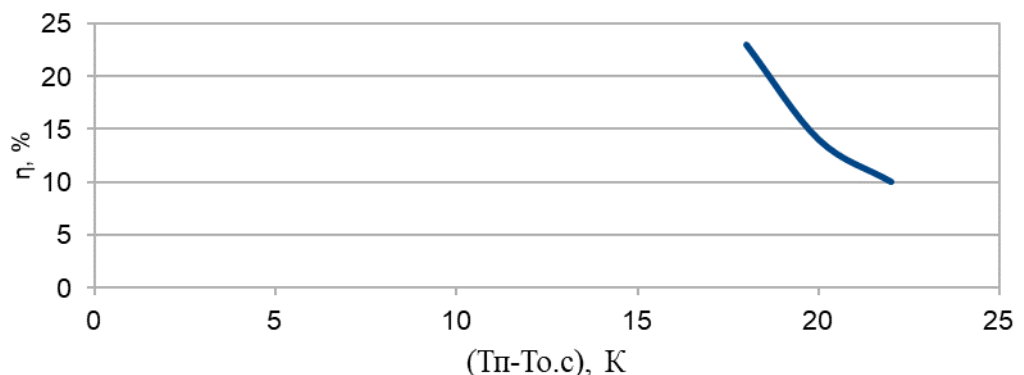


Рисунок 2.4 — Залежність ККД сонячного колектора від різниці температур приймальної поверхні колектора та навколишнього середовища

Результати, які було отримано для інтенсивності потоку штучного випромінювання  $I = 413 \text{ Вт/м}^2$ , наведено в таблиці 2.4.

Таблиця 2.4 – Основні параметри роботи сонячного колектора при інтенсивності потоку штучного випромінювання  $I = 413 \text{ Вт/м}^2$

$I, \text{ Вт/м}^2$	$T_{o.c}, \text{ К}$	$T_{п}, \text{ К}$	$Q_{ск}, \text{ Вт}$	$Q_{пов}, \text{ Вт}$	$Q_{втр}, \text{ Вт}$	$\eta$
413	289	313	324,4278	673,423	347,4461	0,48
	291	313	354,9309		318,4924	0,53
	293	313	369,4078		289,5385	0,57

На рисунку 2.5 представлено залежність ККД сонячного колектора від різниці температур приймальної поверхні колектора та навколишнього середовища

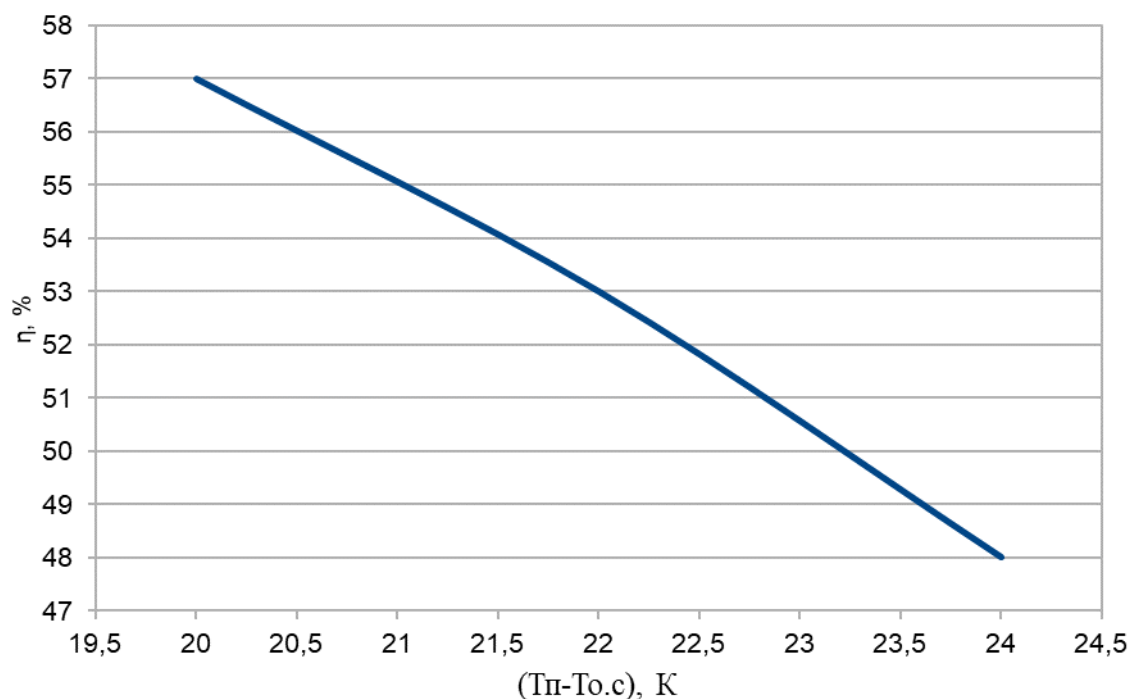


Рисунок 2.5 — Залежність ККД сонячного колектора від різниці температур приймальної поверхні колектора та навколишнього середовища

Результати, які було отримано для інтенсивності потоку штучного випромінювання  $I = 661 \text{ Вт/м}^2$ , наведено в таблиці 2.5.

Таблиця 2.5 – Основні параметри роботи сонячного колектора при інтенсивності потоку штучного випромінювання  $I = 661 \text{ Вт/м}^2$

$I, \text{ Вт/м}^2$	$T_{o.c}, \text{ К}$	$T_{п}, \text{ К}$	$Q_{ск}, \text{ Вт}$	$Q_{пов}, \text{ Вт}$	$Q_{втр}, \text{ Вт}$	$\eta$
661	289	315	701,403	1077,803	376,4	0,65
	291	315	730,3572		347,4462	0,68
	293	315	759,311		318,4924	0,7

На рисунку 2.6 представлено залежність ККД сонячного колектора від різниці температур приймальної поверхні колектора та навколишнього середовища

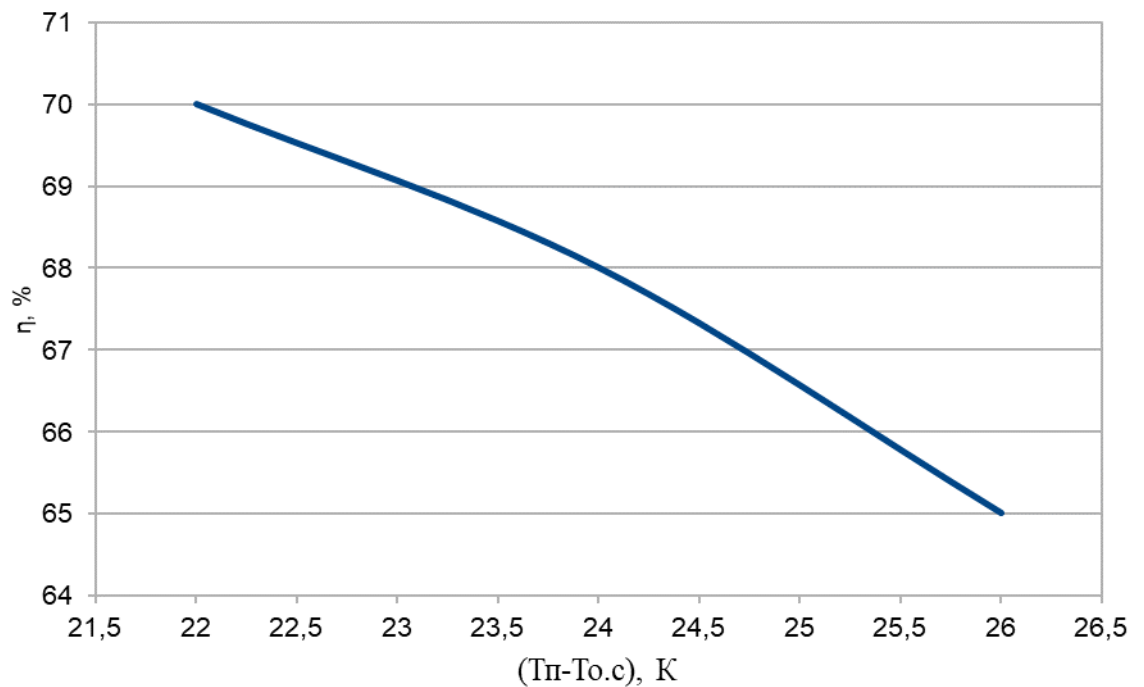


Рисунок 2.6 — Залежність ККД сонячного колектора від різниці температур приймальної поверхні колектора та навколишнього середовища

Результати, які було отримано для інтенсивності потоку штучного випромінювання  $I = 884 \text{ Вт/м}^2$ , наведено в таблиці 2.6.

