

**КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
БУДІВНИЦТВА І АРХІТЕКТУРИ**

Факультет інженерних систем та екології
кафедра технологій захисту навколишнього середовища та охорони праці

**ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА
ДО АТЕСТАЦІЙНОЇ РОБОТИ
НА ЗДОБУТТЯ ОСВІТНЬОГО СТУПЕНЯ МАГІСТР**

на тему:

«Технології будівництва екологічних енергоефективних
будинків в Україні»»

Бурка Олександр Володимирович

Київ 2024 р.

**КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
БУДІВНИЦТВА І АРХІТЕКТУРИ**

Факультет інженерних систем та екології
кафедра технологій захисту навколишнього середовища та охорони праці

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри ТЗНСтаОП

_____ Т.М. Ткаченко

„___” _____ 2024 року

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА

ДО АТЕСТАЦІЙНОЇ РОБОТИ

НА ЗДОБУТТЯ ОСВІТНЬОГО РІВНЯ МАГІСТР

**«Технології будівництва екологічних енергоефективних
будинків в Україні»**

Виконав студент групи ТЗНСм-23

Бурка Олександр Володимирович

Спеціальність: 183«Технології захисту навколишнього середовища»

Керівник: д.т.н., проф. Ткаченко Т.М.,

к.т.н., ас. Перебинос А.Р.

Рецензент: _____

Київ 2024 р

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
БУДІВНИЦТВА І АРХІТЕКТУРИ

Факультет інженерних систем та екології
Кафедра технологій захисту навколишнього середовища та охорони праці
Освітньо-кваліфікаційний рівень магістр
Спеціальність: 183«Технології захисту навколишнього середовища»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри ТЗНС та ОП

_____ Т.М. Ткаченко

„___” _____ 2024 року

ЗАВДАННЯ

на дипломну роботу студенту

- 1.Тема роботи: Технології будівництва екологічних енергоефективних будинків в Україні
керівник роботи: д.т.н., проф. Ткаченко Т.М. к.т.н., ас. Перебинос А.Р.
затверджена наказом вищого навчального закладу від «___» _____
202__ р. № _____
- 2.Строк подання студентом роботи «___» _____ 2024 р.
- 3.Вихідні дані до роботи а) дані надані підприємством
- 4.Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити): Вступ. Огляд науково-технічної літератури з досліджуваного питання. Технології будівництва енергоефективних індивідуальних житлових будинків. Методи оцінювання енергетичної ефективності у будівлях. Результати програм і заходів з впровадження енергоефективних технологій. Аналіз видів систем опалення на кількість теплових втрат приміщення. Визначення доцільності впровадження заходів з підвищення енергоефективності. Висновки. Список використаної літератури
5. Перелік графічного матеріалу а) Таблиці; б) Рисунки; в) Схеми.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ п/п	Назва етапів випускної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітки
1	Огляд науково-технічної літератури з досліджуваного питання	березень	виконано
2	Технології будівництва енергоефективних індивідуальних житлових будинків	березень	виконано
3	Методи оцінювання енергетичної ефективності у будівлях	квітень	виконано
4	Результати програм і заходів з впровадження енергоефективних технологій	травень	виконано
5	Аналіз видів систем опалення на кількість теплових втрат приміщення	травень	виконано
6	Визначення доцільності впровадження заходів з підвищення енергоефективності	червень	виконано
7	Висновки	вересень	виконано
8	Список використаної літератури	жовтень	виконано
9	Остаточне оформлення роботи	листопад	виконано
10	Направлення роботи на рецензування, перевірку на плагіат	листопад	виконано
11	Попередній захист роботи на кафедрі	листопад	виконано

7. Консультанти розділів атестаційної випускної роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Перевірив	
		Дата	Підпис
Розділ 1.			
Розділ 2.			
Розділ 3.			
Розділ 4.			
Розділ 5.			
Розділ 6			

8. Дата видачі завдання _____

Зав. кафедри

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Керівник

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Керівник

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Студент

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Анотація

Структура та обсяг роботи. Робота складається зі вступу, 6 розділів, висновків, переліку використаної літератури. Робота містить 6 рисунків та 8 таблиць. Загальний обсяг магістерської роботи – 101 сторінка.

На сьогоднішній день у великих містах розвиток та функціонування інфраструктури і промисловості, що є потужними споживачами енергоресурсів, призводить до збільшення навантаження на енергетичні системи. Це, в свою чергу, впливає на стан довкілля через збільшення викидів в атмосферу, збільшується використання природних ресурсів тощо. Поряд з цим, зростання уваги громадськості до екологічних питань та вимоги до сталого розвитку створюють підґрунтя для запровадження енергозберігаючих технологій як способу зменшення негативного впливу на оточуюче середовище. Застосування енергозберігаючих технологій та відновлювальної енергетики важливо розглядати як додатковий енергоресурс, адже енергоефективність є визнаним глобальним енергоресурсом, а енергозбереження - найбільш оптимальним способом зменшення техногенного навантаження на довкілля.

Об'єкт дослідження: енергоефективні технології в енергосистемі міста.

Предмет дослідження: ефективність програм та заходів з впровадження енергоефективних технологій.

Ключові слова: енергоефективні технології, енергозбереження, будівлі, місто, довкілля, енергоресурси

ЗМІСТ

Вступ	8
Розділ 1. Огляд науково-технічної літератури з досліджуваного питання.....	10
1.1. Світовий досвід впровадження енергоефективності.....	10
1.2. Енергоефективні технології. Проблеми ринку енергоефективного будівництва	14
1.3. Досвід впровадження енергоефективних технологій в Україні	17
1.4. Правовий аспект впровадження енергоефективних технологій в Україні	20
Розділ 2. Технології будівництва енергоефективних індивідуальних житлових будинків	23
2.1. Особливості архітектурних рішень для енергозберігаючого будинку.....	23
2.2. Каркасні будинки на основі SIP-панелей	25
2.3. Теплоізоляція для енергозберігаючого будинку	29
2.4. Рекуперація тепла	32
2.5. Розумний будинок	33
2.6. Опалення та гаряче водопостачання	34
2.7. Додаткові джерела електроенергії.....	36
2.8. Водопостачання та каналізація	38
Розділ 3. Методи оцінювання енергетичної ефективності у будівлях	40
3.1. Особливості визначення рівня енергоефективності будівель.....	40
3.2. Основні нормативні вимоги щодо рівня енергетичної ефективності будівель.....	43
3.3. Особливості визначення доцільності впровадження заходів з підвищення енергетичної ефективності в	

	будівлях	комунальної	48
	сфери.....		
Розділ 4	Результати програм і заходів з впровадження енергоефективних технологій.....		54
4.1.	Реалізація Проекту з підвищення енергоефективності об'єктів бюджетної сфери.....		55
4.2.	Результати впровадження енергоефективних заходів у житлово-комунальній сфері.....		56
4.3.	Впровадження сонячної енергетики.....		59
4.4.	Енергозберігаючі технології в системах освітлення.....		61
4.5.	Ефективне використання енергії в системах водопостачання та водовідведення		66
4.6.	Впровадження енергоефективних заходів у системі тепlopостачання		69
4.7.	Заходи з підвищення ефективності використання електроенергії теплопостачальними підприємствами.....		71
Розділ 5	Аналіз видів систем опалення на кількість теплових втрат приміщення.....		74
Розділ 6	Визначення доцільності впровадження заходів з підвищення енергоефективності.....		86
6.1.	Визначення доцільності впровадження заходів з підвищення енергетичної ефективності за різними групами.....		86
6.2.	Особливості визначення економічних показників доцільності впровадження заходів з підвищення енергетичної ефективності.....		92
	Висновки		97
	Список використаної літератури		98

Вступ

Актуальність теми дослідження. На сьогоднішній день у великих містах розвиток та функціонування інфраструктури і промисловості, що є потужними споживачами енергоресурсів, призводить до збільшення навантаження на енергетичні системи. Це, в свою чергу, впливає на стан довкілля через збільшення викидів в атмосферу, збільшується використання природних ресурсів тощо. Поряд з цим, зростання уваги громадськості до екологічних питань та вимоги до сталого розвитку створюють підґрунтя для запровадження енергозберігаючих технологій як способу зменшення негативного впливу на оточуюче середовище.

Застосування енергозберігаючих технологій та відновлювальної енергетики важливо розглядати як додатковий енергоресурс, адже енергоефективність є визнаним глобальним енергоресурсом, а енергозбереження - найбільш оптимальним способом зменшення техногенного навантаження на довкілля. І, як показує світовий досвід, в 2,5 - 3 рази ефективніше вкладати кошти в енергозберігаючі заходи, ніж витратити на будівництво нових енергогенеруючих потужностей [1]. Тому такі заходи є пріоритетними для української енергетичної політики задля зниження витрат енергії і навантаження на довкілля в рамках переходу країни до збалансованого розвитку.

Мета роботи: екологічний аспект впровадження енергоефективних технологій.

Для досягнення поставленої мети у процесі дослідження виконувалися наступні завдання:

- опрацювати літературні джерела;
- дослідити правовий аспект впровадження енергоефективних технологій;
- проаналізувати програми та заходи з впровадження енергоефективних технологій у місті (на прикладі м. Дніпро);

- охарактеризувати вплив впровадження енергоефективних технологій на стан довкілля.

Об'єкт дослідження: енергоефективні технології в енергосистемі міста.

Предмет дослідження: ефективність програм та заходів з впровадження енергоефективних технологій.

Розділ 1

Огляд науково-технічної літератури з досліджуваного питання

В області енергоефективних технологій було проведено чимало досліджень, які включали в себе вдосконалення будівельних матеріалів, використання технологій для ефективного використання енергії, розробку сучасних систем опалення та кондиціонування повітря, використання сонячних панелей, енергозберігаючих систем освітлення тощо. Впровадження енергоефективних технологій призвело до значного скорочення споживання енергії в багатьох країнах світу. Наприклад, країни Європейського Союзу активно впроваджують стандарти енергоефективності будівель і промислових підприємств. Також багато міст по всьому світу активно використовують енергоефективні технології для поліпшення якості навколишнього середовища і скорочення шкідливих викидів, що забруднюють навколишнє середовище.. Наприклад, Копенгаген, Данія, характеризується інтеграцією відновлюваних джерел енергії та енергоефективних будівель [3].

1.1. Світовий досвід впровадження енергоефективності

Проект першого енергоефективного будинку почав здійснюватися в 1972 року в Манчестері, штат Нью-Хемпшир, США архітекторами Ніколасом Ісааком (Nicholas Isaak) та Ендрю Ісааком (Andrew C. Isaak). Енергоспоживання будівель, яке не було визначальним показником у минулому стало домінуючим критерієм якості проекту. Друга будівля, яка була запроектована та збудована як енергоефективна, – це будівля «EKONO-house» у м. Отаннімі, Фінляндія [25].

За концепцією свого створення це були експериментальні лабораторії, в яких слід оцінити ефективність архітектурних, інженерних

та технологічних заходів щодо економії паливно-енергетичних ресурсів, що споживаються будинками.

Важливо відзначити, що вже 30 років тому в обох будинках було передбачено використання тепла сонячної радіації та можливостей комп'ютерної техніки для керування інженерним обладнанням. Перша тенденція продовжує успішно розвиватися, у тому числі навіть у такій північній країні, як Фінляндія, - наприклад, в експериментальному будівництві житлового району VIIKKI, Гельсінкі, Фінляндія[25], а друга тенденція виросла у великий напрямок в інженерії будівель, що отримала назву "Інтелектуальні будівлі" [25].

З часом змінювався та розширювався об'єкт вивчення: ефективність використання енергії в енергоефективній будівлі. Якщо на початку будівництва енергоефективних будівель, основний інтерес представляло вивчення заходів щодо економії енергії, то вже в середині 90-х років центр тяжкості переноситься на вивчення проблеми ефективності використання енергії та пріоритет віддається тим енергозберігаючим рішенням, які одночасно сприяють підвищенню якості мікроклімату. Втім, якість мікроклімату в цей період впевнено виходить на перший план проти енергозбереження. В основі концепції проектування сучасних будівель лежить ідея того, що якість навколишнього середовища надає безпосередній вплив на якість нашого життя як вдома, так і на робочому місці або місцях загального користування, що становлять основу наших міст. Таке виділення соціальних аспектів є визнанням того, що архітектура та будівництво розвиваються на основі потреб людей – духовних та матеріальних. Ця концепція яскраво виражена у проекті житлового району VIIKKI, Гельсінкі, Фінляндія [25].

На цьому, однак, не припинилося розширення об'єкта вивчення. Надзвичайно важливо – можливо, це сама головна ідея для архітектури та будівництва XXI століття – природа не пасивне тло нашої діяльності: внаслідок людської діяльності може бути створене нове природне

середовище, що має більш високі комфортні показники для містобудування і є водночас час енергетичним джерелом систем кліматизації будинків. Ця ідея отримала свій вираз у проекті навчального центру з вивчення навколишнього середовища «AdamJoseph Lewis Center», Оберлін, Огайо, США [7].

Видатний архітектор сер Норман Фостер (Sir Norman Foster) пише: «Проблеми довкілля впливають на архітектуру на кожному її рівні. Половина споживання енергії у розвинених країнах припадає на будинки, і ще чверть – на транспорт. Архітектори не можуть вирішити всі світові екологічні проблеми, але ми можемо проектувати будівлі, які вимагають лише частину споживаної нині енергії, крім того, завдяки належному містобудівному плануванню ми можемо впливати на транспортні потоки.

Розташування та функціональне призначення споруди, її конструктивна гнучкість та технологічний ресурс, орієнтація, форма та конструкція, його системи обігріву та вентиляції, характеристики використовуваних при будівництві матеріалів – всі ці параметри впливають на кількість енергії, яка потрібна для зведення, експлуатації та технічного обслуговування будівлі, а також для транспорту, що рухається до нього та від нього». Це розуміння гармонії навколишнього середовища та архітектури сер Норман Фостер висловив у видатному проекті енергоефективного будівництва – висотної будівлі «Commerzbank» у Франкфурті-на-Майні, Німеччині [23], яке є не тільки новим досягненням в архітектурі та інженерії висотних будівель, але й відкриває новий напрямок у спільній історії світового будівництва.

Досвід енергозбереження в країнах Європи, Скандинавії, Японії та ін. свідчить про успішність впровадження енергоефективних технологій і програм підтримки, спрямованих на зменшення споживання енергії та, як результат, покращення екологічної ситуації. Наведемо кілька ключових аспектів цього досвіду:

- Законодавче регулювання та фінансова підтримка. Країни Європи, зокрема Німеччина та Франція, встановили законодавчі норми, що стимулюють впровадження енергоефективних технологій. Податкові пільги, кредити з низькою процентною ставкою та інші фінансові стимули допомагають власникам житла та підприємствам зменшити витрати на енергію.

- Використання відновлювальних джерел енергії. Країни Скандинавії активно використовують відновлювальні джерела енергії, зокрема вітроенергію та сонячні батареї. Це сприяє створенню стійких та екологічно чистих енергетичних систем.

- Біогазові установки. Австрія та інші країни розвивають виробництво біогазу, який використовується для опалення та енергетичних потреб. Це сприяє переходу до використання альтернативних видів енергії та зменшенню залежності від традиційних джерел.

- Програми підтримки та освіта. Франція впроваджує програми податкових пільг для сімей, що використовують енергоефективні технології. Освітні компанії та інформаційна робота сприяють підвищенню свідомості населення щодо важливості зменшення енергоспоживання.

- Інвестиції в енергоефективність. Німеччина витратила значні кошти на реконструкцію будівель з метою зниження енергоспоживання. Це вкладається в загальну стратегію зменшення залежності від імпортованої енергії та покращення енергетичної безпеки. Цей досвід свідчить про те, що комплексні заходи, включаючи правове регулювання, фінансову підтримку, використання відновлювальних джерел та освіту, є ефективними і сприяють створенню сталого та енергоефективного суспільства.

- Зменшення залежності від викопного палива. Швеція успішно зменшила залежність від викопного палива протягом останніх десятиліть, переходячи до більш сталих та екологічно чистих джерел енергії.

- Біопалива. Значна частка енергії в Швеції виробляється з біопалив. Це свідчить про розвиненість сектору біопалив та його важливе значення для зниження екологічного відбитку.

- Сміттєспалювальні заводи. Сміттєспалювальні заводи в Швеції використовують комбіноване виробництво тепла та електроенергії. Це ефективне використання ресурсів та зменшення відходів.

- Централізоване опалення та охолодження. Система централізованого опалення та охолодження використовує станції теплових насосів, що використовують потенціал води, атмосфери та землі. Це сприяє забезпеченню теплом значної кількості населення та допомагає знижувати негативний вплив на довкілля.

- Теплові насоси. зростає використання теплових насосів, як ефективного та екологічно чистого методу генерації енергії. Їхнє поширення свідчить про позитивний природоохоронний вплив та велику популярність серед споживачів.

Швеція активно впроваджує інноваційні підходи та технології для забезпечення сталого розвитку та збереження навколишнього середовища. Такий досвід може слугувати важливим джерелом натхнення для інших країн, що шукають шляхи зменшення свого вуглецевого сліду та переходу до сталої енергетики. [5.6]

1.2. Енергоефективні технології. Проблеми ринку енергоефективного будівництва

Енергоефективні технології спрямовані на зменшення споживання енергії, забезпечуючи при цьому незмінний результат, або навіть його покращення. Вони є важливим елементом для зменшення негативного впливу енергосистеми на навколишнє середовище та оптимізації використання енергетичних ресурсів. Розглянемо основні види енергоефективних технологій:

- 1) За секторами використання:
 - 1.1. Промисловість:
 - 1.1.1. Удосконалені процеси виробництва.
 - 1.1.2. Системи когенерації.
 - 1.1.3. Використання високоефективного обладнання.
 - 1.2. Будівництво:
 - 1.2.1. Теплоізоляція та енергоефективне будівництво.
 - 1.2.2. Системи опалення, вентиляції, та кондиціонування з ефективним управлінням.
 - 1.3. Транспорт:
 - 1.3.1. Електрифікація транспортних засобів.
 - 1.3.2. Використання альтернативних паливних та технологій.
- 2) За технологічними рішеннями:
 - 2.1.) Системи управління енергією:
 - 2.1.1. Автоматизовані системи управління освітленням та опаленням.
 - 2.1.2. Системи енерго- менеджменту для промисловості та комерційних будівель.
 - 2.2. Використання відновлюваних джерел енергії:
 - 2.2.1. Сонячні батареї та панелі.
 - 2.2.2. Вітрові турбіни.
 - 2.2.3. Гідроелектростанції та геотермальні системи.
 - 2.3. Енергоефективні матеріали:
 - 2.3.1. Теплоізоляційні матеріали.
 - 2.3.2. Енергоефективні вікна та двері.
- 3.) За масштабом застосування:
 - 3.1. Міська інфраструктура:
 - 3.1.1. Смарт-системи для управління транспортом та освітленням.
 - 3.1.2. Енергоефективні будівлі та інфраструктура.
 - 3.2. Господарства та побутові споживачі:
 - 3.2.1. Енергоефективні побутові прилади.

3.2.2. Системи енергозбереження в домогосподарствах.

4) За напрямками діяльності:

4.1. Енергозберігаючі технології:

4.1.1. Ефективні технології виробництва.

4.1.2. Теплові насоси.

4.2. Технології зеленого будівництва:

4.2.1. Енергоефективні будівельні матеріали та методи будівництва.

4.2.2. Системи ефективного використання води та інших ресурсів.

5.) За галузевим призначенням:

5.1. Енергоефективне освітлення:

5.1.1. Світлодіодні лампи та системи управління освітленням.

5.2. Енергоефективні транспортні засоби:

5.2.1. Електричні та гібридні автомобілі.

5.2.2. Публічний транспорт з низьким рівнем викидів.

Ці класифікації вказують на різноманітність енергоефективних технологій, які можна впроваджувати в різних галузях для досягнення сталого розвитку та ефективного використання енергії. [4]

На цей час у світі побудовано величезну кількість енергоефективних будівель, але, на жаль, вони не стали образом архітектури кінця ХХ століття. Тут є вина всіх: і архітекторів, і будівельників, і інвесторів, і насамперед держави. Головна роль у підтримці та фінансуванні будівництва демонстраційних енергоефективних будівель має належати державі, тому що реалізація цих проектів пов'язана із захистом навколишнього середовища, підвищенням якості довкілля людини, збереженням природних багатств – захистом інтересів майбутніх поколінь.

Архітектори розкрили красу скла, каменю, дерева, металу та навіть бетону і звели багато чудових будівель з цих матеріалів. Але тільки окремі з них змогли зрозуміти енергоефективну будівлю як новий крок у архітектурі з явними елементами мистецтва. Для інженерів проєктування

енергоефективних будівель потребує індивідуального підходу та великої кількості міждисциплінарних знань.

Інвестори як замовники будівельного об'єкта ставлять за мету побудувати будинок якомога дешевше і продати його якомога дорожче. В останні роки через конкуренцію між інвесторами з'являється необхідність у будівництві більш привабливих з погляду покупця будівель, які суттєво економічніші в експлуатації, більш комфортні для проживання, мають підвищені показники безпеки.

Розрив між практикою будівництва енергоефективних будівель та науковими основами їх створення та проектування став досконало нетерпимим у наші дні, а часом носить спекулятивний характер.

Часто енергоефективна будівля видається як кілька незалежних інноваційних енергозберігаючих рішень. При цьому виявляється невиявленою та обставина, що ці незалежні рішення можуть взаємно знижувати їхню початкову ефективність, а в деяких випадках навіть призводити до негативного ефекту.

В наш час техніка та технології змінюються настільки швидко, що «досвід» просто не встигає накопичуватися, а «здоровий глузд» легко може обдурити, якщо він не спирається на науковий метод пошуку якнайкращого рішення. В сучасній науці шляхом пошуку найкращого рішення є «системний аналіз» – це дисципліна, яка займається проблемами ухвалення рішення в умовах, коли и вибір альтернативи вимагає аналізу різної складної інформації фізичної природи. Очевидно, що «системний аналіз» має з'явитися основою методології сучасного проектування енергоефективних будівель. [9]

1.3. Досвід впровадження енергоефективних технологій в Україні

В Україні впровадження енергоефективних технологій поступово розвивається, і багато факторів, такі як енергетична незалежність, реформа енергетичного сектора, технологічні інновації, зміни в нормативних актах.

Наведемо деякі аспекти досвіду впровадження енергоефективних технологій в Україні:

- Законодавча база. Уряд України визначає енергоефективність як один із пріоритетів розвитку. У країні прийняті законодавчі акти, спрямовані на стимулювання впровадження енергоефективних технологій, зокрема, програми підтримки, фінансові стимули та стандарти енергоефективності.

- Фінансова підтримка. Уряд та міжнародні фінансові інститути надають фінансову підтримку проектам з підвищення енергоефективності в Україні. Це може включати субсидії, пільгові кредити, гранти та інші механізми фінансування.

- Створення енергоефективних проектів. Багато компаній та організацій в Україні впровадили енергоефективні технології для зниження витрат на електроенергію та комунальні послуги. Це включає модернізацію обладнання, оптимізацію процесів та використання відновлюваних джерел енергії.

- Технічна співпраця. Україна співпрацює з міжнародними організаціями та країнами для обміну досвідом та впровадження передових технологій. Це включає технічну допомогу, навчання та обмін найкращими практиками.

- Розробка програм енергоефективності. Україна розробляє та впроваджує програми енергоефективності на різних рівнях, від державного до місцевого. Ці програми включають заохочення використання енергоефективних технологій та зменшення витрат на електроенергію.
- Участь бізнесу. Бізнес-підрозділи активно беруть участь в ініціативах з підвищення енергоефективності. Компанії реалізують проекти з

енергоефективності для зменшення витрат та впливу на навколишнє середовище

- Громадські об'єднання. Активна участь громадськості стосовно питань енергоефективності в Україні. Люди виявляють інтерес і активно підтримують зусилля з підвищення енергоефективності.

- Програми ООН та Європейського Союзу. Україна працює з міжнародними організаціями, такими як програма розвитку ООН та Європейський союз, над реалізацією проектів у галузі енергоефективності та відновлюваних джерел енергії.

Незважаючи на певні досягнення у впровадженні енергоефективних технологій в Україні, важливо продовжувати роботу над розробкою та оптимізацією цих заходів, щоб зробити значний вплив на енергоефективність та сталий розвиток. [7-8].

Використання саме енергії відновлюваних джерел є одним із пріоритетних напрямків енергетики України і дніпропетровщини зокрема. У 2019 році у Нікопольському районі Дніпропетровської області запрацювала найпотужніша і найбільша сонячна електростанція в Україні, яку звели за рахунок українського і китайського інвесторів. За проектом близько 750 тисяч панелей мають потужність виробляти близько 200 МВт електроенергії. Ця електростанція за своєю потужністю входить у трійку найбільших у Європі. «Дніпропетровщина – у лідерах країни з використання цього виду енергії, – зазначив голова Дніпропетровської облдержадміністрації Валентин Резніченко. – Менш ніж за рік у Нікопольському районі звели найбільшу СЕС в Україні. Вона – у трійці найпотужніших в Європі. На її будівництво не пішло жодної копійки з державного чи обласного бюджетів. Все – коштом інвесторів» [9].

Дослідниками проведено розрахунки щодо «Економічного обґрунтування створення мережі стаціонарних сонячних електростанцій для обслуговування інфраструктури міста Дніпро» [10].

Можливим ресурсом для м. Дніпра автори вбачають площі дахів будівель, використання яких може значно збільшити електрогенерацію, а вже потім впроваджувати і використання вільної поверхні стін будівель, використовуючи поєднання електричних мереж батареї із підвищенням енергоефективності будівель.

1.4. Правовий аспект впровадження енергоефективних технологій в Україні

Отже, у зв'язку з потребою в кардинальних змінах в енергетичній політиці України, Національне агентство України з питань забезпечення ефективного використання енергетичних ресурсів розробило законопроект «Про енергоефективність». Цей законопроект відповідає світовим стандартам і має на меті стимулювати підприємства до енергоефективності.

Основні положення законопроекту включають в себе:

- Звільнення від оподаткування: Частина коштів, використаних для енергоефективності, використовується з метою звільнення від оподаткування, що сприяє стимулюванню підприємств до реалізації енергоефективних заходів.
- Кредити на нульових ставках. Передбачається надання кредитів для впровадження енергоефективних технологій за нульовою ставкою, що сприятиме активнішому впровадженню нових енергоефективних рішень.
- Міжнародні договори. Законопроект передбачає, що частиною національного законодавства є міжнародні договори, згода на обов'язковість яких надається Верховною Радою, що відповідає за принципи Європейського Союзу та інших міжнародних стандартів.
- Адаптація до законодавства ЄС. Згідно з Законом про Загальну державну програму адаптації законодавства України до законодавства

Європейського Союзу, законопроект перевіряється на відповідність законодавству ЄС [11]

- Приклад Євросоюзу. Використання Євросоюзу як прикладу для системного підходу до створення правової основи для сталого енергетичного розвитку та формування єдиної стратегії в цих питаннях.

Закон України «Про енергетичну ефективність» визначає нову енергетичну стратегію України, яка спрямована на підвищення енергоефективності і забезпечення енергобезпеки відповідно до сучасних стандартів і вимог [12].

Впровадження енергоефективних технологій в Україні та м. Дніпро відбувається також згідно з Законом України «Про альтернативні джерела» та іншими нормативно-правовими документами [13-14]

Україна активно впроваджує принципи сталого розвитку та енергоефективності, звертаючись до досвіду Європейського Союзу, який сформульовано у "Зелених книгах". Зокрема, наша країна планує створення Державного фонду декарбонізації та енергоефективної трансформації для фінансування проєктів у цьому напрямку. Новою енергетичною політикою передбачено значний внесок у зменшення кінцевого обсягу енергоспоживання і викидів CO₂ до 2030 року.

Уряд також прагне до міжнародного співробітництва, шукаючи партнерів для залучення фінансування та обміну досвідом у сфері енергетики та енергоефективності. Ці заходи свідчать про визнання важливості модернізації сектору енергетики задля досягнення сталості та забезпечення економічного і екологічного добробуту.

Цей огляд вказує на важливі аспекти енергетичної політики України та її зусиль стосовно напрямку сталого розвитку та енергоефективності, які відображаються у заходах і реформах національного енергетичного сектору. Ключові моменти включають у себе:

- Європейська стратегія та «Зелені книги»: Україна враховує досвід Європейського Союзу та впроваджує концепції, що мають за мету створити

сталі, конкурентоспроможні та безпечні систем енергетики. «Зеленими книгами» визначають пріоритети та конкретні заходи для досягнення цих цілей.

- «Державний фонд декарбонізації та енергоефективної трансформації». Створення фонду (планується початок роботи з січня 2024 року) свідчить про серйозні зобов'язання України щодо реалізації енергоефективних заходів та декарбонізації. Цей фонд буде головним джерелом щодо фінансування для проєктів, спрямованих на поліпшення енергоефективності у різних секторах: для бізнесу, населення і громад [15].

- Напрямки дій до 2030 року. Україна планує зниження кінцевого енергоспоживання на 17% та зменшення викидів CO₂ на 65% у порівнянні з 1990 роком. Ці цілі входять у Національний план дій з енергоефективності та в Оновлений національно визначений внесок України до Паризької угоди [16]

- Міжнародне співробітництво: Залучення міжнародних партнерів на пошук фінансування та обмін досвідом свідчить про готовність України співпрацювати для досягнення своїх цілей у сфері енергетики та енергоефективності.

Ці ініціативи свідчать про важливість енергоефективності та сталого розвитку для України, а також про визнання необхідності декарбонізації та модернізації енергетичної інфраструктури для забезпечення сталої економічної та екологічної добробуту. [7,8]

Розділ 2

Технології будівництва енергоефективних індивідуальних житлових будинків

2.1. Особливості архітектурних рішень для енергозберігаючого будинку

Щоб досягти економії ресурсів, необхідно приділити увагу плануванню та зовнішньому вигляду будинку. Житло буде максимально енергозберігаючим, якщо враховано наступні нюанси [13]:

- правильне розташування. Будинок може бути розташований в меридіональному або широтному напрямку та отримувати різне сонячне опромінення. Північний будинок краще будувати меридіональна, аби збільшити надходження сонячного світла на 30 %. Південні будинки, навпаки, краще зводити в широтному напрямку, щоб зменшити витрати на кондиціонування повітря;

- компактність, під якою в даному випадку розуміють співвідношення внутрішньої та зовнішньої площі будинку. Воно має бути мінімальним, а досягається це за рахунок відмови від випираючих приміщень та архітектурних прикрас типу еркерів. Виходить, що найекономніший будинок повинен мати форму паралелепіпеду;

- теплові буфери, які відокремлюють житлові приміщення від контакту з довкіллям. Гаражі, веранди, лоджії, підвали та нежитлові горища будуть суттєвою перешкодою для проникнення в кімнати холодного повітря ззовні;

- правильне природне освітлення. Завдяки нескладним архітектурним прийомам можна на протязі 80% всього робочого часу освітлити будинок за допомогою сонячних променів [26]. Приміщення, де сім'я проводить найбільше часу (вітальня, їдальня, дитяча) краще розташувати на південній стороні. Для комори, санвузлів, гаража та інших допоміжних приміщень

досить розсіяного світла, тому вони можуть мати вікна на північний бік. Вікна на схід у спальні вранці забезпечать зарядом енергії, а ввечері промені не заважатимуть відпочивати. Влітку у такій спальні можна буде обійтися без штучного світла. Щодо розміру вікон, то відповідь на це питання буде залежити від пріоритетів господаря - економити на освітленні чи обігріві. Для покращення внутрішнього освітлення можливо скористатися встановленням сонячної труби. Вона має діаметр 25...35 см і повністю дзеркальну внутрішню поверхню: приймаючи сонячне проміння на даху вдома вона зберігає його інтенсивність на вході в кімнату, де воно розсіюється через дифузор;

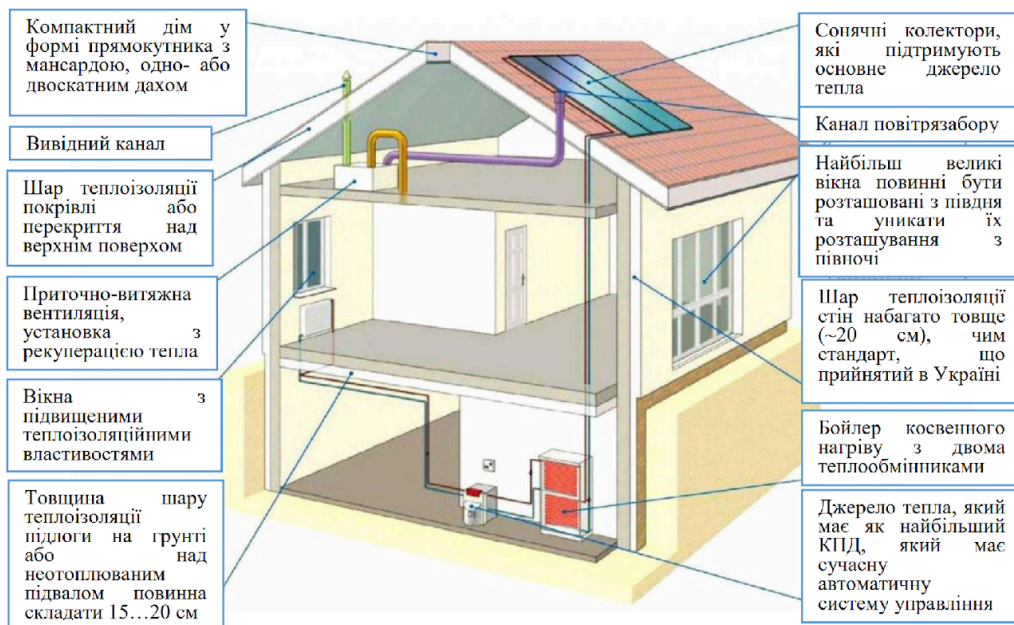


Рисунок 2.1 - Приклад архітектурно-технічних рішень енергоефективного будинку



Рисунок 2.2 – Приклад використання сонячних труб

- покрівля. Багато архітекторів рекомендують робити максимально прості дахи для енергозберігаючого будинку. Частіше за все зупиняються на двосхилому варіанті, причому чим більш пологою вона буде, тим більше економним виявиться будинок [7]

2.2. Каркасні будинки на основі SIP-панелей

Сіп панелі є зручним матеріалом із відмінними характеристиками та тривалим терміном експлуатації, що дозволяє зводити будівлі у найкоротші терміни. Сіп панельні будинки мають свої сильні та слабкі сторони, які знадобиться докладно вивчити. Даний матеріал набув своєї популярності в Канаді, після цього його почали активно використовувати у всьому світі. Сіп технологія будівництва будинків не відрізняється особливою складністю, тому цей матеріал останнім часом використовується дедалі частіше [9].