Таблиця 2.6 – Основні параметри роботи сонячного колектора при інтенсивності потоку штучного випромінювання  $I = 884 \text{ Вт/м}^2$

$I, \text{Вт/м}^2$	$T_{o.c}, \text{К}$	$T_{п}, \text{К}$	$Q_{ск}, \text{Вт}$	$Q_{пов}, \text{Вт}$	$Q_{втр}, \text{Вт}$	$\eta$
884	289	317	1036,0655	1441,419	405,3538	0,72
	291	317	1065,0193		376,4	0,74
	293	317	1093,9781		347,4461	0,76

На рисунку 2.7 представлено залежність ККД сонячного колектора від різниці температур приймальної поверхні колектора та навколишнього середовища.

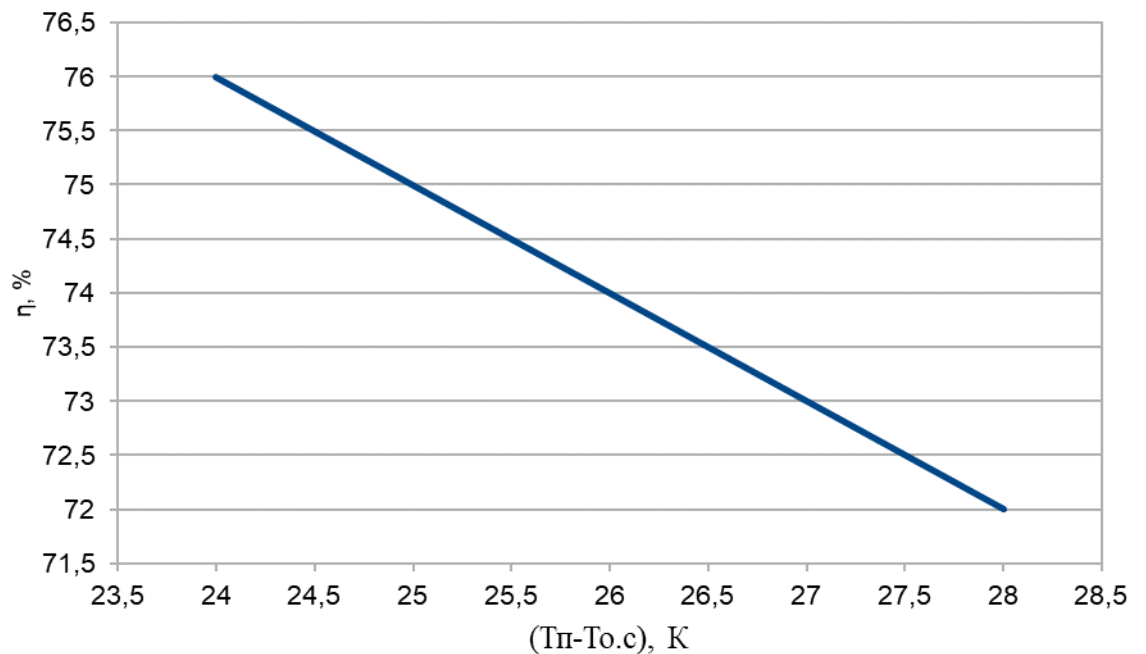


Рисунок 2.7 — Залежність ККД сонячного колектора від різниці температур приймальної поверхні колектора та навколишнього середовища

Результати, які було отримано для інтенсивності потоку штучного випромінювання  $I = 1033 \text{ Вт/м}^2$ , наведено в таблиці 2.7.

Таблиця 2.7 – Основні параметри роботи сонячного колектора при інтенсивності потоку штучного випромінювання  $I = 1033 \text{ Вт/м}^2$

$I, \text{ Вт/м}^2$	$T_{o.c}, \text{ К}$	$T_{п}, \text{ К}$	$Q_{ск}, \text{ Вт}$	$Q_{пов}, \text{ Вт}$	$Q_{втр}, \text{ Вт}$	$\eta$
1033	289	319	1249,8588	1684,373	434,3076	0,74
	291	319	1278,8126		405,3538	0,76
	293	319	1307,7664		376,4	0,78

На рисунку 2.8 представлено залежність ККД сонячного колектора від різниці температур приймальної поверхні колектора та навколишнього середовища