Переваги сіп будинків забезпечуються завдяки складу цього матеріалу. Він складається з наступних елементів:

- основою такого виробу є ОСП-плита. Ці плити виробляються на основі довгих і вузьких щеп, покладених багат шарово та утрамбованих так, щоб з усіх боків листа вони лягали перпендикулярно один до одного.

Подібна технологія виробництва збільшує гнучкість виробу при навантаженнях у різних площинах, такі властивості відсутні у звичайної деревини. Найчастіше для сіп панелей використовуються щепи на основі сосни або осики. Ці плити на 97 % складаються з деревини, рештою є сполучні компоненти. Конструкції обробляються спеціальним водовідштовхуючим розчином, що дозволяє забезпечити захист від вологи, гниття та механічного впливу.

- також використовується пінополістирол, який відрізняється низькою теплопровідністю та легкою вагою. Під час виготовлення в полістиролову масу додається газ. Залежно від властивостей виробу, речовина може сильно відрізнятися, так, для пожежостійких конструкцій застосовують вуглекислий газ. Лист такого виробу товщиною всього 11 см здатний забезпечити рівень теплоізоляції, який можна порівняти зі стіною, яка складена з силікатної цегли товщиною 2 м.

Основні характеристики:

- ширина може становити 1,25 або 1,2 м;
- довжина може становити 2,5 або 2,8 м, в окремих випадках 3 та 6 м;
- товщина виробу може відрізнятися. В основному вона залежить від шару теплоізоляції. Утеплювач може мати товщину 100, 150 або 200 мм;
- наведені теплотехнічні показники можна приймати для панелей як матеріалу-наповнювача, в даному випадку – пінополістирол.

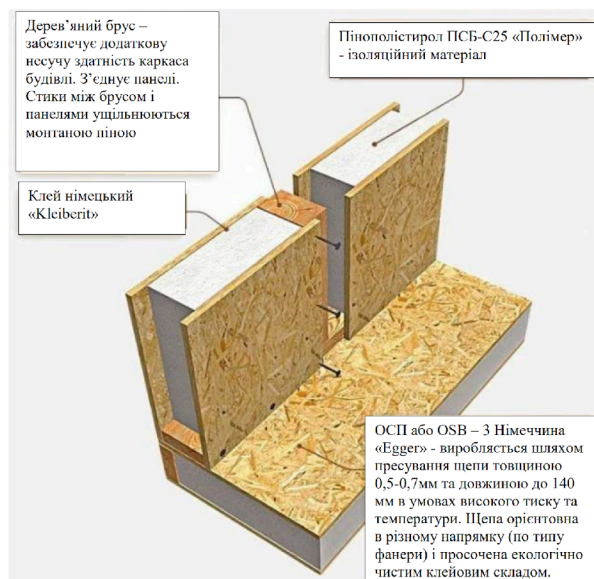


Рисунок 2.3 – Склад стандартної СІП-панелі

До основних переваг подібних панелей можна віднести:

1. Високі показники пожежостійкості. Під час дослідів фахівці встановили, що матеріал здатний утримувати вогонь на протязі цілої

години. Також виріб має можливість самогасіння. Це забезпечується завдяки наявності у складі антипірену.

2. Матеріал є екологічно безпечним та під час горіння не виділяє жодних шкідливих речовин. Всі компоненти є повністю безпечними для людини.

3. Високі показники міцності. Це один із ключових плюсів панелей, який дуже важливий під час будівництва будівель. Стіни з такого матеріалу здатні витримувати великі навантаження.

4. Стійкість. Цю характеристику можна покращити завдяки додаванню каркасу жорсткості з використанням брусків всередині конструкції.

5. Жорсткість матеріалу. Вона досягається завдяки спеціальній технології виробництва.

6. Високий термін експлуатації. У середньому сіп панелі можуть слугувати понад 50 років.

7. Невелика товщина матеріалу. Ця властивість дуже важлива при спорудження будівлі.

8. Для внутрішнього та зовнішнього облицювання стін можна використовувати різні матеріали. Ідеально рівні поверхні панелей не вимагають жодних попередніх підготовок.

9. Немає необхідності в додатковому утепленні конструкції, сіп матеріали вже оснащуються утеплювачем у вигляді пінопласту.

Сіп панелі мають також ряд недоліків, які потрібно враховувати під час вибору даного будівельного матеріалу. Знаючи слабкі сторони таких конструкцій, їх можна спробувати виправити, це допоможе продовжити термін служби будівель. До основних мінусів сіп панелей відносяться:

1. Горючість. Хоча й в порівнянні з деревиною панелі мають високу стійкість до вогню, вони відносно легко горять. При зведенні будинку дуже важливо правильно прокласти електропроводку, вибрати оптимальні місця для розміщення розеток та вимикачів, щоб уникнути

можливого займання будинку. Для додаткового захисту рекомендується використовувати антипірен.

2. Легко піддаються пошкодженню гризунами. Під час будівництва важливо ретельно підгоняти всі стики, аби не було щілин, які зможуть проникнути гризуни.

3. Будівля з такого матеріалу може відносно легко бути зруйнована або пошкоджена зловмисниками, що дозволить їм проникнути всередину будинку.

4. Герметичність будівництва. Якщо своєчасно не подбати про вентиляцію, вологість у приміщенні значно підвищиться, що призведе до утворенню грибка та цвілі.

5. В процесі експлуатації плити поступово усихають, що призводить до зменшення їхнього розміру. Через це між плитами можуть утворитися зазори.

6. Оздоблення будинку доведеться проводити в будь-якому випадку. Плити схильні до механічного впливу, і якщо їх пошкодити, вони швидко втратять свій естетичний зовнішній вигляд. Тому облицювальні процедури в цьому випадку обов'язкові.

Щоб будівництво вийшло надійним і довговічним, знадобиться враховувати особливості використання технології сіп панелей. До них можна віднести:

1. Вибір максимально якісних матеріалів. Тільки панелі високої якості зможуть витримати чинений на них тиск. Деякі виробники можуть використовувати клейову речовину поганої якості, що призведе до швидкого розклеювання конструкцій. Також неякісні матеріали можуть призвести до легкого запалення конструкції та виділення шкідливих речовин під час пожежі. Тому при виборі матеріалу потрібно віддавати перевагу перевіреному виробнику.

2. При виборі фундаменту, краще віддати перевагу гвинтовим палям або стрічковому моноліту. Це дозволить скоротити витрати на будівництво.

3. Спеціальна технологія виготовлення панелей забезпечує їм високу жорсткість. Завдяки цьому споруду будівлі можна виконувати в будь-яку пору року навіть за низьких температур. Будівля після будівництва не дає усадку та захищена від сезонних рухів ґрунту.

4. Особливу увагу необхідно приділити каркасу, який буде утримувати стіни. Для зовнішньої обробки краще використовувати товщі різновиди сіп конструкцій, для міжкімнатних перегородок підійдуть і звичайні панелі.

2.3. Теплоізоляція для енергозберігаючого будинку

Навіть побудований з урахуванням усіх архітектурних хитрощів будинок вимагає правильного утеплення, щоб бути повністю герметичним та не випускати тепло у навколишнє середовище.

Через стіни йде близько 40% тепла з будинку, тому їх утепленню приділяють особливу увагу. Найпоширеніший і найпростіший спосіб утеплення – організація багатошарової системи. Зовнішні стіни будинки обшиваються утеплювачем, в ролі якого часто виступає мінеральна, пінопласт або пінополістирол, зверху монтується армуюча сітка, а потім – базовий та основний шар штукатурки.

Більш дорога та прогресивна технологія – вентильований фасад.

Стіни будинку обшиваються плитами з мінеральної вати, а облицювальні панелі з каменю, металу або інших матеріалів монтуються на спеціальний каркас. Між шаром утеплювача та каркасом залишається невеликий зазор, який відіграє роль «теплової подушки», не дозволяє намокати теплоізоляції та підтримує оптимальні умови в житлі.

Крім того, щоб знизити тепловтрати через стіни, використовують ізолюючі склади в місцях примикання покрівлі, враховують майбутню усадку та зміну властивостей деяких матеріалів при підвищенні температури.

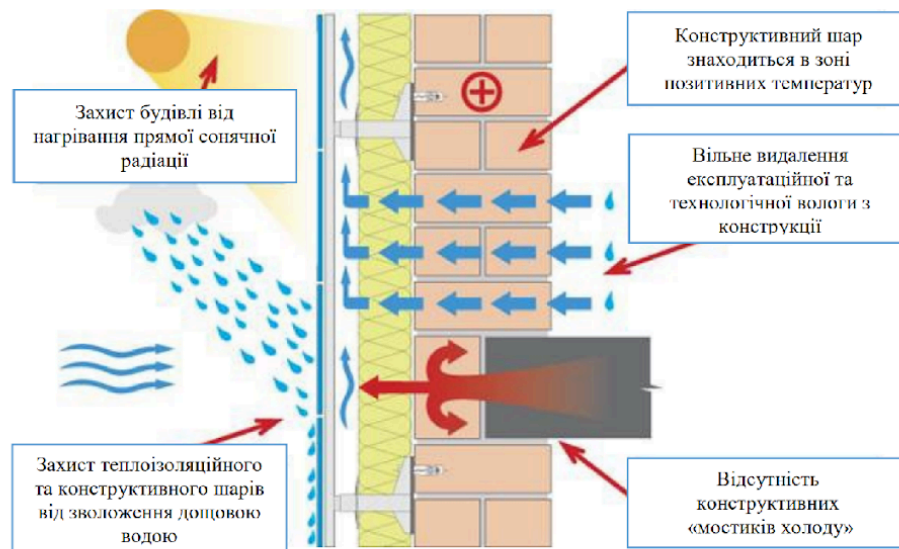


Рисунок 2.4 – Принцип роботи вентильованого фасаду

Через покрівлю йде близько 20 % тепла. Для утеплення даху використовують ті ж самі матеріали, що й для стін. Широко поширені на сьогоднішній день мінеральна вата та пінополістирол. Архітектори радять робити покрівельну теплоізоляцію не тоншою за 200 мм незалежно від типу матеріалу. Важливо розрахувати навантаження на фундамент, що несуть конструкції та покрівлю, аби не було порушено їх цілісність.

На вікна припадає 20 % тепловтрат будинку. Хоча сучасні склопакети кращі, а ніж старі дерев'яні вікна та захищають будинок від протягів та ізолюють приміщення від зовнішнього впливу, але вони не ідеальні. [14]

Більш прогресивним варіантом для енергозберігаючого будинку є використання селективного скла, яке працює за принципом земної атмосфери. Вони впускають короткохвильове випромінювання, але не випускають теплові промені, створюючи "парниковий ефект". Селективне скло буває І- і К-типу. На І-скла покриття наноситься у вакуумі вже на готовий матеріал. На К-скла покриття наносять в процесі виготовлення, використовуючи хімічну реакцію. І-скла вважають більш ефективними, тому що вони зберігають 90 % тепла, тоді як К-скла близько 70 %; [4].



Рисунок 2.5 – Принцип роботи селективного скла

Селективне скло з інертним газом максимально скорочує тепловтрати через вікна. Теплопровідність використовуваного інертного газу нижче, ніж повітря, тому будинок майже не втрачає через них тепло.

Через фундамент та підлогу першого поверху втрачається по 10 % теплоти. Підлогу утеплюють тими ж матеріалами, що і стіни, але можна використовувати інші варіанти: наливні теплоізоляційні суміші, пінобетон та газобетон, гранулобетон із рекордною теплопровідністю $0,1 \text{ Вт}/(\text{м}^{\circ}\text{C})$. Можливо утеплювати не підлогу, а стелю підвалу, якщо така передбачена проектом.

Фундамент краще утеплювати зовні, що допоможе захистити його не лише від промерзання, а й інших негативних чинників, зокрема, впливу ґрунтових вод, перепадів температур тощо. Для утеплення фундаменту використовують поліуретан, що напілюється, керамзит та пінопласт.

2.4. Рекуперація тепла

Тепло з дому йде не лише через стіни та покрівлю, а й через вентиляційну систему. Щоб зменшити витрати на опалення використовують припливно-витяжні вентиляції з рекуперацією.

Рекуператором називають теплообмінник, який вбудовується в систему вентиляції. Принцип його полягає в наступному. Нагріте повітря через вентиляційні канали виходить із кімнати, віддає своє тепло рекуператору, стикаючись з ним. Холодне свіже повітря з вулиці, проходячи крізь рекуператор, нагрівається, і надходить до будинку вже кімнатної температури. В результаті мешканці отримують чисте та свіже повітря, але не втрачають тепло.

Подібна система вентиляції може використовуватися разом з природною: повітря надходить до приміщення примусово, а виходити з допомогою природної тяги. Є ще один момент - повітрязабірна шафа може бути віднесена від будинку на 10 метрів, а повітропровід прокладений під землею на глибині промерзання. В цьому випадку ще до рекуператора влітку повітря охолоджуватиметься, а взимку – нагріватиметься за рахунок температури ґрунту.

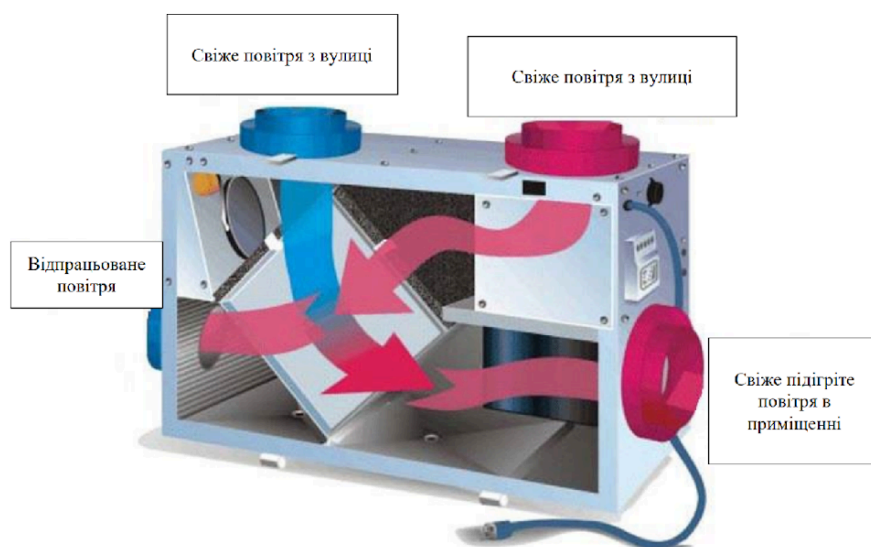


Рисунок 2.6 – Принцип роботи рекуператора

2.5. Розумний будинок

Щоб зробити життя комфортнішим і при цьому економити ресурси, можна забезпечити будинок розумними системами та технікою, завдяки яким вже сьогодні можливо:

- задавати температуру в кожній кімнаті;
- автоматично знижувати температуру в кімнаті, якщо в ній ні хто не мешкає;
- вмикати та вимикати світло залежно від присутності людини в приміщенні; - налаштовувати рівень освітленості;
- автоматично вмикати та вимикати вентиляцію залежно від стану повітря;
- автоматично відкривати та закривати вікна для надходження до будинку холодного або теплого повітря;
- автоматично відкривати та закривати жалюзі для створення необхідного рівня освітлення в приміщенні.



Рисунок 2.7 – Приклад систем, якими можна керувати за допомогою «розумного будинку»

2.6. Опалення та гаряче водопостачання

Найекономніший та екологічніший спосіб опалювати приміщення та підігрівати воду – це використовувати енергію сонця. Можливо це завдяки сонячним колекторам, встановленим на даху будинку. Такі пристрої легко під'єднуються до системи опалення та гарячого водопостачання будинку, а принцип їхньої роботи полягає в наступному. Система складається із самого колектора, теплообмінного контуру, бака-акумулятора та станції управління. В колекторі циркулює теплоносій (рідина), яка нагрівається за рахунок енергії сонця і через теплообмінник віддає тепло воді в баку-акумуляторі. Останній за рахунок гарної теплоізоляції здатний довго зберігати гарячу воду. В цій системі може бути встановлений нагрівач-дублер, який догріває воду до необхідної температури в разі похмурої погоди або недостатньої тривалості сонячного сяйва [8].

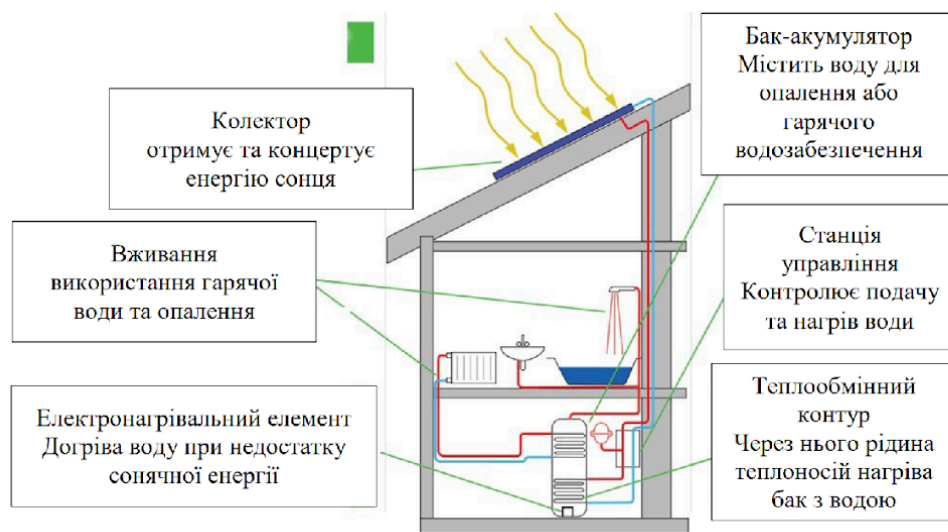


Рисунок 2.8 – Приклад роботи сонячного колектору

Колектори можуть бути плоскими та вакуумними. Плоскі являють собою коробку, закриту склом, всередині неї знаходиться шар з трубками, якими циркулює теплоносій. Такі колектори більш міцні, але на сьогодні витісняються більш практичними - вакуумними. Останні складаються з безлічі трубок, всередині яких знаходяться ще трубка або кілька з

теплоносієм. Між зовнішньою та внутрішньою трубками – вакуум, який служить утеплювачем. Вакуумні колектори ефективніші, навіть взимку та в похмуру погоду, ремонтпридатні. Термін служби колекторів близько 30 років і більше.