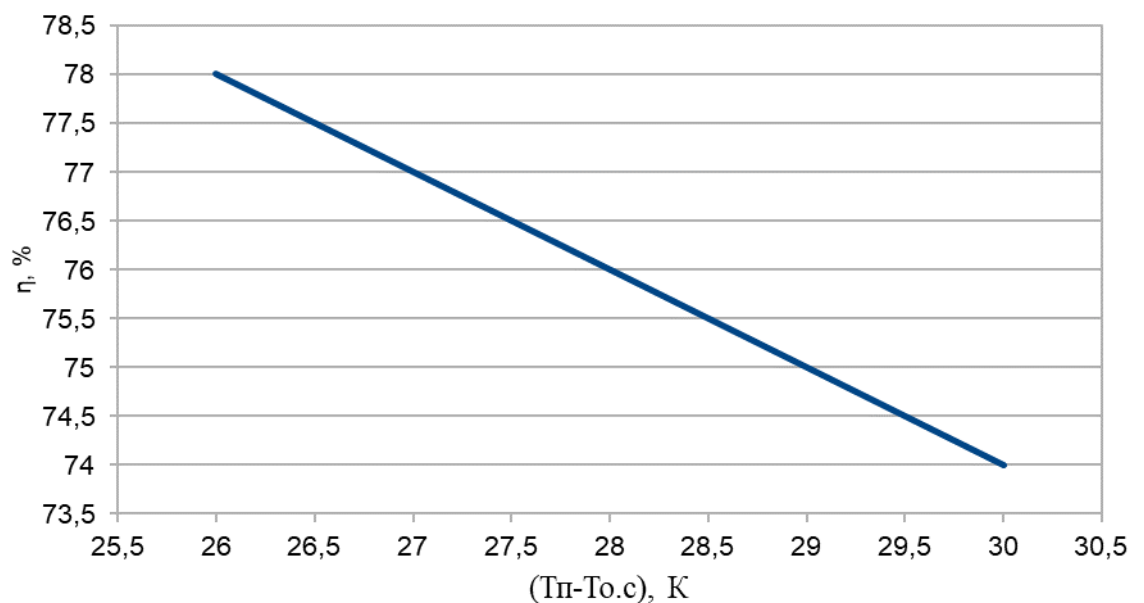


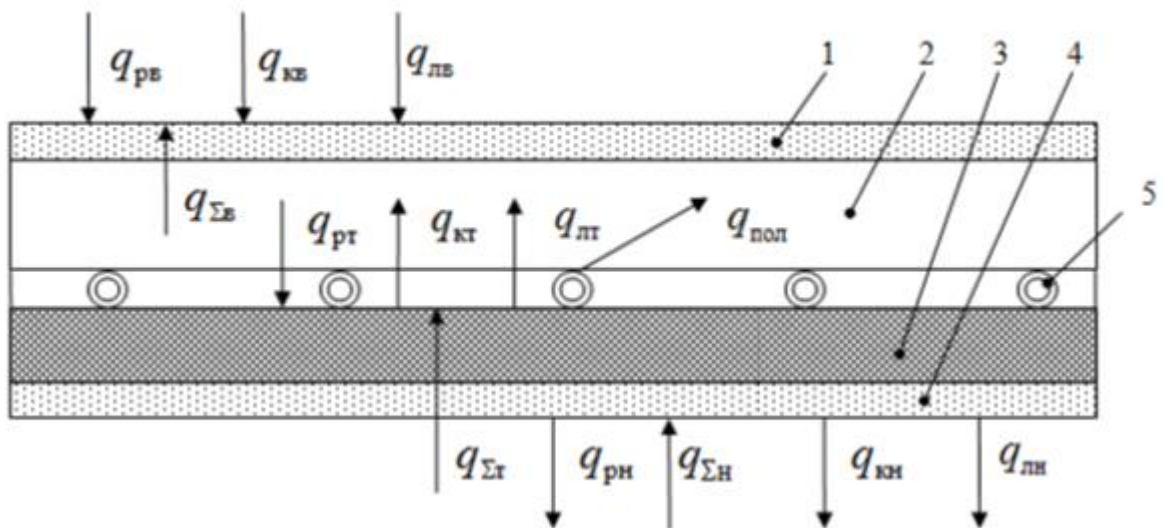
Рисунок 2.8 — Залежність ККД сонячного колектора від різниці температур приймальної поверхні колектора та навколишнього середовища

### 2.3 Математичний опис процесу теплопереносу в геліоколекторі

Головним елементом сонячної установки являється плоский геліоколектор, який складається з пластини-поглинача (абсорбера), в якому сонячна радіація перетворюється в тепло і передається рідині теплоносію, теплоізовьованого по краям, і під абсорбером корпусу.

Основна деталь геліоколектора — поглинач сонячної енергії (абсорбер), в який інтегровані мідні трубки (чи мідна трубчата спіраль), через які протікає теплоносій, сприймаючий від нього тепло через мідну трубку.

На рисунку 2.9 представлена схема теплових потоків через поверхню геліоколектора.



1 — верхня кришка з світло-прозорого матеріалу; 2 — повітряний проміжок; 3 — абсорбер; 4 — нижня кришка (теплоізолятор); 5 — мідна трубчата спіраль;  $q_{рв}$ ,  $q_{кв}$  ... - теплові потоки, які проходять через поверхні колектора.

Рисунок 2.9 - Схема теплових потоків, які проходять через поверхні елементів геліоколектора



Тепловий режим в елементах геліоколектора визначається його формою та розмірами профіля, теплофізичними властивостями складових частин та кліматичними умовами.

Геліоколектор представляє складове тверде тіло з попериковими розмірами на порядок перевищуючи його товщину, що дозволяє розглядати процес теплопереносу в ньому як в безкінечній багатошаровій плоскопаралельній пластині. Тепловий процес в такому тілі описується системою рівнянь

$$c_{m,i}\rho_i \frac{dt_i}{d\tau} = \lambda_i \nabla^2 t_i + q_i, \quad (2.6)$$

де  $i$  - номер елемента колектора,  $i=1,2,3,4$ ;  $c_m$  - питома масова теплоємність, Дж/(кг·К);  $\lambda$  - коефіцієнт теплопровідності, Вт/(мК);  $\rho$  - щільність, кг/м<sup>3</sup>;  $q$  - питома потужність внутрішнього джерела тепла, Вт/м<sup>3</sup>;  $t$  - температура, °С;  $\tau$  - час, с.

Рішення системи рівнянь (2.6) в сукупності з рівняннями (початкових і граничних) умов дає уявлення про просторово - часове розповсюдження температури в колекторі.

Початкові умови

$$\text{при } \tau = 0 t_i = (t_i)_0 . \quad (2.7)$$

Теплообмін на кордонах елементів колектора відбувається згідно граничних умов

$$\lambda_i \left( \frac{dt_i}{dn_i} \right)_n = \lambda_j \left( \frac{dt_j}{dn_j} \right)_n ; t_{i,n} = t_{j,n} , \quad (2.8)$$

де  $i$  та  $j$ - номери граничних елементів колектора;  $n$  - нормаль до поверхні,  $n$  - поверхня.

Теплообмін на кордонах елементів геліоколектора і навколишнього середовища складний. Теплообмін і теплопередача відбуваються одночасно в декілька способів: кондукцією, конвекцією і випромінюванням. Роль способів теплопередачі у загальному теплообміні геліоколектора різноманітна і залежить як від теплофізичних характеристик матеріалу його елементів, так і від стану повітряного середовища, яке омиває зовнішні та внутрішні поверхні.

Для формулювання умов на кордоні “зовнішня поверхня - прилеглий шар повітря” введемо наступні спрощення:

- кордон “поверхня геліоколектора - прилягаючий шар повітря” представляє собою поверхню, яка співпадає з поверхнею геліоколектора;

- теплофізичні характеристики зовнішніх елементів геліоколектора та прилягаючого шару повітря, а також метеорологічні параметри вздовж поверхні геліоколектора не змінюються .

З врахуванням вищесказаного, і приймаючи до уваги схему теплових потоків через поверхню “колектор - прилягаючий шар повітря”, рівняння теплового балансу на цій поверхні буде мати вигляд

$$q_{\Sigma B} = q_{pv} - q_{kv} - q_{lv}, \quad (2.9)$$

де  $q_{\Sigma B}$  — щільність теплового потоку через зовнішню поверхню геліоколектора, Вт/м<sup>2</sup>;  $q_{pv}, q_{kv}, q_{lv}$  - щільності теплових потоків, зумовлені інтенсивністю сонячної радіації, конвекції та тепловим випромінюванням з поверхні геліоколектора, відповідно Вт/м<sup>2</sup>.

- тепловий потік, зумовлений сонячною радіацією;

Сонячна радіація, яка поступає на поверхню у вигляді пучка паралельних променів, які виходять безпосередньо від Сонця, називається прямою сонячною радіацією. На актинометричних станціях вимірюється

пряма сонячна радіація, яка поступає на перпендикулярну до сонячних променів поверхню.

Проходячи через атмосферу, сонячна радіація частково розсіюється молекулами газів повітря, твердими та рідкими частинками.

Частина радіації  $q_d$ , яка поступає на земну поверхню після розсіювання, називається (дифузною) радіацією.

Загальний прихід сонячної радіації на перпендикулярну до сонячних променів поверхню

$$q_p = q_p^{np} + q_d \quad (2.10)$$

Геометричне співвідношення, яке описує положення площини, певним чином орієнтованої відносно Землі в який-небудь момент часу, і прямого сонячного випромінювання, тобто положення Сонця відносно цієї площини, можуть бути записані за допомогою ряду кутів.

Очевидно, що

$$\omega = 180 - (180/12)\tau \quad (2.11)$$

Схилення можна визначити за формулою

$$\delta = 23,45 \cdot \sin \left[ 360 \cdot \frac{284+n}{365} \right], \quad (2.12)$$

де  $n$  - порядковий номер дня року.

Таким чином, інтенсивність сонячної радіації на верхній поверхні теплообміну колектора визначається за формулою

$$q_p = (q_{np} \cdot \cos(\theta(\tau)) + q_d), \text{ якщо } \cos\theta(\tau) \leq 0, q_p = q_d. \quad (2.13)$$

Як відомо, частина радіації, яка падає на яку-небудь поверхню, відбивається від неї. Величина, яка характеризує відбиваючу здатність поверхні, оцінюється за допомогою теплофізичної характеристики, яка називається альбедо і визначається співвідношенням

$$r_{\text{зп}} = \frac{q_p^{\text{отр}}}{q_p}$$

Велику роль в теплообміні на верхній поверхні колектора має конвекція.

Закон конвективного теплообміну достатньо складний, але для практичних розрахунків може бути прийнятий у вигляді закону Ньютона [4,5].

$$q_{\text{кв}} = \alpha_{\text{кв}}(t_{\text{зп}} - t_{\text{п}}), \quad (2.14)$$

де  $\alpha_{\text{кв}}$  — коефіцієнт конвективної тепловіддачі, Вт/м<sup>2</sup>К;  $t_{\text{г}}$  - температура приземного шару повітря;  $t_{\text{зк}}$  - температура зовнішньої поверхні колектора.

Чисельне значення конвективного коефіцієнта теплообміну може бути розраховане як за експериментальними даними, так і за спрощеними формулами. Виходячи з сказаного, деякий практичний інтерес представляють спрощені формули визначення  $\alpha_{\text{кв}}$ .

Розглянемо, наприклад, формули [4]:

- Юргенса

$$\alpha_{\text{кв}} = 6,17 + 4,19v_{\text{п}};$$

- Рімана

$$\alpha_{\text{кв}} = 6,17 + 3,61v_{\text{п}},$$

де  $v_{\text{в}}$  - приземна швидкість повітря, м.

Ці вирази слід замінити одним рівнянням, усереднив коефіцієнти при швидкості вітру

$$\alpha_{\text{кв}} = 6,17 + 3,9v_{\text{п}} \quad (2.15)$$

Таким чином, розрахунок величини  $\alpha_{\text{кв}}$  простий і потребує у якості вихідних даних тільки дані про швидкість руху повітря.

Величину теплового потоку, викликаного променевим теплообміном між верхньою поверхнею колектора і прилеглим шаром повітря можна розраховувати за формулою

$$q_{\text{лв}} = \sigma_0 \cdot \varepsilon_{\text{зп}} \cdot \left( \left( \frac{T_{\text{зп}}}{100} \right)^4 - \left( \frac{T_{\text{п}}}{100} \right)^4 \right), \quad (2.16)$$

де  $\sigma_0$  — універсальна стала Стефана — Больцмана:  $\sigma_0 = 5,7$ , Вт/(м<sup>2</sup>К<sup>4</sup>);  $\varepsilon_{\text{зп}}$  - степінь чорноти зовнішньої поверхні елемента колектора, виготовленого з світлопрозорого матеріалу;  $T_{\text{зп}}$  - температура зовнішньої поверхні колектора, К;  $T_{\text{п}}$  - температура прилеглого шару повітря, К.

Для поверхні елемента, виготовленого, наприклад, з сотового полікарбоната  $\varepsilon_{\text{зп}} = 0,15$  [6].

Різниця четвертих степеней в практичних розрахунках незручна. Та і самі інженерні розрахунки прийнято виконувати, використовуючи не абсолютну шкалу температур, а шкалу Цельсія. Тому введемо коефіцієнт, лінеаризуючий формулу (2.15), так названий температурний множник  $k_t$  [7]

$$k_t = \frac{\left( \left( \frac{T_{\text{зп}}}{100} \right)^4 - \left( \frac{T_{\text{п}}}{100} \right)^4 \right)}{T_{\text{зп}} - T_{\text{п}}} \quad (2.17)$$

Значення температурного множника в практичному значенні для розрахунку діапазону температур наведені в таблиці 2.8.

Таблиця 2.8 - Значення температурних коефіцієнтів

Температурний діапазон, °С	Температурний коефіцієнт
0-20	0,9
20-40	1,1
40-60	1,35
60-80	1,65

В указаних в таблиці 2.8 діапазонах температур максимальна похибка для визначення  $k_t$  не перевищує 3 %.

За даними таблиці 2.8 отримали формулу для розрахунків  $k_t$

$$k_t = 0,819 + 0,0075 \cdot t + 0,0000625 \cdot t^2. \quad (2.18)$$

Шляхом використання коефіцієнта  $k_t$  рівняння для розрахунку променевої складової теплового потоку з поверхні геліоколектора можна записати в такому ж вигляді, як і для конвективної складової

$$q_{\text{лв}} = \alpha_{\text{лв}} (t_{\text{зп}} - t_{\text{п}}), \quad (2.19)$$

де величина  $q_{\text{лв}} = \sigma_0 \varepsilon_{\text{зп}} \cdot k_t$  може бути названа коефіцієнтом тепловіддачі випромінюванням.

Зазвичай, для зручності розрахунків, вводять величину  $\alpha_{\text{в}} = \alpha_{\text{кв}} + \alpha_{\text{лв}}$ , яку можна назвати коефіцієнтом тепловіддачі.

Після підстановки виразів (2.3, 2.15) та (2.19) для теплових потоків в рівняння теплового балансу (2.9) з врахуванням альбедо отримали граничні умови на поверхні колектора у вигляді:

$$\lambda_1 \left( \frac{dt_1}{dy} \right)_n = (q_{\text{пр}} \cdot \cos(\theta(\tau)) + q_{\text{д}}) \cdot r_{\text{зп}} - \alpha_{\text{кв}}(t_{\text{зп}} - t_{\text{п}}) - \alpha_{\text{лв}}(t_{\text{зп}} - t_{\text{п}}). \quad (2.20)$$

Граничні умови на поверхні перетворювача сонячної енергії елемента колектора визначаємо з балансу теплових потоків на його поверхні

$$q_{\text{ст}} = q_{\text{рт}} - q_{\text{лт}} - q_{\text{кт}} - q_{\text{пол}}, \quad (2.21)$$

де  $q_{\text{ст}}$  — сумарна щільність теплового потоку, який проходить через поверхню утеплювача, Вт/м<sup>2</sup>;  $q_{\text{рт}}$  — щільність теплового потоку, зумовленого сонячною радіацією, який проходить через світлопрозорий елемент колектора, Вт/м<sup>2</sup>;  $q_{\text{лт}}$  — щільність теплового потоку, викликаного променевим теплообміном, утеплювача з нижньою поверхнею світлопрозорого елемента колектора, Вт/м<sup>2</sup>;  $q_{\text{кт}}$  — щільність конвективного теплового потоку, в повітряному прошарку колектора, Вт/м<sup>2</sup>;  $q_{\text{пол}}$  — щільність корисного теплового потоку, який поглинається теплоносієм з 1 м<sup>2</sup> колектора, Вт/м<sup>2</sup>.

Більша частина випромінювання, яке падає на матову чорну поверхню колектора, поглинається, підвищуючи його температуру. Поглинальна здатність чорних поверхонь  $k_{\text{погл}}$  різних матеріалів лежить в межах від 0,8 до 0,98. Частина випромінювання яка залишилася відбивається і враховується альбедо поверхні [3, 4, 5].

Таким чином, тепловий потік, зумовлений сонячною радіацією, який досягає поверхні утеплювача, можна записати у вигляді

$$q_{\text{рт}} = (q_{\text{пр}} \cdot \cos(\theta(\tau)) + q_{\text{д}}) \cdot (1 - r_{\text{зп}}) \cdot (1 - r_{\text{тп}}), \quad (2.22)$$

де  $r_{TP}$  — альbedo поверхні утеплювача.

Тепловий потік, який проходить через повітряний шар між двома паралельними поверхнями, складається з потоків, які передаються теплопровідністю, конвекцією та випромінюванням.

У таблиці 2.9 приводяться дані про термічні опори ( $R_T$ ,  $m^2 \cdot ^\circ C$ ) повітряних шарів, взяті з СП 23-101-2004 [8].

Таблиця 2.9 - Термічний опір замкнутого повітряного шару

Товщина шару, м	Термічний опір шару, $m^2 \cdot ^\circ C / W$	
	при позитивній температурі	при від'ємній температурі
0,01	0,13	0,15
0,02	0,14	0,15
0,03	0,14	0,16
0,05	0,14	0,17
0,10	0,15	0,18
0,15	0,15	0,18
0,2-0,3	0,15	0,19

Введемо коефіцієнт

$$\alpha_{пр} = 1/R_T, \quad (2.23)$$

який назвемо приведеним коефіцієнтом теплопередачі між поверхнею утеплювача та нижньою поверхнею верхньої кришки колектора. Цей



коефіцієнт комплексно враховує всі розглянуті доли переносу тепла та має розмірність  $\text{Вт}/\text{м}^2\text{°С}$ .