Теплові насоси використовують для опалення будинку тепло довкілля, зокрема, повітря, надр і навіть вторинне тепло, наприклад, від трубопроводу центрального опалення. Складаються такі пристрої з випарника, конденсатора, розширювального вентиля та компресора. Усі вони пов'язані замкнутим трубопроводом та функціонують на основі принципу Карно. Простіше кажучи, теплонасос подібний до роботи холодильника, тільки функціонує навпаки. Якщо у 80-х роках минулого століття теплові насоси були рідкістю і навіть розкішшю, то на сьогодні у Швеції, наприклад, 70 % будинків опалюються таким чином.

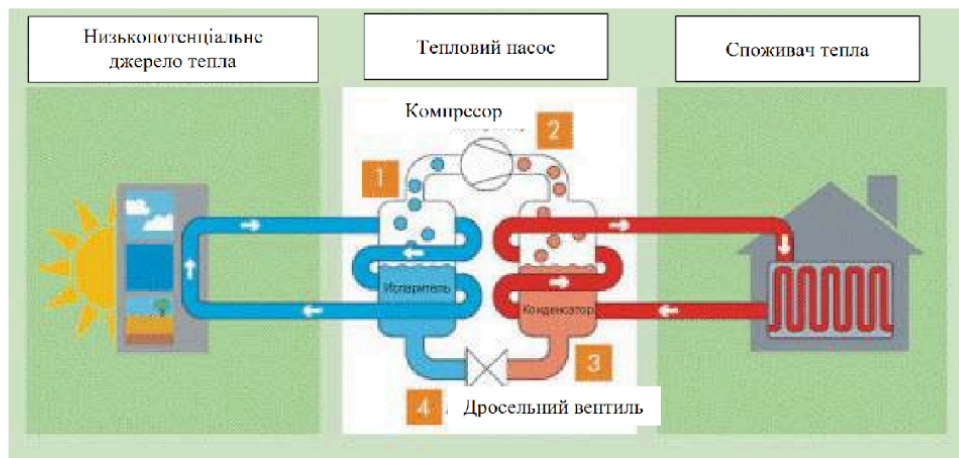


Рисунок 2.9 – Принцип роботи теплового насосу

Звичайні газові котли працюють за досить простим принципом і витрачають при цьому багато палива. У традиційних газових котлах після спалювання газу та нагрівання теплообмінника топкові гази випаровуються в димар, хоча несуть досить високий потенціал. Конденсаційні котли за рахунок другого теплообмінника відбирають теплоту у конденсованих парів повітря, за рахунок чого ККД установки може перевищувати навіть 100%, що вписується в концепцію енергозберігаючого будинку.

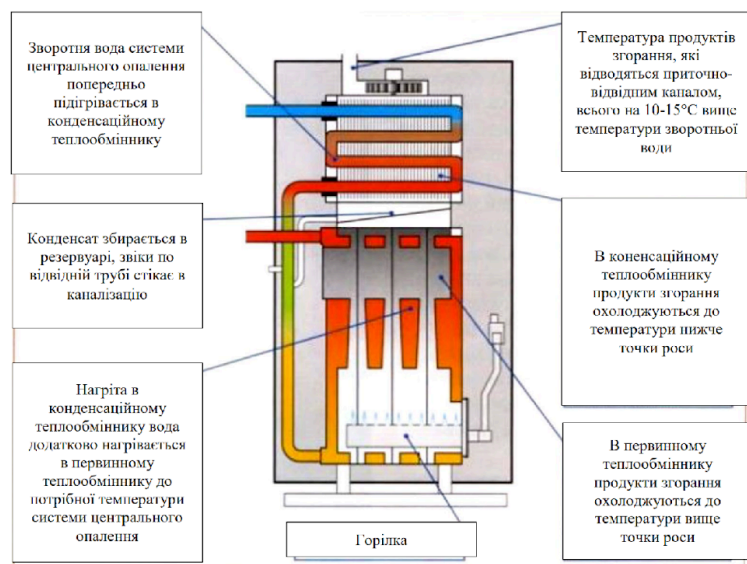


Рисунок 2.10 – Схема роботи конденсаційного котла із двома теплообмінниками

Якщо накопичується багато органічних відходів сільського господарства, то можна спорудити біореактор для отримання біогазу. В ньому біомаса завдяки анаеробним бактеріям переробляється, внаслідок чого утворюється біогаз, що складається на 60 % з метану, 35 % - вуглекислого газу та на 5 % інших домішок. Після процесу очищення він може використовуватись для опалення та гарячого водопостачання будинку. Перероблені відходи перетворюються на відмінне добриво, яке може використовуватися на полях та городах.

2.7. Додаткові джерела електроенергії

Енергозберігаючий будинок повинен використовувати електроенергію максимально економно і, бажано, отримувати її з поновлюваних джерел. На сьогоднішній день для цього реалізовано безліч технологій

Енергія вітру може перетворюватися на електрику не тільки великими вітряними установками, але й за допомогою компактних

«домашніх» вітряків. У вітряній місцевості такі установки здатні повністю забезпечувати електроенергією невеликий будинок, у регіонах з невисокою швидкістю вітру їх краще використовувати разом із сонячними батареями.

Сила вітру надає руху лопаті вітряка, які змушують обертатися ротор генератора електроенергії. Генератор виробляє змінний нестабільний струм, що випрямляється у контролері. В якому відбувається заряджання акумуляторів, які, у свою чергу, підключені до інверторів, де і йде перетворення постійної напруги в змінну, яка використовується споживачем.

Вітряки можуть бути з горизонтальною та вертикальною віссю обертання. За разових витрат вони надовго вирішують проблему енергонезалежності.

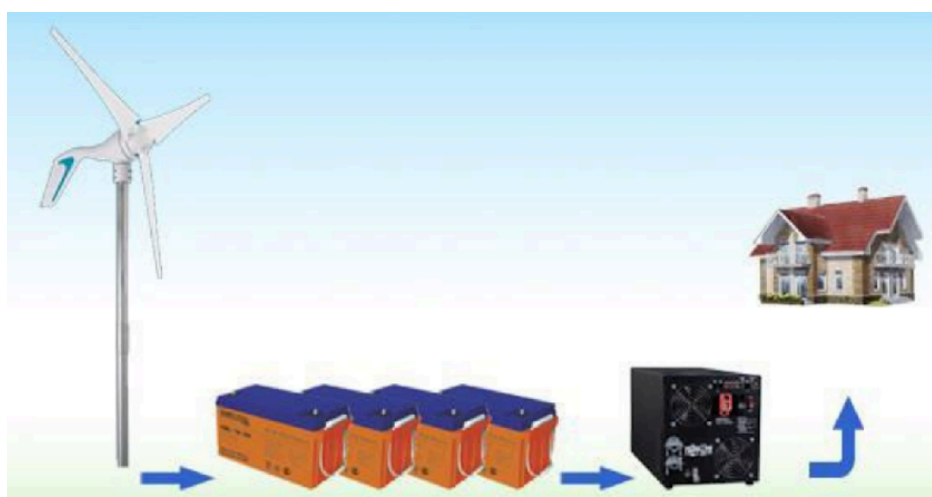


Рисунок 2.11 – Принцип роботи вітрогенератора

Використання сонячного світла для виробництва електроенергії не дуже поширено, але вже найближчим часом ситуація може різко змінитись. Принцип роботи сонячної батареї дуже простий: перетворення сонячного світла на електрику використовується р-п перехід.

Спрямований рух електронів, що провокується сонячною енергією, і є електрикою.

Конструкції та матеріали постійно вдосконалюються, а кількість електроенергії залежить від освітленості. В даний час найбільшою

популярністю користуються різні модифікації кремнієвих сонячних батарей, але альтернативою їм найближчим часом можуть стати нові полімерні плівкові батареї, які поки що перебувають у стадії розвитку.

Отриману електрику потрібно вміти витратити з розумом. Для цього стануть у нагоді наступні рішення [33]:

- використання світлодіодних ламп, які вдвічі економніші люмінесцентних і майже в 10 разів економніших за звичайні лампи накаливання;

- використання енергозберігаючої техніки класу А, А+, А++ тощо. Хоча спочатку вона трохи дорожча, ніж ті ж пристрої з більш високим енергоспоживанням, але у майбутньому економія буде значною;

- використання датчиків присутності та руху, щоб світло в кімнатах не горіло даремно, та інших розумних систем, про які було сказано вище.

Якщо довелося використовувати електрику для опалення, то звичайні радіатори краще замінити більш досконаліми системами. Це можуть бути теплові панелі, які витрачають вдвічі менше електроенергії, ніж традиційні системи, що досягається за рахунок використання теплоакumuлюючого покриття. Подібну економію забезпечують і монолітні кварцові модулі, принцип дії яких ґрунтуються на здатності кварцового піску накопичувати та утримувати тепло. Ще один варіант - плівкові променисті електричні нагрівники. Вони кріпляться на стелю, а інфрачервоне випромінювання нагріває підлогу та предмети в кімнаті, за рахунок чого досягається оптимальний мікроклімат приміщення та економія електрики.

2.8. Водопостачання та каналізація

В ідеалі, енергозберігаючий будинок повинен отримувати воду зі свердловини, розташованої під житлом. Але коли вода залягає на більших глибинах або якість її не відповідає вимогам, від такого рішення доводиться відмовлятися.

Побутові стоки краще пропускати через рекуператор та відбирати у них теплоту. Для очищення стічних вод можна використовувати септик, де перетворення відбуватиметься за рахунок анаеробних бактерій. Отриманий компост є гарним добривом.

Для економії води непогано б зменшити обсяг води, що зливається.

Крім того, можна втілити в життя систему, коли вода, яка використовується в ванній та раковині, застосовується для зливу в унітазі.

Розділ 3

Методи оцінювання енергетичної ефективності у будівлях

3.1. Особливості визначення рівня енергоефективності будівель

Рівень ефективності використання енергоресурсів будівлі характеризується класом енергоефективності. Для визначення класу енергоефективності в Україні використовують дві основні методики: ДБН В .2.6-31:2016 «Теплова ізоляція будівель» та Наказ Мінрегіону від 11.07.2018 № 169 «Про затвердження Методики визначення енергетичної ефективності будівель».

ДБН В .2.6-31:2016 встановлюють мінімальні вимоги до теплотехнічних показників конструкцій теплоізоляційної оболонки будівель та до енергетичних характеристик будівель або відокремлених їх частин, що визначені на підставі економічно обґрунтованого рівня енергетичної ефективності будівлі з урахуванням очікуваного життєвого її циклу за умови задоволення побутових потреб людини та створення оптимальних мікрокліматичних умов для її перебування та/або проживання у приміщеннях такої будівлі. За наявності економічного обґрунтування та/або за технічним завданням теплотехнічні показники та енергетичні характеристики будівлі, що проектується, можуть перевищувати нормативні значення

Положення цих норм встановлюють загальні вимоги до забезпечення енергоефективності будівель з урахуванням:

- місцевих кліматичних умов;
- функціонального призначення, типу, архітектурно-планувального та конструктивного рішення будівлі;
- геометричних, теплотехнічних та питомих енергопотреб будівлі;
- нормативних санітарно-гігієнічних та мікрокліматичних умов приміщень будівлі;

- довговічності (надійності) теплоізоляційної оболонки (огороджувальних конструкцій) під час експлуатації будівлі.

При застосуванні системного принципу проектування за вимогами до енергоефективності будівлі вимоги до показників мінімально допустимої температури внутрішньої поверхні огороджувальних конструкцій, температурного перепаду між температурою внутрішнього повітря і приведеною температурою внутрішньої поверхні огороджувальної конструкції, вологісного режиму, повітропроникності огороджувальної конструкції, показників теплостійкості перевіряються обов'язково.

Показники енергетичної ефективності об'єктів будівництва та будівель що експлуатуються визначаються розрахунковим методом. Вихідні дані для розрахунків показників енергетичної ефективності будівель отримують на підставі проектної документації на будівлю, що підлягає енергетичній сертифікації.

У разі відсутності проектної документації у необхідному для проведення розрахунків обсязі вихідні дані визначають на підставі проведення технічних обстежень будівлі, що підлягає енергетичній сертифікації.

Під час проведення технічних обстежень огороджувальних конструкцій будівлі встановлюють:

- конструктивні рішення всіх типів огороджувальних конструкцій будівлі - стінових огороджувальних конструкцій, конструкцій покриття; конструкцій перекриття, світлопрозорих огороджувальних конструкцій, зовнішніх дверей;

- уточнюють загальні геометричні параметри будівлі та встановлюють фактичні значення кондиціонованої (опалювальної) площі та кондиціонованого об'єму та об'єму для вентиляції будівлі;

- визначають наявність приміщень з різним функціональним призначенням у складі будівлі та встановлюють фактичні значення їх

кондиціонованої площі та кондиціонованого об'єму та об'єму для вентиляції.

За результатами вимірювань встановлюють фактичні значення наступних показників:

- загальна площа з і площа за сторонами світу відповідних зовнішніх огорожувальних конструкцій будинку;
- кондиціонована (опалювальна) площа;
- кондиціонований (опалюваний) об'єм;
- об'єм призначений для вентиляції;
- коефіцієнт скління фасадів будинку;
- показник компактності будинку;

Під час проведення обстежень інженерних систем будівлі для системи опалення встановлюють:

- вид системи опалення (гідравлічна, електрична, повітряна);
- гідравлічне налагодження системи – двотрубна чи однострубна, однострубна з постійним гідравлічним режимом, однострубна із змінним гідравлічним режимом), тощо;
- тип регулювання температури повітря приміщення, температурний напір, специфічні тепловтрати через зовнішні огороження;
- специфічні тепловтрати через прилеглі до опалювальних панелей поверхні;
- тип системи опалення - підлогова, стінова, стельова;
- електроопалення – пряме, акумуляційне, акумуляційне з регулюванням, конфігурацію повітряного опалення.

Для системи охолодження – тип вентилятора, тип компресора, холодоагент, наявність системи попереднього охолодження, наявність доводчиків, клас системи управління.

Для системи гарячого водопостачання визначається тип системи ГВП - без циркуляційного контуру, зі статично збалансованими (шайбами, ручними вентилями, діаметрами трубопроводів) циркуляційними стояками

(об'єднаними в секційні вузли), з автоматично збалансованими за температурою води циркуляційними стояками (при однаковій кількості водорозбірних та циркуляційних стояків), з автоматично збалансованими за температурою води водорозбірними стояками (перед секційними перемичками), технічні параметри розподілення - кількість секцій, довжина трубопроводу, лінійний коефіцієнт теплопередачі трубопроводів, середня температура гарячої води у секції трубопроводу; місячний або річний_період користування, кількість робочих циклів на день, період циркуляції, водорозбір.

Також обстеженню підлягає система вентиляції з визначенням її виду – збалансована, централізована, інша; визначення питомої потужності вентиляторів, наявності систем осушення зволоження повітря, нічного охолодження, рекуперації тепла тощо.

Для системи освітлення встановлюється питома потужність встановленого штучного освітлення будівлі.

3.2. Основні нормативні вимоги щодо рівня енергетичної ефективності будівель

З 1 липня 2019 року Законом України «Про енергетичну ефективність будівель» запроваджена обов'язкова сертифікація енергетичної ефективності будівлі. [11]

Статтею 7 Закону визначено наступні обов'язкові об'єкти сертифікації:

а) об'єкти будівництва (нового будівництва, реконструкції, капітального ремонту), що за класом наслідків (відповідальності) належать до об'єктів із середніми (СС2) та значними (СС3) наслідками, що визначаються відповідно до Закону України «Про регулювання містобудівної діяльності»;

б) будівлі державної власності з опалюваною площею понад 250 квадратних метрів, які часто відвідують громадяни і у всіх приміщеннях яких розташовані органи державної влади;

в) будівлі з опалюваною площею понад 250 квадратних метрів, у всіх приміщеннях яких розташовані органи місцевого самоврядування (у разі здійснення ними термомодернізації таких будівель);

г) будівлі, в яких здійснюється термомодернізація, на яку надається державна підтримка та яка має наслідком досягнення класу енергетичної ефективності будівлі не нижче мінімальних вимог до енергетичної ефективності будівлі. [11]

Частиною другою статті 2 Закону та постановою Кабінету Міністрів України від 11.04.2018 № 265 визначено перелік будівель, до яких не застосовуються мінімальні вимоги енергетичної ефективності будівель та які не підлягають сертифікації.

Сьогодні в Україні дуже актуальним є питання про енергетичну незалежність країни. Зміни в енергетичній політиці країни відбуваються за рахунок переходу від застарілої системи до нової моделі управління.

Енергетична стратегія України на період до 2035 року «Безпека, енергоефективність, конкурентоспроможність», що схвалена розпорядженням кабінету Міністрів України від 18.09.2017 року № 605-р, посилює енергоефективні вимоги до будівель, запроваджує механізми стимулювання енергоефективності в житловому секторі та підтримує ініціативи з підвищення енергоефективності будівель.

Для підвищення енергоефективності державних і муніципальних будівель вкрай важливо реалізувати заходи щодо сертифікації енергоефективності будівель органів виконавчої влади, місцевого самоврядування та бюджетних установ.

У результаті, кожна бюджетна установа зможе перевірити реальну енергоефективність будівлі, обсяг споживання енергоресурсів та отримати рекомендації щодо підвищення енергоефективності.

Теплова модернізація і використання енергозберігаючих технологій знизять експлуатаційні витрати на утримання будівлі та забезпечать комфортні умови проживання. Отже, вивільнені кошти можуть бути використані для фінансування інших соціально значущих проєктів.[11]

Згідно із законом сертифікація енергоефективності - це вид енергоаудиту, в ході якого аналізується інформація про фактичні або проєктні характеристики огорожувальних конструкцій та інженерних систем, оцінюється відповідність розрахованого рівня енергоефективності мінімальним вимогам енергоефективності побудованих будівель. економічність будівель з урахуванням місцевих кліматичних умов технічно і економічно виправдана.

Енергетичний сертифікат надає інформацію про те скільки енергоресурсів витрачається, який технічний стан будівлі, які енергоефективні заходи доцільно впроваджувати.

За результатами сертифікації енергетичної ефективності складається енергетичний сертифікат. Інформація, зазначена в енергетичному сертифікаті будівлі, стосується всіх житлових та нежитлових приміщень цієї будівлі.

Строк дії енергетичного сертифіката будівлі становить 10 років. Енергетичний сертифікат будівлі вважається таким, що втратив чинність до закінчення-встановленого строку дії, у разі складення для такої будівлі нового енергетичного сертифіката.[11]

Витяг з енергетичного сертифіката будівлі, що містить інформацію про клас та інші показники енергетичної ефективності будівлі, розміщується у доступному для ознайомлення громадян місці у будівлі, яку часто відвідують громадяни та сертифікація енергетичної ефективності якої є обов'язковою відповідно до Закону.[11]

Вимоги до форми та змісту витягу з енергетичного сертифіката, який розміщується у доступному для ознайомлення громадян місці,

встановлюються в порядку проведення сертифікації енергетичної ефективності.

Енергетичні сертифікати бюджетних установ розміщуються також на їх офіційних веб-сайтах (за наявності сайту) у разі, якщо сертифікація енергетичної ефективності такої будівлі є обов'язковою відповідно до Закону.

Сертифікація енергетичної ефективності будівель, що не підлягають обов'язковій сертифікації, здійснюється за рішенням власника (співвласників).

Сертифікація енергетичної ефективності будівлі здійснюється на договірних засадах за домовленістю сторін на замовлення та за рахунок власника (співвласників) будівлі. Граничні значення питомого енергоспоживання наведені в таблиці 3.1. [11]

Статтею 9 Закону визначені наступні істотні умови договору сертифікації енергетичної ефективності:

- а) строк та вартість сертифікації енергетичної ефективності;
- б) порядок отримання результатів сертифікації;
- в) порядок визначення та компенсації шкоди, яка може бути заподіяна енергоаудитором внаслідок неякісного та/або несвоєчасного виконання покладених на нього функцій і обов'язків або у разі надання недостовірних результатів сертифікації;
- г) умова щодо звільнення від відповідальності енергоаудитора у разі надання замовником сертифікації енергетичної ефективності недостовірних даних, що спричинили спотворення результатів такої сертифікації.

Сертифікацію енергетичної ефективності має право здійснювати виключно атестований енергоаудитор, який є незалежним, не має конфлікту інтересів та прямо чи опосередковано не заінтересований у результаті сертифікації. [11]

Порядок проведення сертифікації енергетичної ефективності будівель встановлений наказом Мінрегіону від 11.07.2018 №172.[12]

Таблиця 3.1 – Граничні значення питомого енергоспоживання

Вид будівлі (еталонні будівлі)	Граничне значення питомого енергоспоживання будівель при опаленні та охолодженні, E _{Pr} , кВт×год/м ² [кВт×год/м ³], для температурної зони України	
	I	II
Житлові будівлі поверховістю:		
від 1 до 3	120	110
від 4 до 9	85	75
від 10 до 16	75	70
17 і більше	70	65
Громадські будівлі:		
від 1 до 3	$[38\Lambda_{bci} + 15]$	$[34\Lambda_{bci} + 13]$
від 4 до 9	[30]	[25]
10 і більше	[25]	[20]
Інші громадські будівлі:		
Будівлі готелів	$57\Lambda_{bci} + 60$	$50\Lambda_{bci} + 55$
Будівлі навчальних закладів	$[55\Lambda_{bci} + 24]$	$[52\Lambda_{bci} + 23]$
Будівлі дитячих дошкільних закладів	[32]	[28]
Будівлі закладів охорони здоров'я	[30]	[26]
Будівлі підприємств торгівлі	$[33\Lambda_{bci} + 17]$	$[26\Lambda_{bci} + 15]$

З метою систематизації даних про енергетичну ефективність будівель та моніторингу за дотриманням законодавства у сфері забезпечення енергетичної ефективності будівель Держенергоефективності веде та оприлюднює на офіційному веб-сайті базу даних енергетичних сертифікатів (далі - база даних сертифікатів).

Енергоаудитор протягом 10 робочих днів з дня складання енергетичного сертифіката надсилає в електронній формі енергетичний сертифікат та вихідні дані, що використовувалися під час його складання до Агентства.[12]

В свою чергу, Агентство вносить дані енергетичних сертифікатів до бази даних сертифікатів протягом п'яти робочих днів з дня їх надходження від енергоаудиторів. Доступ до бази даних сертифікатів є безоплатним.

3.3. Особливості визначення доцільності впровадження заходів з підвищення енергетичної ефективності в будівлях комунальної сфери

В основу рекомендацій щодо розрахунку ефектів від проведення заходів з енергозбереження закладені наступні принципи:

- максимального спрощення розрахунків з метою отримання інтегральних оцінок передбачуваних ефектів;
- використання реального досвіду (розрахунково-експериментального методу) впроваджених проектів та заходів з енергозбереження в будівлях різного призначення і різних регіонів України;
- консервативного підходу до оцінки невизначеності, спотворень вихідних даних.

Відповідно, алгоритм методики оцінки і розрахунку енергетичних ефектів реалізації заходів з енергозбереження складається з наступних основних етапів (рисунок 3.1):

- аналіз об'єкта і передумов вибору необхідних заходів і заходів з енергозбереження ідентифікація типу обраних заходів, їх набору (модернізація інженерних систем, поновлювані і вторинні ресурси, організаційні заходи);
- оцінка вихідних умов, ідентифікація та облік впливають чинників: незалежних змінних і (або) статичних факторів (в тому числі за допомогою сучасних вимірювальних методів);
- розрахункова оцінка орієнтовною економії енергетичних ресурсів в результаті реалізації обраних заходів;

- за необхідності проводиться уточнення (коригування заходів) набору заходів, визначення техніко-економічних параметрів заходів, занесення їх в енергетичну декларацію об'єкта.

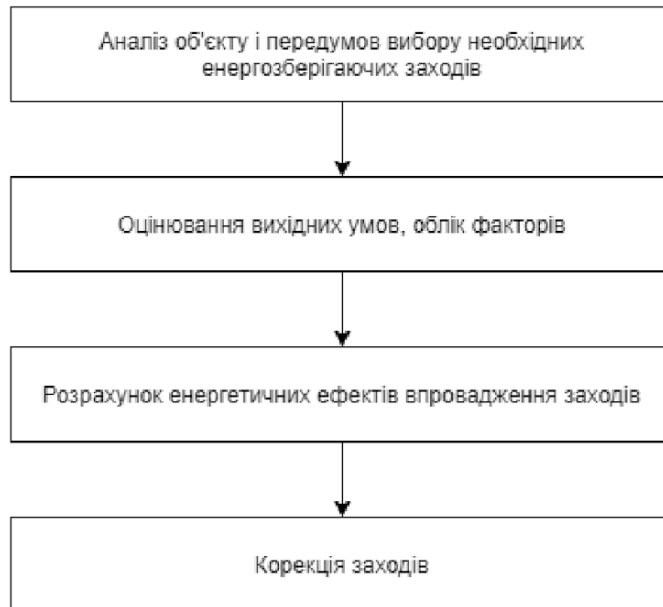


Рисунок 3.1 – Алгоритм методики оцінювання реалізації заходів

Етап 1 – аналіз передумов вибору заходів по енергозбереженню. На даному етапі здійснюється аналіз вихідного стану об'єкта (будівлі) з точки зору попереднього підбору комплексу заходів щодо енергозбереження та підвищення енергетичної ефективності. Відзначимо, що для більшості бюджетних об'єктів доцільно починати аналіз саме з можливостей "пасивного" енергозбереження. Основні складності точного розрахунку економії енергоресурсів складаються в необхідності мати адекватні вихідні дані і точні показники енергоспоживання майбутнього проекту. Це методичні складності різного типу і не переборні ніяким універсальним методом. Тому для розуміння особливостей спотворень вихідних даних споживання енергоресурсів до проведення заходів (від клімату, стану об'єкта і його інженерних систем, типу будівель і ін.) доцільно використовувати різні джерела інформації:

- показники приладів обліку води, тепла, електроенергії за останні кілька років;

- статистичні бази даних по схожим об'єктам (системи моніторингу, проекти, нормативи споживання ресурсів);

- результати енергетичних обстежень та енергетичний паспорт бюджетного об'єкту.

Оскільки питоме споживання теплової енергії на опалення будівлі складно відразу визначити ключовий фактор перевитрати, необхідно порівняти термічні опори огорожень з необхідними для даного клімату, або скласти спрощений тепловий баланс будівлі.

Крім нормативів, встановлених єдиними державними стандартами, можуть бути затверджені регіональні, муніципальні нормативи споживання, нормативи відповідно до класів енергоефективності будівель.

Відповідно, якщо будівля має зовсім недостатній тепловий захист, її потрібно посилити, тобто провести роботи з утеплення фасадів, модернізації або заміни вікон. Якщо будівля має достатню теплову інерцію і теплозахист, то необхідно звернути увагу на стан інженерних систем подачі тепла: тепловий ввід, стан розподільних стояків, опалювальних приладів, систем регулювання теплоспоживання. Найчастіше буває досить налагодити існуюче обладнання, замінивши найбільш зношені його елементи, щоб знизити втрати води, тепла, і підвищити енергетичну ефективність будівлі.

Після вибору комплексу необхідних заходів необхідно ідентифікувати їх в тому числі по виду отримуваних ефектів.

- модернізація (заміна) обладнання, елементів, інженерних систем будівель (що призводить до скорочення непродуктивних втрат енергоресурсів);

- використання різних відходів, вторинних і побічних енергоресурсів (що також веде до скорочення використання зовнішніх енергоресурсів);

- нетехнічні способи зниження потреб в енергоресурсах, управління попитом, пропаганда енерго- і ресурсозбереження.

Етап 2 – оцінювання вихідних умов, облік факторів. На даному етапі проводиться оцінка вихідних умов, ідентифікація та облік факторів, що впливають: незалежних змінних і (або) статичних чинників. Проводиться загальний аналіз енергоспоживання будівлею за останні три роки, з точки зору виокремлення базового тренда, можливих флуктуацій, оцінка та пріоретизації факторів, що впливають (таблиця 3.2).

Для формування базового тренда використовуються показання приладів обліку тепла, води, електричної енергії. Наявність істотних флуктуацій електро-, тепло або водоспоживання необхідно ілюструвати тими або іншими впливають факторами.

Для формування базового тренда використовуються показання приладів обліку тепла, води, електричної енергії. Наявність істотних флуктуацій електро-, тепло або водоспоживання необхідно ілюструвати тими або іншими впливають факторами.

Необхідно відзначити, що на сумарне річне споживання різних видів енергії будівлею впливають як безпосередня потужність енергоустановок, так і тривалість їх роботи.

При цьому флуктуації (і економія енергоресурсів) можуть бути отримані як за рахунок зміни потужних параметрів, так і шляхом скорочення (збільшення) тривалості їх роботи протягом року.

Таблиця 3.2 – Аналіз енергоспоживання будівлі

Кроки та етапи робіт	Зміст
Складання графіків споживання тепла, води, електроенергії будівлею за останні три роки	Формування базових трендів споживання основних енергоресурсів на основі первинних даних
Виявлення флуктуацій теплоспоживання будівлею	Статичні фактори: висновок або додавання опалювальних елементів, ремонтні роботи та реконструкція. Динамічні чинники: варіації градусосуток опалювального періоду
Виявлення флуктуацій електроспоживання будівлею	Статичні фактори: заміна, знос обладнання. Динамічні чинники: зміна чисельності відвідувачів, продуктивності об'єкта

Виявлення флуктуацій водоспоживання будівлею	Статичні фактори: заміна, знос обладнання. Динамічні чинники: зміна чисельності відвідувачів, продуктивності об'єкта
--	---

Етап 3 – розрахунок енергетичних ефектів впровадження заходів. Розрахунок енергетичних ефектів від реалізації заходів з енергозбереження може здійснюватися кількома методами:

- з використанням даних про отримані ефекти при реалізації схожих проектів і заходів на інших об'єктах;
- за допомогою балансових методик, питомих показників та інших фізичних закономірностей;
- по вимірювальним методикам.

Перший спосіб доступний для широкого застосування, другий застосовується в основному фахівцями при розрахунку проектів і підборі необхідних заходів, третій більше застосуємо для енергосервісних компаній, яким необхідний точний розрахунок економії енергії.

Точний вибір параметрів ефективності перспективних проектів з енергозбереження, як правило, неможливий, оскільки завжди є ризики зниження розрахункових показників у зв'язку з неякісним монтажем, відсутністю додаткових (компліментарних) заходів, неоптимальними режимами експлуатації. Тому в якості умовного маркера майбутньої розрахункової ефективності рекомендується вибирати середні показники реалізованих проектів та заходів в реальних умовах експлуатації.

При цьому з метою отримання гарантованих ефектів рекомендується вибирати середні, найбільш консервативні значення з наведених діапазонів підвищення ефективності. В умовах, коли немає впевненості в реалізації доповнюють (компліментарних) заходів, рекомендується використовувати ще більш консервативне значення нижньої межі діапазону фактично отриманої економії енергоресурсів.

Етап 4 – корекція заходів. На даному етапі необхідно провести уточнення (коригування) техніко-економічних параметрів обраних заходів з урахуванням фактичних відомостей.

Аналіз відомостей дозволяє зробити висновки про фактичну ефективності функціонування, як всієї будівлі в цілому, так і її окремих елементів (Огороджувальних конструкцій), встановленого обладнання систем тепло-, електро- і водоспоживання, приладів комерційного і технічного обліку енергоресурсів. Дана інформація сприяє виявленню можливих причин нераціонального енерговикористання, визначення місць і джерел перевитрати енергоресурсів.

За результатами аналізу визначається перелік пріоритетних енергозберігаючих заходів, що дозволяють отримати максимальний економічний ефект при мінімальних терміни окупності і уточнюються їх розрахункові техніко-економічні показники.

Для розрахунку економічного ефекту заходів з енергозбереження необхідно дотримуватися наступної послідовності: - визначення економії в натуральному вираженні; - визначення економії в грошовому вираженні; - визначення інших можливих ефектів.

При цьому необхідно зробити застереження, що економічні ефекти набагато складніше оцінюються, ніж фінансові, а крім економічних, є цілий ряд інших. Власники і керівники, тим більше, в разі бюджетних установ або об'єктів нерухомості, не можуть при прийнятті рішень обмежуватися тільки показниками повернення інвестицій або економічної доцільності.

В цілому ряді випадків (виконання вимог СнІП і інших регулятивних документів, розпоряджень наглядових органів, для забезпечення безпеки і комфорту перебування і т.п.) заходи не принесуть прямого енергозберігаючого ефекту і, навпаки, можуть спричинити за собою лише «відтоки» грошових коштів.

Однак техніко-економічні показники важливо розраховувати в умовах необхідності економії і без того обмежених власних фінансових ресурсів, а також з метою економії коштів, що виділяються на фінансування установ бюджетами різних рівнів.

Розділ 4

Результати програм і заходів з впровадження енергоефективних технологій

Впровадження енергоефективних технологій в місті Дніпро має велике значення як для розвитку економіки регіону, так і для зниження техногенного навантаження на навколишнє середовище.

Серед заходів, які запроваджено, або планують реалізувати, варто відзначити: Утеплення будівель та енергоефективність:

- Впровадження стандартів енергоефективності для нових будівель.
- Програми субсидування або пільги для власників будівель, які використовують енергоефективні технології, такі як утеплення та заміна вікон.

Використання відновлюваних джерел енергії:

- Розвиток сонячної енергії, енергії вітру та інших альтернативних джерел енергії.
- Заохочення установки сонячних панелей в громадських і приватних будівлях.

Системи енергозбереження та моніторингу:

- Впровадження сучасних систем управління будівлями для оптимізації енергоспоживання.
- Установка інтелектуальних лічильників для моніторингу та управління енергоспоживанням.

Система електротранспорту:

- Розвиток інфраструктури для станцій зарядки електромобілів.
- Стимулювання використання електротранспорту через пільги та знижки. Інформаційні та освітні заходи:
- Заохочення мешканців приймати енергоефективні звички.

- Навчання та інформування спільноти про переваги використання енергоефективних технологій.

Партнерство з бізнесом:

- Залучення бізнес-структур до інвестування в енергоефективність.
- Створення умов для участі бізнесу в програмах підтримки.