Після підстановки виразів (2.22) та (2.23) для теплових потоків в рівняння теплового балансу (2.21) отримали граничні умови на верхній поверхні поглинаючого сонячну енергію шару колектора у вигляді

$$\lambda_3 \left( \frac{dt_3}{dy} \right)_\Pi = (q_{\text{пр}} \cdot \cos(\theta(\tau)) + q_{\text{д}}) \cdot (1 - r_{3\Pi}) \cdot (1 - r_{\text{ТП}}) - \alpha_{\text{ТП}}(t_{\text{ТП}} - t_{1-2\Pi}) - q_{\text{пол}},$$

де  $t_{1-2\Pi}$  температура нижньої поверхні кришки колектора,  $^{\circ}\text{С}$ .

Граничні умови на нижній поверхні колектора з повітряним середовищем запишем аналогічно граничним умовам теплообміну з навколишнім повітрям на верхній поверхні колектора без врахування впливу прямої сонячної радіації

$$\lambda_4 \left( \frac{dt_4}{dy} \right)_\Pi = q_{\text{д}} \cdot (1 - r_{\text{НП}}) - \alpha_{\text{КН}}(t_{\text{ПН}} - t_{\text{В}}) - \alpha_{\text{ЛН}}(t_{\text{ПВ}} - t_{\text{В}}), \quad (2.24)$$

де  $\lambda_4$ — коефіцієнт теплопровідності матеріалу нижньої кришки колектора,  $\text{Вт}/\text{м К}$ ;  $r_{\text{НП}}$  - альbedo нижньої поверхні матеріалу колектора;  $t_{\text{КН}}$  - температура нижньої поверхні колектора,  $^{\circ}\text{С}$ ;  $\alpha_{\text{КН}}$ - конвективний коефіцієнт тепловіддачі з нижньої поверхні колектора,  $\text{Вт}/\text{м}^2\text{К}$ ;  $\alpha_{\text{ЛН}} = \sigma_0 \varepsilon_{\text{ЛН}} \cdot k_t$  - променевий коефіцієнт тепловіддачі з нижньої поверхні колектора,  $\text{Вт}/\text{м}^2\text{К}$ .

Чисельне значення коефіцієнта  $\alpha_{\text{КН}}$  визначається за формулою (2.15).

Введем диференціальне рівняння переносу тепла в транспортуючому засобі теплоносія колектора — мідної трубчатій спіралі, яка розташовується на теплосприймаючій поверхні і щільно до неї прикладена.

Для виводу рівняння використовуємо наступні посилення:

- потоки тепла в елементах стілажу, крім мідної спіралі, з теплоносієм який знаходиться всередині неї, в основному, в нормальному до поверхні колектора напрямку;

- колектор представляє з себе об'єкт з розподіленими по просторовим координатам параметрам, в силу першого посилення, представимо у вигляді поднакових тривимірних прямокутників, теплообмін між якими, в силу першого посилення, відбувається за рахунок протікання теплоносія в мідній спіралі;

- будемо вважати, що температура теплоносія в мідній спіралі в межах ділянки змінюється тільки в часі.

Представимо колектор у вигляді  $n$  ділянок, які мають однакові розміри. Зміна середньої температури  $i$ -ої ділянки мідної спіралі з об'ємом теплоносія відповідно зміні теплового потоку на поверхні ділянки яка сприймає сонячну енергію елемента колектора (утеплювача) .

Процес теплопереносу теплоносія в  $i$ -ій ділянці мідної спіралі, з врахуванням спрощуючих посилень, запишемо у вигляді

$$C(i) = f_k/n \cdot (c_M \rho_M \pi \cdot (D^2 - d^2)/4 \cdot L + c_{\text{ВОД}} \pi \cdot d^2 \cdot L),$$

де  $C(i)$ — приведена теплоємність ділянки мідної спіралі та теплоносія який знаходиться в ньому, Дж/°C;  $f_k$ - площа поверхні колектора, м<sup>2</sup>;  $c_M$  - питома теплоємність міді, Дж/кг°С;  $c_{\text{ВОД}}$  — питома теплоємність теплоносія, Дж/кг °С;  $\rho_M$ - щільність міді, кг/м<sup>3</sup>;  $\rho_{\text{ВОД}}$  — питома щільність теплоносія, кг/м<sup>3</sup>;  $D$  - зовнішній діаметр мідної труби, м;  $d$ - внутрішній діаметр мідної труби, м;  $L$  - довжина мідної спіралі, м;  $g_k$  - витрата теплоносія через колектор, л/год;  $i$ - номер  $i$ - ої ділянки колектора  $i = 1, 2, \dots, n_k$ .

При  $i= 1$  (перша ділянка) температура теплоносія

$$t_K(1) = t_{\delta}(n_{\delta}), \quad (2.25)$$

де  $t_{\delta}$  — температура води на виході бака-акумулятора;  $n_{\delta}$  - кількість шарів розподілу води за температурою води в баку-акумуляторі.

При  $\tau = 0$

$$t_K(i) = t_K(i)0, \quad i=2,3,\dots,n_0. \quad (2.26)$$

При розробці моделі слід мати на увазі, що параметри теплоносія залежать від температури. Нижче представлені формули розрахунку цих залежностей для тих параметрів води, які були указані вище:

- щільність води,  $\text{кг/м}^3$

$$\rho_{\text{вод}}(t) = \frac{995,7}{(0,984 + 0,483 \cdot 10^{(-3)} \cdot t_{\text{вод}})}; \quad (2.27)$$

- питома теплоємність води,  $\text{Дж/кг} \cdot ^\circ\text{C}$

$$c_{\text{вод}}(t) = 4194 - 1,15 \cdot t_{\text{вод}} + 1,5 \cdot 10^{(-2)} t_{\text{вод}}^2; \quad (2.28)$$

- коефіцієнт кінематичної вязкості,  $\text{м}^2/\text{с}$

$$\nu_{\text{вод}}(t) = \frac{1,78 \cdot 10^{(-6)}}{1 + 0,0337 t_{\text{вод}} + 0,000221 t_{\text{вод}}^2}; \quad (2.29)$$

- коефіцієнт динамічної вязкості,  $\text{Па} \cdot \text{с}$

$$\mu_{\text{вод}}(t) = \frac{0,000183}{1 + 0,0337 t_{\text{вод}} + 0,000221 t_{\text{вод}}^2}. \quad (2.30)$$

### 3 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ТЕХНІКА БЕЗПЕКИ ПРИ БУДІВНИЦТВІ БАГАТОКВАРТИРНИХ БУДИНКІВ

При будівництві багатоквартирних будинків потрібно дотримуватися нормативно-правових актів з охорони праці. А перед тим як ввести багатоповерховий будинок в експлуатацію потрібно приділити велику увагу техніці безпеки.

Згідно з [43] охорона праці – це система правових, соціально – економічних, організаційно-технічних, санітарно-гігієнічних і лікувально-профілактичних заходів за засобів, спрямованих на збереження життя, здоров'я та працездатності людини в процесі трудової діяльності у значенні, визначеному ст. 1 Закону України «Про охорону праці» [44].

Охорона праці на будівництві передбачає створення на об'єктах будівництва безпечні умови праці, поліпшення санітарно-побутових норм та медичного обслуговування працівників, а також заходи для запобігання впливу на населення, яке перебуває на прилеглий до будівництва об'єкта території, небезпечних і шкідливих факторів. При невиконанні правил працівники підвергають своє життя небезпеці.

В Україні є державні будівельні норми «Охорона праці і промислова безпека у будівництві» [43], які поширюються на загальнобудівельні та спеціальні будівельні роботи під час нового будівництва, розширення реконструкції, технічного переоснащення, капітального ремонту, реставрації будівель та споруд.

#### 3.1 Основні положення

Згідно з [43] організація і виконання будівельно-монтажних робіт повинно відповідати вимогам:

- законодавства України про охорону праці;
- природоохоронного законодавства;

- нормативно-правових актів, що містять вимоги з охорони праці;
- державних стандартів системи стандартів безпеки праці (ССБП);
- державних будівельних норм;
- правил безпечного зведення та безпечної експлуатації будинків і споруд;
- галузевих правил і типових конструкцій з охорони праці, що затверджені у визначеному порядку;
- гігієнічних нормативів, санітарних правил і норм, затверджених Міністерством охорони і здоров'я України.

За 30 робочих днів до початку основних будівельно-монтажних робіт замовник зобов'язаний повідомити територіальний орган Держгірпромнагляду про дату початку робіт за формою згідно з ДБН А.3.1-5:2016 [45].

Роботодавець повинен забезпечити зайнятих на будівництві працівників санітарно-побутовими приміщеннями. Мешкати у тимчасових санітарно-будівельних приміщеннях на території будівельних майданчиків заборонено. Якщо роботи виконують мобільні будівельні підрозділи у польових умовах, то для тимчасового проживання працівників влаштовують вахтові місця, які слід перебачити під час розроблення проекту організації будівництва. Будівельні майданчики та робочі місця повинні бути забезпечені необхідними засобами колективного та індивідуального захисту, первинними засобами пожежогасіння, а також засобами зв'язку та сигналізації.

Згідно зі ст. 8 Закону «Про охорону праці» [44] на роботах за шкідливими і небезпечними умовами праці, а також роботах, пов'язаних із забороненням, несприятливими метеорологічними умовами, працівникам видаються за кошти роботодавця спеціальний одяг, спеціальне взуття та інші засоби індивідуального захисту відповідно до НПАОП 0.00-7.17-18 [45], НПАОП 45.2-3.01 [49].

Під час прийняття на роботу і в процесі трудової діяльності відповідно до ст. 18 Закону «Про охорону праці» [44] та НПАОП 0.00-4.12 [48] працівники повинні проходити за рахунок роботодавця навчання і перевірку знань із питань охорони праці, надання першої долікарської допомоги потерпілим ц разу нещасного випадку або аварії.

Відповідальність за дотримання вимог безпеки під час експлуатації машин, електро- та пневмоінструменту, а також технологічного оснащення покладається:

- за технічний стан машин, інструменту, технологічного оснащення включно із засобами захисту – на організацію, на балансі якої вони знаходяться, а у разі їх передачі у тимчасове користування – на організацію, визначену договором;

- за безпечне виконання робіт – на організації, які виконують роботи.

Дотримання безпечних умов праці під час виконання монтажних і спеціальних будівельних робіт, виконання протипожежних заходів, дотримання законодавства з охорони праці є обов'язками субпідрядника.

Під час здійснення підрядником робіт поза будівельним майданчиком або на відокремленій ділянці виконання усіх заходів з охорони праці і протипожежної безпеки покладається на підрядника.

Під час виконання будівельно-монтажних робіт забороняється користуватися мобільним телефоном. До самостійного виконання верхолазних робіт допускаються особи не молодше 18 років, які пройшли навчання та перевірку знань з охорони праці, медичний огляд, визнані придатними до виконання даного виду робіт, мають стаж верхолазних робіт не менше одного року і тарифний розряд не нижче 3-го. Робітники, що допускаються вперше до верхолазних робіт, протягом одного року повинні працювати під безпосереднім наглядом досвідчених робітників, призначених наказом керівника організації.

Допуск на будівельний майданчик сторонніх осіб або працівників, що не зайняті на роботах на даній території, а також осіб, що перебувають у стані алкогольного, токсичного або наркотичного сп'яніння, забороняється.

Усі особи, що перебувають на будівельному майданчику, зобов'язані носити захисні маски та сигнальні жакети. Працівники та інженерно-технічні робітники без захисних касок та інших необхідних засобів індивідуального захисту до виконання робіт не допускаються [43].

### 3.2 Організація управління охороною праці

Згідно із ст. 13 Закону України «Про охорону праці» [44] роботодавець повинен забезпечити функціонування системи управління охороною праці на підприємстві, для чого створює відповідні служби і призначає посадових осіб, які забезпечують вирішення питань охорони праці в цілому по підприємству, в структурних підрозділах, на виробничих територіях, а також під час експлуатації машин і механізмів, виконанні конкретних видів робіт на робочих місцях.

Існує дві основні форм контролю за станом охорони праці в будівництві:

- оперативний контроль: проводиться службою охорони праці підприємства;
- адміністративно-громадський багатоступеневий контроль.

Також існує відомчий контроль вищих господарських органів, державний нагляд та громадський контроль за охороною праці.

### 3.3 Експлуатація засобів виконання будівельно-монтажних робіт

Під час експлуатації будівельних машин, засобів механізації, пристроїв, оснащених ручних машин, інструменту повинні бути передбачені заходи та засоби із запобігання впливу на працюючих небезпечних та

шкідливих факторів. Будівельні машини повинні відповідати вимогам нормативних документів і на них повинна бути експлуатаційна документація, а крани та інші машини, що придбані за кордоном – повинні мати сертифікат відповідності вимогам безпеки праці [49].

До управління і обслуговування будівельних машин допускаються особи, що отримали відповідну професійно-технічну підготовку, пройшли навчання і перевірку знань із безпеки праці.

Роботодавець, який експлуатує важко підймальні крани та технологічну свастіку до них, повинен забезпечувати відомчий нагляд, утримання їх у справному стані та безпечну експлуатацію згідно з вимогами нормативних документів або укласти договір зі спеціалізованою організацією на виконання цих робіт. Для забезпечення безпечного виконання робіт важко підйомними кранами необхідно розробити проекти виконання робіт кранами, технологічні карти щодо складування вантажів, навантаження і розвантаження рухомого складу, з якими повинні бути ознайомлені працівники, відповідальні за безпечне виконання робіт кранами, машиністи кранів, стропальники.

Будівельні машини на об'єктах повинні бути на спеціальних огорожених зонах. Розміри таких зон залежать від виду та умов виконання робіт, тому розрахунок та конструкції огороження розроблюються в проекті виробництв робіт. При монтажі, демонтажі та ремонті будівельних машин майданчик робіт повинна бути огорожена на відстані не більше м від крайньої точки допоміжного механізму [43].

### 3.4 Особливості роботи будівельників, небезпечні і шкідливі виробничі чинники на будівельних майданчиках

Робота при будівництві на висоті є найбільш важкою і небезпечною, адже 80 % роботи відбувається на великій висоті, де важко ефективно



захистити себе від падіння з цієї висоти. Будівельники мають свої специфічні особливості з вирішення проблем безпеки, такі як:

- робота просто неба;
- постійне переміщення робочих місць і знарядь праці;
- значні фізичні витрати;
- поєднання професій, необхідність використання робочих різних будівельних управлінь.

Працівники часто працюють в обмежених умовах на тимчасових дробинах на відносно великій висоті, а також переміщатися в межах конструкції, яка монтується.

Всі небезпечні і шкідливі виробничі чинники об'єднують в єдину систему. Небезпечні чинники призводять до травм, а шкідливі – до професійних захворювань і отруєнь.

Небезпечні і шкідливі фактори поділяють на 4 групи:

- фізичні (висока та низька температура, шум, вібрація);
- хімічні (гази, пил тощо);
- біологічні (інфекційні захворювання);
- психофізіологічні (монотонність праці, емоціональне перевантаження).

Тому працівнику потрібно користуватися засобами індивідуального захисту, щоб захистити органи дихання, слуху, зору, захиститись від падіння з висоти, а також від ураження електричним током.

Під час пневматичних і гідравлічних випробувань обладнання і трубопроводів повинні бути вжиті заходи із запобігання впливу на працівників таких небезпечних і шкідливих виробничих факторів:

- підвищений рівень вібрації на робочих місцях;
- підвищений рівень шуму на робочих місцях;
- підвищена напруга в електричному колі, замикання якого може статися через тіло людини.