4.1. Реалізація Проекту з підвищення енергоефективності об'єктів бюджетної сфери

Дніпро вперше в Україні впроваджує значущий Проект з підвищення енергоефективності об'єктів бюджетної сфери. Ініціатива охоплює утеплення стін і підвалів, заміну дерев'яних вікон на енергоефективні альтернативи, а також встановлення індивідуальних теплових пунктів та лічильників, які дозволяють здійснювати онлайн-моніторинг споживання енергії.

Цей проект, що реалізується в муніципалітетах, передбачає скорочення енергоспоживання будівель на 30-35%. Відновлення кредитів Європейського банку реконструкції та розвитку буде забезпечено завдяки зменшенню витрат на енергоносії. [25]

Перший етап проекту фінансується за рахунок кредиту ЄБРР у розмірі 100 000 000 євро та гранту ESP Fund у розмірі 25 000 000 євро. Роботи з термомодернізації вже пройшли у 84 освітніх закладах, включаючи 41 школу та 43 дитячих садочки. Зокрема, 43 заклади пройшли комплексну термомодернізацію, а у 38 були впроваджені інженерні рішення.

Фази 3-4 інвестиційного проекту будуть фінансуватися наступним чином:

- Кредитні кошти у розмірі 250 000 000 євро;
- Інвестиційні гранти на суму 550 000 000 євро;
- Інвестиційні гранти на суму 550 000 000 євро;

- 25 000 000 євро з міського бюджету.

Ці фінансові ресурси спрямуються на термомодернізацію 98 бюджетних установ та закладів у місті Дніпро, зокрема 66 дитячих садків, 28 шкіл та 4 медичних закладів. До прикладів успішної модернізації входить дитячий садок № 232 на вулиці Авіаційна, 10. Тут було проведено утеплення фасаду та даху мінеральною ватою, замінено вікна на енергоефективні та встановлено індивідуальні теплові пункти. Завдяки цим заходам температура в приміщеннях тепер є комфортною.

Наприклад, дитячий садок № 232, який вже взяв участь у першому етапі, зафіксував економію енергії на рівні 40% за один рік, що дорівнює 1,2 млн грн в грошовому еквіваленті. Роботи з термомодернізації також успішно завершилися в дитячому садку № 340 на вулиці Фабрично-заводська, 23-А, де виконано утеплення стін мінеральною ватою, заміну вікон та дверей, а також встановлено автоматичний тепловий пункт.

В загальноосвітніх школах № 12, 46, 73, 97, 102, 112, 135, 140, та навчально-виховному комплексі № 66, проведено капітальний ремонт будівель та благоустрій територій. Також відремонтовано актові зали та тепломережу в загальноосвітній школі № 89 та дитячих садках №№ 40, 368, та 391. Крім того, капітальний ремонт також охопив загальноосвітні школи № 7, 15, 54, НВК № 106, ЗОШ № 105, 124, та ДНЗ № 200, де були повністю відновлені актові зали та тепломережа [26]

4.2. Результати впровадження енергоефективних заходів у житлово-комунальній сфері

Енергозберігаючий шлях розвитку житлово-комунальної (побутової) енергетики має величезний потенціал, оскільки споживає значні об'єми палива, а витрати на заходи з енергозбереження порівняно невисокі [17].

Муніципалітет також реалізує програму, спрямовану на надання фінансової підтримки власникам ОСББ, житлово-будівельних кооперативів та одно- або двоквартирних будинків для проведення заходів з енергоефективності, відомих як "енергоефективні будинки". Згідно з цією програмою, до 30% суми "теплого" кредиту реалізовано відшкодовано, щоб сприяти мешканцям у зекономленні коштів на утеплення своїх будинків.

Механізм реалізації програми передбачає, що міський бюджет компенсує 30% тіла кредиту, але не більше 150 000 грн, від суми кредитних коштів, які використовуються для придбання енергоефективного обладнання та матеріалів, вирішенням мешканців багатоквартирного будинку.

Проект реалізується вже другий рік поспіль, і 2021 року на його підтримку виділено 3 мільйони гривень з міського бюджету. Наразі муніципалітет Дніпра уклав угоди з ПриватБанком (2,06 млн грн), Ощадбанком (190 тис. грн) та Укргазбанком (200 тис. грн) щодо компенсації "теплих" кредитів. У 2020 році цією програмою вже скористалися 12 об'єднань співвласників багатоквартирних будинків, отримавши загальну суму кредитів у розмірі 1 219 957 000 гривень. Частина отриманих коштів вони витратили на придбання енергоефективного обладнання та матеріалів, таких як світлопрозорі конструкції, лічильники води та теплової енергії, обладнання для модернізації систем освітлення та матеріали для утеплення зовнішніх стін, підвалів, горищ і фундаментів.

Крім того, згідно з рішенням міської влади від 24.04.2019 № 9/44 затверджено Програму допомоги співвласникам багатоквартирних будинків, що розроблена згідно з Законом України «Про місцеве самоврядування в Україні». Ця програма спрямована на створення сприятливого середовища для мешканців Дніпра. З метою збереження житлового фонду міста та покращення умов проживання мешканців у будинках, що перебувають у незадовільному технічному стані, в умовах,

коли мешканці відчувають великі труднощі через низьку платоспроможність та високу вартість ремонту, а також з метою покращення стану житлового фонду та подальшого проведення комплексних обстежень окремих об'єктів і виконання ремонтних робіт у будинках, пропонується створити механізм підтримки.

Депутати міської ради підтримали ініціативу про відключення будівель від системи центрального опалення, що встановлюється після встановлення індивідуального опалення (рішення № 67/8 від 23 червня 2021 року та № 110/9 від 28 липня 2021 року). За цими рішеннями планується перевести 1 056 квартир на індивідуальне опалення протягом одного-двох років. Серед них 52 будинки, в яких внутрішньобудинкові котельні потребують капітального ремонту, оскільки вони вже вичерпали свій термін експлуатації.

Згідно з новими будівельними нормами, такі котельні повинні бути перенесені з будівель, що потребують значних інвестицій. Однією з причин цього рішення є застарілість котельні, яка вимагає значних ресурсів для її утримання та споживає газ. У міському бюджеті кожен рік виділяються кошти для погашення боргу перед Нафтогазом, який утворився через несплату мешканцями Дніпра за послуги з газопостачання. Приблизно цей борг становить 1 мільярд гривень. Реалізація програми переведення на індивідуальне опалення дозволить скоротити субсидії на оплату газу та заохочуватиме мешканців працювати над енергоефективністю.

Додатково, ще 1054 оселі, які проживають в будинках від одного до трьох поверхів, також знаходяться під впливом нових рішень. Мешканці цих будинків оплачують вищі рахунки за тепло, порівняно з багатоповерховими будинками. Встановлення індивідуального опалення для цих будинків дозволить зменшити їхні витрати на тепло, а також підвищить енергоефективність і зробить оплату послуг більш пристосованою до фінансових можливостей мешканців.

Відповідно до прийнятих рішень в Дніпрі, всі мешканці, незалежно від наявності боргів за теплопостачання, можуть отримати дозвіл на встановлення індивідуального опалення та проектну документацію. Ті, хто регулярно сплачують за послуги теплопостачання без заборгованості, отримають компенсацію витрат на встановлення індивідуального опалення.

4.3. Впровадження сонячної енергетики

Загальновідомо, що впровадження сонячної енергетики, особливо у таких великих містах як Дніпро, покращить екологічну ситуацію на місцевому і державному рівнях. Існування гострої необхідності щодо забезпечення потреб стратегічної інфраструктури міста, насамперед в альтернативній енергетиці, зі значним рівнем незалежності, особливо актуальне під час військових дій. Для енергетичної стратегії розвитку на рівні держави, особливо привабливо мати енергетично стабільні міста-мільйонники, які б могли власними силами забезпечувати потреби в енергоресурсах економічної складової міста [29].

В існуючих великих містах, таких як місто Дніпро, впровадження сонячних електростанцій має ряд проблем, таких як площі для розміщення сонячних електростанцій, які потребують вирішення за рахунок раціонального та подекуди альтернативного використання існуючих ресурсів. І такий ресурс науковці вбачають у використанні дахів будівель для створення мереж стаціонарних сонячних електростанцій [30].

Насьогодні, у м. Дніпро є практика встановлення сонячних батарей на території приватних домоводів. Сонячні батареї використовують сонячне випромінювання для генерації електроенергії, що є чистим та відновлюваним джерелом енергії. Це призводить до значного зменшення викидів парникових газів та залежності від традиційних джерел енергії, таких як вугілля, чи природний газ.

Результатом використання сонячних батарей у м. Дніпро є:

- зменшення викидів CO₂ та інших забруднюючих речовин, що сприяє поліпшенню якості повітря в місті;
- енергозбереження - виробництво власної електроенергії зменшує залежність від централізованих енергетичних систем ;
- економічні вигоди - зменшення витрат на електроенергію для приватних господарств та підприємств;
- сталість енергопостачання - використання сонячних батарей допомагає гарантувати стаке енергопостачання, особливо в умовах екологічних криз та коливань цін на традиційні види енергії.

Застосування сонячних батарей у місті має позитивний вплив на екологічну ситуацію та енергоефективність.

Зокрема, до позитивних аспектів створення сонячних електростанцій відносять:

- використання відновлюваної енергії сонця, що зменшує залежність від невідновлюваних ресурсів;
- відсутність викидів шкідливих газів, що сприяє зменшенню забруднення повітря та парникового ефекту;
- енергетична незалежність, оскільки сонячні батареї створюють певний рівень енергетичної незалежності, особливо в ситуаціях відключення електроенергії або аварій.
- зменшення рахунків за електроенергію, так як власне виробництво електроенергії може призвести до зменшення рахунків за комунальні послуги;
- технологічний прогрес - розвиток технологій сонячних батарей сприяє поліпшенню їх характеристик, збільшенню ефективності та зниженню вартості;

Складнощі, пов'язані з використанням сонячних батарей:

- вартість встановлення - високі витрати на покупку та встановлення сонячних батарей можуть бути значним обмеженням для деяких споживачів;

- залежність від погодних умов, оскільки ефективність сонячних батарей залежить від погодних умов та освітленості, що може призвести до коливань у виробництві електроенергії;

- потреба у просторі - для встановлення сонячних батарей необхідно використовувати достатньо великий простір, що може викликати труднощі у місцях з обмеженим простором;

- обмеження зберігання енергії, так як зберігання великих обсягів енергії з сонячних батарей залишається технологічним викликом, хоча розробки у цьому напрямку тривають;

- екологічний відбиток виробництва. Процес виробництва сонячних батарей може мати екологічний відбиток через використання рідкісних матеріалів та енергозатратні технології.

В цілому, впровадження сонячних батарей у місті Дніпро сприяє сталому розвитку та зменшенню впливу на довкілля, але вимагає уважного врахування економічних та технічних аспектів.[31, 32]

4.4. Енергозберігаючі технології в системах освітлення

Для зниження витрат у мережі електропередачі необхідно вживати заходів, що ґрунтуються на принципі мінімізації вищезазначених втрат, при цьому забезпечуючи надійність електропостачання та високу якість постачаної електроенергії.

Згідно з результатами оціночних розрахунків, найбільш ефективними заходами є технічні заходи з компенсації реактивної потужності. Зокрема, встановлення статичних конденсаторних батарей (СКБ) в мережах споживачів, що живляться від трансформаторів, може призводити до питомого зниження втрат від 70 000 до 300 000 кВт-год/рік на МВт реактивної потужності в батареї, залежно від типу використовуваного трансформатора.

Величина втрат на лініях електропередачі та мережах залежить від їх технічних параметрів та струмів навантаження. Факторами, які впливають на ці втрати, включають опір перехідних контактів, скручування жил, спосіб прокладання лінії, кількість фаз, довжину лінії, площу поперечного перерізу проводу та питомий опір матеріалу проводу.

На лініях електропередач напругою вище 330 кВ втрати через коронний розряд можуть бути значними, досягаючи декількох сотень кіловат на кілометр лінії. Коронні розряди не лише сприяють втратам енергії, але також призводять до нагрівання проводів та збільшення швидкості корозії проводів та арматури повітряних ліній електропередач.

Раціональне планування має великий вплив на покращення техніко-економічних показників режимів роботи розподільчої мережі. Правильний вибір ступеня компенсації реактивного навантаження на приймальних підстанціях системи впливає на перетоки реактивної потужності, призводячи до змін сумарної активної потужності та втрат енергії в усій системі.

Оптимізація режиму роботи мережі за реактивною потужністю дозволяє знизити втрати на 4-10%. Основними типами компенсуючих пристроїв, що використовуються в електромережах, є статичні конденсаторні батареї (СКБ) і синхронні компенсуючі пристрої (СК). Рекомендується встановлювати компенсуюче обладнання так, щоб 70-80% потужності СК було встановлено безпосередньо в мережі споживача. Вибір конкретного методу компенсації базується на техніко-економічних розрахунках, що порівнюють витрати різних методів на кіловат-годину виробленої електроенергії.

Розширення перерізу ліній електромережі - це один з методів зниження втрат електроенергії в лініях електропередачі. Втрати електроенергії у лініях визначаються опором і струмом, що протікає через лінію. Оскільки опір існуючих ліній мало змінюється, основний спосіб зменшення втрат - це зменшення струму через лінію.

Один із підходів до цього полягає в застосуванні декількох резервних ліній. Паралельне з'єднання ліній дозволяє ефективніше використовувати ресурси та зменшити втрати енергії. При паралельній роботі загальний (еквівалентний) опір цих ліній зменшується, що сприяє зниженню втрат активної та реактивної енергії під час передачі.

Якщо лінії з'єднані паралельно, еквівалентний опір зменшується, що призводить до зниження втрат вдвічі. Це припускається при однаковому опорі резервної та основної ліній. Такий підхід дозволяє оптимізувати роботу системи та забезпечити економію енергії. [25,33]

Основний потенціал енергозбереження в освітлювальних установках зосереджений на підвищенні ефективності перетворення електричної енергії в світлову.

Низка ключових факторів, що визначають енергоспоживання в системах освітлення за різних стандартів, включає:

- Дизайн схеми освітлення та раціональне використання природного та штучного світла.
- Зовнішній вигляд і облицювання з підвищеним коефіцієнтом відбиття поверхонь у приміщенні.
- Світловіддача лампи, визначена світловою віддачею на ват електроенергії, що споживається.
- Коефіцієнт корисної дії світильника, який визначає ефективність світильників.
- Правильне використання вимикачів та регуляторів.
- Використання пускорегулювальних апаратів у люмінесцентному освітленні.
- Вибір оптимальної схеми розташування світильників.
- Зменшення коефіцієнтів безпеки при виборі світильників.
- Автоматичне керування освітленням і централізоване управління основними освітлювальними приладами.

- Запиленість повітря в приміщенні.
- Чистота вікон для забезпечення доступу природного світла.

Впровадження нових, прогресивних джерел світла, використання високоефективних ламп, світловідбиваючих світильників та розумне планування освітлення часто призводить до значного підвищення ефективності електроосвітлювальних систем, збільшення якості освітлення робочих місць та досягнення значної економії електроенергії. Необхідно використовувати типи ламп, які забезпечують максимальний світловий потік на ват встановленого електричного навантаження і мають характеристики, що відповідають іншим потребам освітлювальної установки.

Світловіддачу кожного типу лампи можна визначити на основі наявних даних про лампу і її схему. Під час проектування нових установок рекомендується порівнювати світловіддачу відповідних типів ламп і обирати найбільш ефективний варіант.

Компактні люмінесцентні лампи, завдяки сучасним технологічним рішенням, були зменшені до розмірів звичайних ламп розжарювання, що дозволяє їх використовувати в побутових освітлювальних пристроях.

Загалом, компактні люмінесцентні лампи мають численні переваги:

- Споживання енергії на 80% менше при однаковому світловому потоці;
- Термін служби на 9-13 разів довший;
- Миттєве (0,6 секунди) запалювання і відсутність мерехтіння;
- Компактні та легкі;
- Відмінне світлопропускання.

Перехід на нові, більш ефективні типи ламп може призвести до зменшення споживання енергії та зниження експлуатаційних витрат. У таблиці 4.1 наведено технічні характеристики компактних люмінесцентних ламп (КЛЛ) у порівнянні з лампами розжарювання.

Ймовірність того, що люди будуть придбувати компактні люмінесцентні лампи (КЛЛ), залежить від їхньої ціни та вартості електроенергії. [8]

Таблиця 4.1 - Порівняння технічних характеристик ламп

Найменування	Лампа розжарювання	Галогенна лампа	Енергозберігаючі лампи	Світлодіодна лампа
Нагрівання	сильне	сильне	середня	слабке
Крихкість	дуже тендітне	тендітне	тендітне	міцна
Потужність	75	50	15	7
Світловий потік	700	800	700	660
Термін дії (годин)	1000	2300	8000	50000
Вартість на 50000 годин	10 грн x 50 = 500 грн	35 грн x 21 = 735 грн	35 грн x 6.25 = 218 грн	152 грн
Плата за електроенергію (тариф 0,63 грн)	75 x 50000 x 0,63 = 2362,5 грн	50 x 50000 x 0,63 = 1 575 грн	15 x 50000 x 0,63 = 472,5 грн	7 x 50000 x 0,63 = 220,5 грн
Вартість експлуатації	2862,5 грн	2310 грн	690 грн	370,5 грн

Сучасні міста не можуть існувати без нічного освітлення. Зовнішнє освітлення грає ключову роль у формуванні естетичного обличчя вулиць, магістралей і площ, створюючи приємні умови для мешканців і забезпечуючи безпечний рух транспорту та пішоходів у темний час доби.

Мережа зовнішнього (вуличного) освітлення є важливою частиною комунальної інфраструктури міст і селищ, і визнається як окрема технічна система для сучасних доріг, мостів і дамб (див. рис. 3.3). У зв'язку з цим муніципалітет визначив зовнішнє освітлення як одну з ключових послуг для своїх жителів.

Системи зовнішнього освітлення можуть включати три основні напрямки:

- Освітлення транспортних шляхів.
- Освітлення житлових та пішохідних зон.
- Освітлення будівель.

Пріоритетним напрямком організації освітлення проїжджої частини є забезпечення безпеки дорожнього руху. [25,27,34]

Освітлення пішохідних переходів становить важливу частину комплексного рішення проблем безпеки на нерегульованих пішохідних переходах. Додатковим заходом є впровадження фізичних бар'єрів у вигляді безпечних острівців, які звужують дорогу та створюють захищений простір для пішоходів. Проєкт передбачає освітлення пішохідних переходів з врахуванням всіх відповідних стандартів, що спонукає водіїв дотримуватися обмежень швидкості.

Важливо, щоб пішоходи були чітко видимі для водіїв, особливо в умовах низької освітленості. Використання білого світлодіодного світла є ефективним, оскільки воно відрізняється від природного середовища і дозволяє ідентифікувати деталі об'єктів. Для забезпечення контрасту за яскравістю, рівень освітлення на пішохідних переходах повинен бути значно вищим, ніж у навколишній області, при цьому не сліпити водіїв.

4.5. Ефективне використання енергії в системах водопостачання та водовідведення

Комунальні підприємства водопостачання та водовідведення відіграють ключову роль у раціональному управлінні водними ресурсами, які стають все більш дефіцитними в умовах зростання урбанізації. Одним із найважливіших завдань для муніципальних підприємств у сферах водопостачання та водовідведення є забезпечення економічно ефективного водопостачання для задоволення потреб містян. З урахуванням обмежених енергетичних ресурсів, проблем з прісною водою та екологічних викликів, важливість оптимізації водопостачання стає ще більшою та актуальною.

Більшість муніципальних підприємств водопостачання та водовідведення у світі використовують енергетичні та водні ресурси не найбільш ефективно, не мінімізуючи вплив на навколишнє середовище.

Розробка комплексних стратегій управління та впровадження ефективних практик використання енергії у системах водопостачання може призвести до забезпечення економічно ефективного водопостачання, зменшення споживання енергії та захисту навколишнього середовища.

Зв'язок між водою та енергією визначається роллю, яку енергія відіграє у постачанні води споживачам та в очищенні стічних вод. Втрати води в муніципальних системах водопостачання часто супроводжуються втратами енергії. Концепція "Енергоефективність у системах водопостачання" передбачає надання споживачам всіх необхідних послуг із споживання води, використовуючи мінімальні обсяги води та енергії.

«Ефективне використання енергії в системах управління водними ресурсами» включає в себе широкий спектр заходів, спрямованих на раціональне та ефективне використання води та енергії, а також інтегроване управління цими ресурсами. Розпізнавання взаємозв'язку між водою та енергією в системах водопостачання відкриває широкі можливості для застосування методів та практик, спрямованих на підвищення ефективності систем, враховуючи споживання води та енергії як взаємопов'язані фактори виробництва, а не як окремі процеси.

Для муніципальних водоканалів стимулами для підвищення ефективності їхніх систем водопостачання є кілька факторів, включаючи зниження витрат, забезпечення безпеки та надійності енерго- та водопостачання, а також зменшення впливу на навколишнє середовище. Зосередження на ефективному використанні енергії в системах водопостачання виступає як економічно ефективний спосіб покращення функціонування систем водопостачання для поліпшення обслуговування споживачів та водночасного задоволення потреб населення.

Комплексні заходи для підвищення ефективності водопостачання можуть призвести до зменшення витрат, підвищення експлуатаційної потужності існуючих систем та підвищення задоволеності споживачів. У великих містах, де вичерпуються природні водні ресурси, експлуатація

нових об'єктів обмежена. Таким чином, важливим рішенням стає більш ефективно використання існуючих систем через впровадження програм для підвищення ефективності управління водними ресурсами [25].

Дніпровське міське управління Держсанепідслужби Головного управління Держсанепідслужби України у Дніпропетровській області забезпечує контроль якості питної води в муніципалітеті Дніпро. Комунальне підприємство «Дніпроводоканал» виконує важливе завдання з постачання населенню та підприємствам міста водою, водовідведенням та очищенням стічних вод відповідно до стандартів якості ДСТУ. Споживачами послуг є населення, приватні компанії, підприємства, організації та установи

Водопостачання та очищення стічних вод здійснюється цілодобово, що є важливим досягненням у порівнянні з іншими містами України та вимогою сучасного суспільства. Муніципалітет Дніпра зазначає важливість забезпечення належної якості води та ефективного управління системою водопостачання для задоволення потреб населення та підтримки розвитку міста.[17]

Перепроектування або модернізація систем водопостачання та водовідведення є важливими в контексті покращення ефективності та зменшення витрат ресурсів. Дійсно, переосмислення та оптимізація систем можуть призвести до значної економії води та енергії.

Важливим кроком є вивчення необхідності кожної системи, оцінка її робочого ефекту та визначення, чи існують альтернативні методи забезпечення послуг з водопостачання та водовідведення. Якщо деякі системи можна відмовитися або модернізувати так, щоб ефективніше використовувати гравітаційний потік, це може призвести до зниження витрат енергії, пов'язаних із застосуванням насосів.

Визначення реального попиту та адаптація обладнання до реальних потреб може допомогти уникнути надлишкової потужності та забезпечити оптимальне функціонування системи. Перепроектування, орієнтоване на

реальні потреби, може допомогти уникнути зайвих витрат на матеріали та забезпечити стабільну та ефективну експлуатацію систем.

Такі кроки у напрямку енергоефективності можуть мати значний вплив на загальну стійкість систем водопостачання та водовідведення, а також призвести до зменшення витрат та негативного впливу на навколишнє середовище [38].

4.6. Впровадження енергоефективних заходів у системі тепlopостачання

Модель організації місцевого ринку тепlopостачання визначається у контексті довгострокового муніципального енергетичного планування. Ступінь концентрації окремих зон визначається критерієм щільності теплового навантаження, що безпосередньо впливає на рівень тепловтрат та вартість транспортування теплової енергії до споживачів, а також визначає зони конкурентоспроможності для автономних теплогенеруючих установок.

Мірою щільності теплового навантаження є відносні властивості матеріалу. Це відношення добутку середнього діаметра трубопроводу системи тепlopостачання до його довжини до приєднаного теплового навантаження. Цей показник відображає співвідношення площі поверхні трубопроводу та приєднаного теплового навантаження, що є важливим показником рівня тепловтрат системи.

Пропонується наступна модель ринку централізованого тепlopостачання:

- Збереження системи з двома змінами («доступна єдина мережа»):
Всі джерела тепла використовуються для єдиного об'єкту - «теплової мережі». Ця мережа експлуатується незалежними операторами і може закуповувати тепло у найдешевшого постачальника. Такий підхід

застосовується великими системами, де ефективність централізованого теплопостачання максимальна.

- «Неподільна система»: Усі компоненти - джерела тепла, теплоелектростанція та мережа - експлуатуються одним оператором. Ця модель підходить для невеликих систем, де централізоване теплопостачання ефективне, і не вимагає радикальної децентралізації.

Обрана модель впливає на ефективність теплопостачання та можливості використання різних джерел енергії.

У рамках обох систем можлива газифікація централізованого енергопостачання та часткова «добровільна» децентралізація окремих районів теплопостачання. Системна децентралізація також має дві модифікації: «системна децентралізація - тепло». У цій моделі проводиться планова робота зі скорочення розмірів централізованого теплопостачання та децентралізації теплопостачання через будівництво районних та/або мікрорайонних джерел тепла. Кінцевий споживач або енергосервісна компанія купує теплову енергію.

У цьому випадку потужність і баланс навантаження вже створеної децентралізованої системи теплопостачання можуть бути узгоджені шляхом підключення додаткових навантажень або будівництва перемичок для використання «закритих» потужностей. Цей тип децентралізації використовується для неефективних централізованих систем теплопостачання, щоб перейти на індивідуальне теплопостачання з використанням індивідуальних теплогенераторів.

У цих моделях ринку тепла межею відповідальності з кінцевим споживачем тепла є точка входу в будівлю або на територію споживача. Система опалення в будівлі експлуатується її власником, енергосервісною компанією або житлово-експлуатаційною організацією. Кожна модель ринку тепла передбачає певну інституційну структуру. Муніципальна власність на основні елементи фізичної інфраструктури зберігається, щоб муніципальна влада мала можливість впливати на якість та ефективність

послуг теплопостачання через встановлення стандартів, контрактів та тарифів [33,39].

Вибір сталого варіанту при плануванні муніципального теплопостачання залежить від економічних, технічних та екологічних факторів. Економічні критерії грають ключову роль, але не єдиною визначальною. Раціональні варіанти повинні враховувати надійність постачання, резервність енергопостачання, екологічні аспекти та інші фактори.

При плануванні газифікації міста, раціональний вибір моделей ринку централізованого теплопостачання є ключовим аспектом.

Аналіз чутливості ключових параметрів, таких як ціни на паливо та вартість обладнання, є важливим для визначення оптимальних варіантів. Такий підхід дозволяє враховувати різноманітні зовнішні умови та забезпечити сталість та ефективність системи теплопостачання протягом тривалого терміну.

4.7. Заходи з підвищення ефективності використання електроенергії теплопостачальними підприємствами

Теплопостачальне підприємство у Дніпрі витрачає значну кількість електроенергії для живлення свого електрообладнання, до якого входить:

- Електроприводне обладнання насосів: Мережеві насоси, підкачувальні насоси, насоси робочої рідини вакуумних деаераторів, насоси станцій холодопостачання та інші насоси.

- Тягодуттьові механізми котлів:

- Системи, які відповідають за транспортування матеріалів у котлах.

- Насосні установки в системах централізованого теплопостачання:

- Включає різноманітні насоси, необхідні для ефективного функціонування систем теплопостачання.

- Джерела внутрішнього та зовнішнього освітлення: Забезпечують освітлення в приміщеннях та на території підприємства.

Електроприводи для насосного обладнання, димососів і дуттьових вентиляторів складають найбільший частку, близько 95%, у загальному обсязі споживання електроенергії котелень і центральних теплостачальних станцій (ЦТП) на підприємствах. Під час обстеження були виміряні електричні параметри електроприймачів котелень, які вказують на їхню продуктивність та споживання електроенергії.

Баланс споживання електроенергії електроустановками теплогенераційних джерел підприємства наведено на рисунку 4.1.

В типовій комунальній котельні розподіл споживання електроенергії між різними групами електрообладнання в середньому виглядає наступним чином:

- Мережні насоси: Від 60% до 80%
- Тягодуттьові пристрої котлів: Від 10% до 20%
- Підживлювальні насоси: Від 1% до 3%
- Насоси робочої рідини: Від 1% до 3%

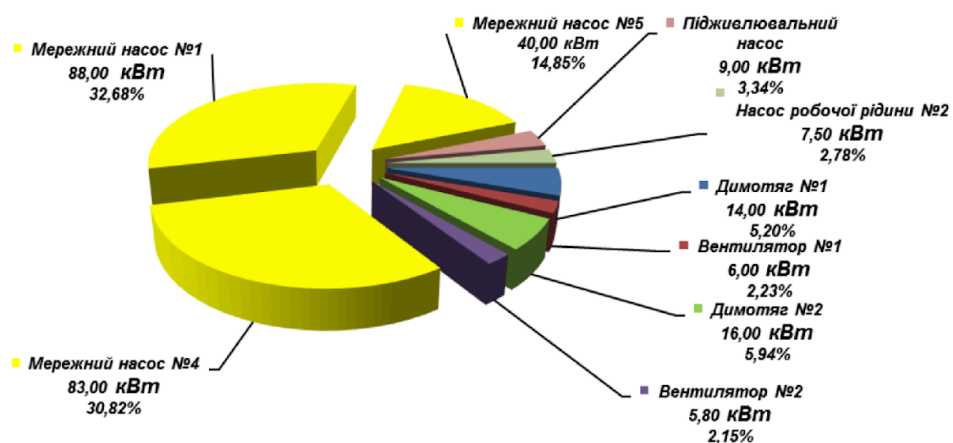


Рисунок 4.1. Баланс споживання електроенергії електроустановками теплогенераційних джерел підприємства

Продуктивність мережевих насосів та необхідний напір, який необхідно створити, визначаються гідравлічним режимом системи

теплопостачання для кожного джерела теплоти. Оптимальним споживанням електроенергії на потреби мережевого перекачування вважається фактична продуктивність мережевих насосів та розрахункова витрата мережевої води.

Використання економії електроенергії для мережевих насосів реалізовано шляхом модифікації технічної схеми котелень з високим гідравлічним опором (>15 м водяного стовпа).

Існуючі методи управління вентиляційним механізмом котелень за допомогою направляючих пристроїв та шиберів не є ефективними з точки зору енергоспоживання. Регулювання продуктивності цих пристроїв за допомогою частотних перетворювачів є обґрунтованим і дозволяє досягти економії електроенергії.

Структура виявлених потенціалів економії електроенергії є основою для розробки заходів з підвищення ефективності використання електроенергії (ЕЕЕ) для всіх підприємств Дніпра, які надають послуги з теплопостачання споживачам. Іншими словами, такі заходи є програмами підприємств з підвищення енергоефективності використання електроенергії та відображають очікувані потенціали енергозбереження, виявлені в ході попереднього енергоаудиту.

Потенціал енергозбереження виявляється у разі проведення детального енергоаудиту об'єктів теплопостачального підприємства, таких як котельні та центральні теплові пункти. Тому слід провести детальний енергоаудит системи електроспоживання окремих об'єктів теплопостачальника (котельня, ЦТП), за результатами якого розробити та впровадити пакети проектів з енергоефективності (за типом групи та групою електроспоживання).

Розділ 5

Аналіз видів систем опалення на кількість теплових втрат приміщення

Крайовими умовами називають сукупність початкових та граничних умов. Початкові умови задаються лише при вивченні нестационарних процесів і полягають у завданні розподілу температури всередині тіла в момент часу, вибраний за початковий. Граничні умови відображають умови теплової взаємодії між певним середовищем та поверхнею тіла.

Завдання початкової умови у тому, що з деякого моменту часу $\tau = \tau_0$ (зазвичай вважають $\tau_0 = 0$) має бути відома функція $t = t(x, y, z, \tau_0) = f(x, y, z)$ просторових координат. Найпростіша початкова умова має вигляд $f(x, y, z) = t_0 = \text{const}$. До такої умови відносяться початкові умови виведення системи з режиму, що встановився (розігрів з холодного стану тощо). Можливі граничні випадки, коли можна знехтувати початковими умовами. Так, для кінцевих тіл довільної форми початкові умови впливають лише на початковій стадії процесу нестационарної теплопровідності: починаючи з певного моменту часу τ^* настає такий режим теплопровідності, за якого розподіл температур у тілі визначається лише граничними умовами та залежить від початкових.

Граничні умови для завдання, що вивчається, можуть бути задані декількома способами. Теоретично теплопровідності розрізняють кордонні умови I, II, III та IV роду та ін.

Граничні умови I роду. Задається розподіл температури на поверхні тіла F як функція координат та часу:

$$t_F = \varphi(x, y, z, \tau) \quad (5.1)$$

До граничних умов I роду можна віднести завдання розігріву та охолодження системи при заданій зміні температури на кордоні або при дуже інтенсивному теплообміні на поверхні, коли температура поверхні

близька до температури навколишнього середовища. Однак коло таких практичних завдань обмежене і граничні умови I роду використовуються здебільшого при розробці математичних методів вирішення крайових завдань та оціночних розрахунках.

Слід зазначити, що при $\varphi(x, y, z, \tau) = 0$ умова (5.1) однорідна щодо температури.

Для процесів стаціонарної теплопровідності функція φ за умови (5.1) не залежить від часу, і цю умову зазвичай називають умовою Діріхле.

Граничні умови II роду. Задається розподіл густини теплового потоку по поверхні тіла як функція координат та часу:

$$q_F = \Psi(x, y, z, \tau) \quad (5.2)$$

Відповідно до закону Фур'є ця умова запишеться так:

$$-\lambda(\partial t / \partial n)F = \Psi(x, y, z, \tau) \quad (5.3)$$

де n - внутрішня нормаль до поверхні F .

В процесах стаціонарної теплопровідності функція в умовах (5.2) і (5.3) не залежить від часу T , і ці умови зазвичай називають умовами Неймана. В окремому випадку, коли щільність теплового потоку на поверхні тіла залишається постійною для будь-якого моменту часу у будь-якій точці поверхні, вираз (5.3) має вигляд:

$$q_F = q_0 = \text{const} \quad (5.4)$$

Такі умови теплообміну можуть створюватися при нагріванні тіл високотемпературними джерелами теплоти, коли теплообмін відбувається головним чином випромінюванням за законом Стефана-Больцмана, якщо при цьому власна температура тіла значно менше температури випромінюючої поверхні.

Крім того, можливий випадок завдання однорідної граничної умови II роду тобто умови так званої теплової ізоляції. Така умова часто задається при рівномірному обігріві поверхні тіла, що має геометричну симетрію. Наприклад, завдання симетричного прогріву пластини товщиною 2δ (коли на обмежуючих поверхнях $x = \pm\delta$ задана щільність теплових потоків $q_1 = q_2$

= q_0) зводиться до еквівалентної задачі: заданий тепловий потік q_0 по поверхні $x = \delta$ і задана умова $q = 0$, площині симетрії пластини $x = 0$.