За наявності таких небезпечних і шкідливих факторів безпека випробувань обладнання і трубопроводів повинна бути забезпечена відповідно до вимог Норм [43], заходів з безпеки праці, зазначених у проектно-технологічній документації, а також відповідно до опрацювання та дотримання:

- плану випробувань;
- вимог безпеки під час виконання робіт у траншеях, колодязях і на висоті;
- заходів безпеки під час пневматичних випробувань обладнання і трубопроводів, випробування обладнання під час навантаження.

### 3.5 Забезпечення безпеки при підйомі на висоту і при роботі на висоті

Згідно з [43] робочі місця, які розташовані на висоті більше 5 м повинні мати дугові або канатні огороження. Найбільш безпечними є маршові сходи – з огорожею, розташовані під кутом  $60^\circ$  і майданчики відпочинку через кожні (3...4) м. Приставні драбини з перильним огороженням, встановлені під кутом (70...75) град., використовують для підйому робочих місць на висоті до 18 м. Є дві основні проблеми при роботі на висоті: при переході з одного робочого місця на інше та забезпечення безпеки при установці, вивірці і проектному закріпленні конструктивних елементів.

Для забезпечення безпеки при роботі на висоті потрібно правильно організувати робочі місця, користуватися засобами колективного захисту і індивідуального, скоротити ручну працю.

Вивчення та виконання правил з охорони праці та техніки безпеки є обов'язковим для кожного працівника на будівництві багатоповерхових будинків. Усі працівники повинні проходити на підприємстві інструктажі з охорони праці, першої допомоги та конкретних дії у разі виникнення аварійних ситуацій. Інструктажі поділяються на вступний, первинний, повторний, позаплановий та цільовий.

Вступний проводиться з усіма працівниками, які приймаються на роботу, з працівниками, які прибули на підприємство з інших організацій і беруть участь у виробничому процесі, учнями та студентами, які прибули для проходження трудового або професійного навчання.

Первинний проводиться до початку роботи безпосередньо на робочому місці з працівником.

Повторний проводиться індивідуально з працівником або групою працівників, які виконують однотипну роботу.

Позаплановий проводиться з працівниками у разі зміни технологічного процесу або модернізації, введення в дію нових НПАОП, у разі порушення правил з охорони безпеки.

Цільовий проводиться при ліквідації аварії або стихійного лиха та при проведенні робіт, на які оформлено наряд-допуск, наказ або розпорядження.

При незадовільних результатах перевірки знань з охорони праці працівник не отримує допуск до виконання робіт.

При невиконанні правил з охорони праці та техніки безпеки можуть призвести до захворювання, втраті працездатності, нещасного випадку та смерті.

## ВИСНОВКИ

З вище розглянутого видно, що будівлі є сегментом, які потребують значної уваги. Нераціональне використання енергоресурсів ЖКГ потребує дієвих методів та засобів впливу на енергоефективність.

Вирішення задач енергоефективності будівель з врахуванням комплексу показників, а саме теплофізичні та теплоінерційні особливості огорожень, умови мікроклімату, графіки експлуатації, кліматичні умови, система опалення та теплонадходження тощо, які впливають на питомі енергетичні характеристики (показник енергоефективності) будівлі потребує системного підходу є складною комплексною задачею. Вирішення цих задач потребує створення математичних моделей для дослідження енергетичних характеристик будівлі. Математичні моделі можуть бути різного кроку дискретизації розрахунків в залежності від задач, що ставляться, що спрощує/ускладнює модель.

В більшості розвинених країн оптимізація показників енергоефективності будівель виконується на стадії проектування. В Україні житловий та громадський фонд будівель в значній своїй мірі побудований в роки СРСР, тому аналіз показників енергоефективності широко використовується на стадії експлуатації для вже діючих будівель. Основна перешкода – відсутність адекватної оцінки енергопотреби в будівлях в Україні призводить до того, що на відміну від країн ЄС, неможливо визначити базу порівняння поточного рівня енергоефективності сектора нерухомості і встановити реалістичні цілі щодо його зниження в перспективі. Запропоновані підходи аналізу будівлі як складної енергетичної системи мають свої особливості та межі застосування, що потрібно враховувати при розробці та вдосконаленні моделей.

В методах моделювання теплового режиму будинків на сьогодні переважає системний підхід, за якого будинок розглядається як єдина енергетична система, що складається із взаємозалежних елементів. При

цьому основну увагу зосереджують на оптимізації складу теплоізоляційної оболонки і систем кліматизації будинків.

Але найважливіше місце у підвищенні енергоефективності будинків займає проблема оптимізації їх форми, оскільки вона є основою подальшої оптимізації. Методи оптимізації форми будівель зводяться, як правило, до визначення найбільш раціональної форми серед наперед заданого класу тіл. Розробка оптимальної моделі вимагає комплексного аналізу і моделювання формоутворюючих факторів, які включають природно-кліматичні умови, нормативні вимоги, фізико-технічні процеси у конструкціях і середовищах, котрі ці конструкції розділяють, технологічні вимоги.

Розглянуті вище методи дозволяють значним чином підвищити енергоефективність будівлі на стадії проектування. Але на даний момент не існує комплексних засобів автоматизації проектування енергоефективних будівель, які б достатньою мірою моделювали процес теплопередачі огорожувальних конструкцій з урахуванням впливу зовнішнього клімату та автоматично розраховували оптимальне розташування будівлі та її геометричну форму. З позицій системного підходу проведено аналіз методів підвищення енергоефективності будівель, які є суттєвими для використання в процесі розробки компонентів систем автоматизованого проектування об'єктів будівництва.

## ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ

1. Лавінська З., Саницька О. Соціально-екологічні аспекти енергозбереження в житлово-комунальному секторі. “Geodesy, Architecture & Construction 2009” (Gas-2009), 14-16 May 2009, Lviv, Ukraine. P.75-77.
2. Основні причини збитковості (низької рентабельності) підприємств та організацій житлово-комунального господарства у 2004 – 2010 роках : Аудиторський звіт Державної контрольно-ревізійної служби України. К., 2011 – 83 с.
3. Полуянов В. П., Кравченко Р. С. Перспективи розвитку централізованого теплоснабження в Україні в контексте державно-частного партнерства. *Бізнесінформ*. 2012. №5. С. 109–112.
4. Долінський А.А., Басок Б.І. та ін. Комунальна теплоенергетика України: стан, проблеми, шляхи модернізації. К.:ІТТТФ, 2007. - 828 с.
5. Енергетика світу та України. Цифри та факти / Г.К. Вороновський, С.П. Денисюк, О.В. Кириленко та ін. К.:Українські енциклопедичні знання, 2005-404 с.
6. Про енергетичну ефективність будівель: Закон України від 22.06.2017№ 2118-VIII. С. 359.
7. Урядова програма з енергоефективності для населення, ОСББ та ЖБК. Динаміка попиту. Держенергоефективності, [http://saee.gov.ua/sites/default/files/21%2002%202017\\_INFO\\_NEW.pdf](http://saee.gov.ua/sites/default/files/21%2002%202017_INFO_NEW.pdf).
8. Науменко Д. “Теплі кредити”: підсумки та перспективи. – Економічна правда, 2 березня 2017р., <https://www.epravda.com.ua/columns/2017/03/2/622212>.
9. Маркевич К. ЕНЕРГЕТИЧНА ГАЛУЗЬ УКРАЇНИ: ПІДСУМКИ 2016 РОКУ. За сприяння ДТЕК. Київ: Заповіт. 2017 р. С. 164.
10. Guy R. Newsham, Sandra Mancini, Benjamin J. Birt. Do LEED-certified buildings save energy? Yes, but... *Energy and Buildings*. 2009. Vol. 41. P. 897–905.

11. Дешко В.И., Шовкалюк М.М., Ленкин А.В. Моделирование теплового состояния помещений при измерении режимов параметров отопления. *Промышленная теплотехника*. Т.31 - 2009. №6. С. 75-80.
12. Круковский П.Г., Метель М.А., Тадля О.Ю. Возможности и проблемы применения способа экономии энергии путем регулирования температуры помещений. *Промышленная теплотехника*. 2009. №7. С. 24.
13. EN 12831:2003 E Heating systems in buildings – Method for calculation of the design heat load. (Опалювальні системи в будівлях – Розрахунок теплових навантажень). CEN, 2003. P. 76.
14. Волкова В.Н. Теория систем и системный анализ в управлении организациями: Справочник: учеб. пособие под ред. А.А. Емельянова / В.Н. Волкова. - М.: Финансы и статистика, 2006. - 848 с.
15. Панасенко І. О. Особливості функціонування та розвитку житлово-комунального господарства в Україні. *Державне будівництво*. 2012. № 2. С. 1-12.
16. ДСТУ Б EN 15217:2013 Енергоефективність будівель. Методи для визначення енергоефективності та для енергетичної сертифікації (EN 15217:2007, IDT). [Чиний від 16.12.2013]. Вид. офіц. К.: НДІБК, 2014. – 44 с.
17. ДСТУ Б EN 15603:2013 Енергетична ефективність будівель. Загальне енергоспоживання та проведення енергетичної оцінки (EN 15603:2008, IDT). [Чиний від 01.01.2014]. К.: НДІБК, 2014. 177 с.
18. Буяк Н.А. Оцінювання ефективності енергетичної системи будівлі в умовах теплового комфорту: автореф. дис...канд.тех.наук: 28.12.2017 / КПІ імені Ігоря Сікорського. Київ, 2017. 22 с.
19. Волощук В.А. Математичне моделювання об'єктів теплоенергетики на основі термодинамічних підходів: автореф. дис...докт. тех. наук. 27.04.2018 / Інститут телекомунікацій і глобального інформаційного простору НАН України. Київ, 2018. 44 с.

20. Табунщиков Ю. А., Бродач М. М. Математическое моделирование и оптимизация тепловой эффективности зданий: монография. М.: АВОК-ПРЕСС, 2002. 194 с.
21. Попырин Л. С. Математическое моделирование и оптимизация теплоэнергетических установок. М.: Энергия, 1978.
22. Табунщиков Ю. А., Бродач М. М., Шилкин Н.В. Энергоэффективные здания: монография. М.: АВОК-ПРЕСС, 2003. - 200 с.
23. ДСТУ Б EN ISO 13790:2011. Енергоефективність будівель. Розрахунок енергоспоживання при опаленні та охолодженні (EN ISO 13790:2008, IDT). [На заміну ГОСТ 26629.85; чинний з 01.01.2013]. К. : НДІБК, 2011. 229 с.
24. Петрик М., Бабюк М. Основи математичного моделювання та застосування математичних методів у наукових дослідженнях. Тернопіль: Підручники і посібники, 1998. 160 с.
25. Самарский А. А., Михайлов А. П. Математическое моделирование. Идеи. Методы. Примеры. 2-е изд., испр. М.: Физматлит, 2001. ISBN 5-9221-0120-X.
26. Дешко В.І., Білоус І.Ю. Математичні моделі будівель для оцінки енергоспоживання. Всеукраїнська науково-технічна конференція «Енергоефективність у будівництві. Сучасні конструктивні системи, ефективні матеріали та інженерне обладнання»(5 березня 2014 р., м.Київ). Київ: НДІБК, 2014. С. 68–72.
27. Mohd Ehmer, Farmeena Khan. A Comparative Study of White Box, Black Box and Grey Box Testing Techniques. *International Journal of Advanced Computer Science and Applications*. 2012. Vol. 3(6). P. 361-370.
28. Khosravani H. R., Castilla M. Del M., Berenguel M., Ruano A. E. Pedro, Ferreira M. A Comparison of Energy Consumption Prediction Models Based on Neural Networks of a Bioclimatic Building. *Energies*. 2016. Vol. 9, 57. P. 1-24.



29. Perera D. W. U., Halstensen M., Skeie N.O. Prediction of space heating energy consumption in cabins based on multivariate regression modelling. *International Journal of Modeling and Optimization*. 2015. Vol. 5, No. 6, P. 385-392.
30. Harish V.S.K.V., Kumar A. A review on modeling and simulation of building energy systems. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2016. Vol. 56. P.1272–1292.
31. Manjarres D., Mera A., Perea E., Lejarazu A., Gil-Lopez, S. An energy-efficient predictive control for HVAC systems applied to tertiary buildings based on regression techniques. *Energy and Buildings*. 2017. Vol. 152. P. 409-417.
32. Robinson C., Dilkina B., Hubbs J., Zhang W., Guhathakurta S., Brown M.A., Pendyala R.M. Machine learning approaches for estimating commercial building energy consumption. *Applied Energy*. 2017. Vol. 208. P. 889-904.
33. Popescu D., Ungureanu F., Serban E. Simulation of Consumption in District Heating Systems. *Environmental Problems And Development*. P. 50-55.
34. Fangting Song, Yi Jiang, Anne Le Mouel, Jean-Jacques Roux Development of a data model for consumption analysis and prediction of large-scale commercial building. *Building Simulation*. 2007. P. 1601-1609.
35. ДСТУ-Н Б А.2.2.5:2007. Проектування. Настанова з розроблення та складання енергетичного паспорта будинків при новому будівництві та реконструкції. [Уведено вперше ; чинний від 2008.07.01.]. К.: Мінрегіонбуд України, 2008. 44 с.
36. Офіційний сайт Міністерства регіонального розвитку, будівництва та житловокомунального господарства України. Електронний ресурс. Режим доступу. - <http://minregion.gov.ua>
37. Проекти з енергоефективності в Україні. Energy Efficiency Projects in Ukraine. Електронний ресурс. Режим доступу. - <http://www.eeib.org.ua>
38. Державні Будівельні Норми України. Електронний ресурс. – Доступний з <http://dbn.at.ua>

39. Все про утеплення будинку. Електронний ресурс. Режим доступу. -<https://thermomodernisation.org/vydy-uteplennia/>

40. Що потрібно знати про вікна , та багато іншого.Електронний ресурс.Доступний на <https://thermomodernisation.org/shho-vazhlyvo-znati-pro-vidkna/>

41. Енергоефективність та енергозбереження. Козацька РДА офіційний сайт. Електронний ресурс. <https://kazatin-rda.gov.ua/ekonomika-investytsiyi/enerhoefektyvnist-ta-enerhozberezhennya/>

42. Альтернативна енергетика України. Електронний ресурс. Режим доступу- <https://ecotown.com.ua/> або <https://ecotown.com.ua/news/CHy-okupytsya-svitlodiodne-osvitlennya-v-bahatopoverkhiivtsi/>

43. ДБН А.3.2-2-2009. Охорона праці і промислова безпека у виробництві. [Чинний від 2009-01-27]. Київ, 2012. (Інформація та документація).

44. Про охорону праці: Закон України від 23.07.2017р. №49. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2694-12#Text> (дата звернення 15.10.2020).

45. ДБН А.3.1-5-2016. Організація будівельного виробництва. [Чинний від 2016-05-05]. Київ, 2016. (Інформація та документація).

46. НПАОП 0.00-4.01. Мінімальні вимоги безпеки і охорони здоров'я при використанні працівниками засобів індивідуального захисту на робочому місці. [Чинний від 2018-12-27]. Київ, 2018. (Інформація та документація).

47. НПРП 45.2-3.01. Норми безкоштовної видачі спеціального одягу, спального взуття та інших засобів індивідуального захисту робітниками, зайнятими в будівельному виробництві. [Чинний від 2007-10-01]. Київ, 2007. (Інформація та документація).

48. НПАОП 0.00-4.12. Типове положення про порядок проведення навчання та повірки знань з питань охорони праці. [Чинний від 2005-01-26]. Київ, 2005. (Інформація та документація).

49. НПАОП 0.00-1.01. Правила будови і безпечної експлуатації вантажопідіймальних кранів. [Чинний від 2007-07-09]. Київ, 2007. (Інформація та документація).