Граничні умови III роду. На поверхні тіла визначається залежність щільності теплового потоку від температури поверхні тіла T_F навколишнього середовища T_c .

У разі охолодження (нагріву) маємо:

$$qF = \pm a (T_F - T_c) \quad (5.5)$$

де a - коефіцієнт пропорційності, званий коефіцієнт тепловіддачі (теплообміну), $Вт/м^2 \cdot К$. Він характеризує інтенсивність теплового впливу середовища заданої температури T_c поверхню тіла. У нестационарних процесах температура навколишнього середовища у загальному випадку змінюється у часі. Рівняння (5.5) виражає закон Ньютона. Щільність потоку, що підводиться (відводиться) за рахунок теплопровідності до (від) поверхні тіла визначається за законом Фур'є.

Отже, на підставі закону збереження енергії з урахуванням (5.5) маємо:

$$-\lambda = (\partial t / \partial n)_F = a (T_F - T_c) \quad (5.6)$$

де n - внутрішня нормаль до поверхні тіла.

Рівняння (5.6) є аналітичним виразом граничної умови III роду, яке широко застосовується при аналітичних дослідженнях теплопровідності у твердих тілах, обтічних потоками рідини або газу на межі між тілом та рідиною.

На відміну від λ коефіцієнт тепловіддачі (теплообміну) не є фізичною постійною, характерною для тієї чи іншої речовини. В загальному разі він відображає спільну дію конвекції, теплопровідності та залежить багатьох чинників. Так, наприклад, лише конвективна частина як визначається геометричною формою та розмірами тіла, фізичними властивостями обтікає його потоку, напрямом і швидкістю потоку, температурними умовами та іншими факторами. Тому лише у першому наближенні коефіцієнт вважатиметься постійним.

Таким чином, постановку умови (5.6) не завжди просто виконати, так як вся складність питання про теплообмін між тілом і навколишнім середовищем зосереджується на методі визначення коефіцієнта, а при конкретних умовах задачі [11].

Для єдиності рішення диференціальні рівняння мають бути доповнені крайовими умовами або умовами однозначності, які включають геометричні, фізичні, граничні та тимчасові умови.

Геометричні умови визначають розміри форми тіла. Фізичні умови включають чисельні значення та характер зміни теплофізичних параметрів тіла та навколишнього середовища, а також інтенсивність внутрішніх джерел (стоків) теплоти, якщо вони є.

Тимчасові умови задають значення та характер зміни температури або теплового потоку у початковий (або кінцевий) момент часу. Граничні умови визначають умови теплообміну на межі тіла та можуть бути задані по різному

Таблиця 3.1 – Способи завдання граничних умов

Граничні умови I роду	Розподіл температури на поверхні тіла (індекс w)	$t_w = f(x, y, z, \tau)$ в найпростішому випадку $t_w = \text{const}$
Граничні умови II роду	Розподіл щільності теплового потоку на поверхні тіла	$q_w = f(x, y, z, \tau)$ в найпростішому випадку $q_w = \text{const}$
Граничні умови III роду	Умови теплообміну поверхні тіла з довкіллям (індекс f)	$q = \alpha(t_w - t_f) = -\lambda_w \frac{\partial t_w}{\partial n} \Big _{n \rightarrow 0}$
Граничні умови IV роду	Умови теплообміну на поверхні при контакті двох тіл (рівність теплових потоків, що проходять через поверхню контакту)	$\lambda_{w1} \frac{\partial t_{w1}}{\partial n_1} \Big _{n_1 \rightarrow 0} = \lambda_{w2} \frac{\partial t_{w1}}{\partial n_2} \Big _{n_2 \rightarrow 0}$ при ідеальному контакті $t_{w1} \Big _{n_1 \rightarrow 0} = t_{w2} \Big _{n_2 \rightarrow 0}$

При розміщенні опалювального приладу під світловим отвором у внутрішньої поверхні скління утворюються три зони [20]:

- зона холодного струменя – холодний спадаючий потік природньої конвекції у верхній частині скління;

- зона теплого струменя – напівобмежений конвективний струмінь від опалювального приладу;

- вихрова область – область, що утворюється при злитті теплого та холодного струменя. У вихровій області відбувається формування нового струменя.

Для практичних розрахунків у зв'язку зі складністю визначення меж вихрової області, нею нехтують, і визначається умовна точка зустрічі холодного і теплого струменя x_b [20]. Тоді спрощено можна вважати, що у скління утворюються висхідний гравітаційний струмінь протяжністю від $x = 0$ (рівень статі) до $x = x_b$ і спадаючий конвективний потік від $x = x_b$ до $x = h$ (тут h - висота скління, м).

Для детального дослідження розподілу швидкісних та температурних полів у приміщенні з вбудованим в конструкцію підлоги конвектором з природною конвекцією виконано моделювання в програмі Comsol multiphysics Як модель прийнято приміщення індивідуального каркасного житлового будинку типу Varnhaus 92: ширина – 8 м, глибина – 11 м, висота – 4 м. Скління виконане на всю ширину та висоту приміщення. Під склінням розташовується конвектор. Тепловий потік опалювального приладу прийнято рівним тепловим втратам через скління.

Під час моделювання були задані такі умови:

- температури внутрішніх поверхонь (бічні стінки, підлога, стеля): $+18^{\circ}\text{C}$;

- температура зовнішнього повітря: -32°C ;

- коефіцієнт тепловіддачі зовнішньої поверхні скління: $23 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^{\circ}\text{C})$;

- середній термічний опір скління: $0,685 (\text{м}^2 \cdot ^{\circ}\text{C})/\text{Вт}$.

Конвектор розташовувався на різній відстані від скління.

На основі розрахунків отримано наступну картину взаємодії низхідного потоку у скління і висхідного від конвектора при рівності теплового потоку конвектора тепловим втратам через скління:

- при відстані від скління до конвектора до 400 мм відбувається настилення потоку теплого повітря на скління по всій висоті;

- при відстані 400 мм у внутрішній поверхні вікна утворюються три зони: холодний спадаючий потік природної конвекції (холодний струмінь повітря), вихрова область та напівобмежений гравітаційний (теплий) струмінь від конвектора. У вихровій області при злитті теплої та холодної струменей напрямок нового струменя, що утворився, різко змінюється. Струмінь відхиляється углиб приміщення. Координата місця зустрічі струменів $\approx 2,4$ м від підлоги приміщення;

- при віднесенні конвектора від скління на 1000 мм по всій висоті скління утворюється низхідний конвективний потік, а конвектор створює висхідний струмінь, що запобігає надходженню холодного повітря далі в приміщення.

Отримана картина взаємодії низхідного потоку у скління і висхідного від конвектора відповідає розрахунковій теплофізичній моделі, прийнятій під час розробки інженерного методу розрахунку захисту обслуговуваної зони приміщення від холодних потоків при розташуванні опалювальних приладів під склом [2]. Зіставлення та отриманий збіг результатів моделювання з розрахунком, виконаним за методикою [12], дозволили поширити дану методику розрахунку для конвекторів.

Розглянемо методику розрахунку теплообміну між огорожею та неізотермічним напівобмеженим струменем при захисті приміщення від спадаючих потоків охолодженого повітря у світлопрозорого огороження та приклад розрахунку.

При підборі опалювального приладу у вигляді внутрішньопідлогового конвектора можливі два варіанти розрахунку.

Вихідні дані для прикладу (м. Дніпро):

- розрахункова температура зовнішнього повітря: $t_n = -12^\circ\text{C}$;
- розрахункова температура внутрішнього повітря: $t_v = 20^\circ\text{C}$;
- висота скління: $h = 4$ м;

- середня температура тепловіддаючої поверхні: $t_0 = 82,5^\circ\text{C}$;
- нормоване значення наведеного опору теплопередачі скління [16] (без урахування опалювального приладу): $R_0 = 0,43 \text{ (м}^2 \cdot \text{°C) / Вт}$;
- коефіцієнт тепловіддачі внутрішньої поверхні: $\alpha_B = 8 \text{ Вт / (м}^2 \cdot \text{°C)}$;
- коефіцієнт теплопровідності повітря при температурі тв: $\lambda_B = 0,0259 \text{ Вт / (м} \cdot \text{°C)}$;
- кінематичний коефіцієнт в'язкості повітря при температурі тв: $\nu_B = 15,06 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$;
- довжина конвектора дорівнює довжині світлового отвору.

Розрахунок захисту зони приміщення, що обслуговується, від холодних потоків повітря при заповненні опалювальним приладом конвективних теплових втрат через скління.

1. Визначається у першому наближенні температура на внутрішній поверхні скління:

$$\tau'_B = \tau_B - \frac{(t_B - t_H)}{\alpha_B R_0}, \text{ °C}$$

$$\tau'_B = 20 - \frac{(20 - (-12))}{8 \cdot 0,43} = 4,9 \text{ °C}$$

2. Питомі теплові втрати через скління за відсутності опалювального приладу під заскленням:

$$Q'_{уд} = \frac{1}{R_0} (t_B - t_H) h, \frac{\text{Вт}}{\text{м}}$$

$$Q'_{уд} = \frac{1}{0,43} (20 + 12) \cdot 4 = 483,7, \text{ Вт/м}$$

3. Приймається еквівалентний (за питомим тепловим потоком) діаметр опалювального приладу (конвектор умовно замінюється трубчастим нагрівачем, розташованим під склінням).

Орієнтовні питомі конвективні теплові втрати при встановленні опалювального приладу під заскленням:

$$Q_{к.о.п.пит.} = Q'_{уд} \cdot \beta'_{к}, \text{ Вт/м,}$$

де β'_k – орієнтовна частка конвективного теплового потоку в повному тепловому потоці на внутрішній поверхні скління при встановленні опалювального приладу конвективного типу.

Отримано наступну залежність для визначення значення β'_k :

$$\beta'_k = 2,9335 - 9,3056 \cdot R_0 + 12,638 \cdot R_0^2 - 5,6869 \cdot R_0^3,$$

де R_0 – наведений опір теплопередачі скління (без обліку опалювального приладу), $(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})/\text{Вт}$.

Відповідно:

$$\beta'_k = 2,9335 - 9,3056 \cdot 0,43 + 12,638 \cdot 0,43^2 - 5,6869 \cdot 0,43^3 = 0,81$$

$$Q'_{\text{уд.к}} = 483,7 \cdot 0,817 = 395,2 \text{ Вт/м.}$$

Еквівалентний діаметр опалювального приладу розраховується за залежності:

$$d_e = 0,151 \cdot Q'_{\text{уд.к}}{}^{1,333} \cdot (t_0 - t_B)^{-1,667}, \text{ м;}$$

$$d_e = 0,151 \cdot 395,2^{1,333} \cdot (82,5 - 20)^{-1,667} = 0,443 \text{ м}$$

4. Визначається критерій Грасгофа:

$$Gr_0 = \frac{g \cdot (t_0 - t_B) \cdot d_e^3}{(273 + t_0) \cdot (15,06 \cdot 10^{-6})^2} = 80,21 \cdot 10^7$$

$$Gr_0 = \frac{9,81 \cdot (82,5 - 20) \cdot 0,443^3}{(273 + 20) \cdot (15,06 \cdot 10^{-6})^2} = 80,21 \cdot 10^7$$

5. Визначається координата точки зустрічі теплового та холодного струменів:

$$X'_B = 0,2 d_e \cdot \left(\frac{t_0 - t_B}{t_B - t_B} \right)^{1,25} \cdot \left(\frac{t_0 - t_B}{t_0 - t_B} \right)^{1,25}, \text{ м}$$

де

$$n = 8 \cdot \left(\frac{82,5 - 20}{82,5 - 4,9} \right)^{10} = 0,92$$

$$X'_B = 0,2 \cdot 0,443 \cdot \left(\frac{82,5 - 20}{20 - 4,9} \right)^{1,25} \cdot \left(\frac{82,5 - 4,9}{82,5 - 20} \right)^{1,25 \cdot 0,92} = 0,671$$

6. Відносна координата точки зустрічі теплового та холодного струменів:

$$X' = \frac{X'B}{de}$$

$$X' = 0,688/0,355 = 1,51.$$

7. Середнє значення критерію Нуссельта на поверхні скління:

$$Nu'_{o'} = 0,33 * Gr_0^{0,333} * (X'_B)^{0,73} - 0,27 * X'_B^{-1}$$

$$Nu_{o'} = 0,33 * (80,21 * 107)^{0,333} * (1,51^{0,73} - 0,27) * 1,51^{-1} = 217,95$$

8. Середнє значення коефіцієнта конвективної тепловіддачі:

$$\alpha'_k = \frac{Nu'_{o'} \cdot \lambda_B}{de}$$

$$\alpha'_k = \frac{217,958 \cdot 0,0259}{0,443} = 12,74$$

9. Середній температурний напір у висхідній теплій конвективній напівобмежений струмінь повітря:

$$(t_m - \tau'_B) = * \frac{0,64(t_0 - \tau_B)}{X'_{tB}} + \frac{1,4(t_0 - \tau_B)}{X'_{tB}} * \left(\frac{t_0 - \tau_B}{t_0 - \tau_B}\right)^n * (X'_{tB})^{0,2} - 1$$

$$(t_m - \tau'_B) = * \frac{0,64(82,5 - 7,21)}{1,93} + \frac{1,4(82,5 - 7,21)}{1,93} * \left(\frac{82,5 - 7,21}{82,5 - 20}\right)^{1,24} * (1,93^{0,2} - 1) = 40,75$$

10. Середня температура повітря на вісі восходящої теплої конвективної струї:

$$t'_m = \tau'_B + (t_m - \tau_B), \text{ } ^\circ\text{C};$$

$$t'_m = 4,9 + 40,375 = 45,275^\circ\text{C}.$$

11. Середній коефіцієнт тепловіддачі випромінюванням на поверхні світлопрозорого огородження:

$$a_n' = \frac{5}{t_B - \tau_B} \left(\left(\frac{273 + t_B}{100} \right)^4 - \left(\frac{273 + \tau_B}{100} \right)^4 \right)$$

$$a_n' = \frac{5}{20 - 4,9} \left(\left(\frac{273 + 20}{100} \right)^4 - \left(\frac{273 + 4,9}{100} \right)^4 \right) = 4,655 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{C}$$

12. Середній коефіцієнт тепловіддачі на поверхні світлопрозорого огородження у висхідній теплій конвективній струмені:

$$\alpha'_B = \alpha'_K + \alpha'_L, \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{С});$$

$$\alpha'_B = 12,74 + 4,655 = 17,395 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{С}).$$

13. Сопротивление теплопередаче остекления:

$$R_0' = 0,43 - \left(\frac{1}{\alpha_B} - \frac{1}{\alpha'_B} \right) \text{ м}^2 \cdot \text{С}/\text{Вт}$$

$$R_0' = 0,43 - \left(\frac{1}{8} - \frac{1}{17,395} \right) = 0,362$$

14. Температура на внутрішній поверхні скління в зоні дії теплого конвективного струменя повітря:

$$\tau''_B = t'_m - \frac{t'_m + t_n}{\alpha'_B \cdot R_0'}, \text{ С}$$

$$\tau''_B = 45,275 - \frac{45,275 + 32}{17,395 \cdot 0,362} = 33 \text{ С}$$

15. Для подальших розрахунків приймається середня температура на внутрішній поверхні скління:

$$\tau''_B = \frac{\tau''_B + \tau'_B}{2}$$

$$\tau''_B = \frac{33 + 4,9}{2} = 18,95 \text{ С}$$

Далі розрахунок повторюється, причому залежність замість τ_B підставляється значення τ'''_B .

Для остаточного вибору $t_B, ^\circ\text{С}$, у зоні дії теплого конвективного струменя повітря необхідно виконати 5...7 наближень. При цьому в останньому наближенні температура t_B повинна відрізнятись від попереднього значення не більш як на $0,01^\circ\text{С}$.

16. Питомі (на 1 м довжини скління) конвективні тепловтрати в зоні дії нагрітого струменя:

$$Q_{\text{к.н.стр.пит}} = \alpha_{\text{к.н.стр.}} (t_m - t_B) X_B, \text{ Вт}/\text{м};$$

$$Q_{\text{к.н.стр.пит}} = 7,74 \cdot 12,326 \cdot 3,38 = 322,46 \text{ Вт}/\text{м}.$$

17. Коефіцієнт конвективної тепловіддачі поверхні скління у спадному холодному конвективному струмені повітря:

$$\alpha_{\text{к.х.стр.}} = 1,68 (t_{\text{в}} - \tau'_{\text{в}})^{0,333}, \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{°C});$$

$$\alpha_{\text{к.х.стр.}} = 1,68 \cdot (20 - 4,9)^{0,333} = 4,15 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{°C}).$$

18. Питомі (на 1 м довжини скління) конвективні тепловтрати в зоні дії холодного струменя:

$$Q_{\text{к.х.стр.пит}} = \alpha_{\text{к.х.стр.}} \cdot (t_{\text{в}} - \tau'_{\text{в}}) \cdot (h - x_{\text{в}}), \text{ Вт}/\text{м};$$

$$Q_{\text{к.х.стр.пит}} = 3,93 \cdot (20 - 7,21) \cdot (4 - 3,75) = 38,85 \text{ Вт}/\text{м}.$$

19. Питомі конвективні втрати в зоні дії нагрітого і холодного струменів:

$$Q_{\text{к.пит}} = Q_{\text{к.н.стр.пит}} + Q_{\text{к.х.стр.пит}}, \text{ Вт}/\text{м};$$

$$Q_{\text{к.пит}} = 322,46 + 38,85 = 361,3 \text{ Вт}/\text{м}.$$

20. Для локалізації спадаючого холодного потоку повітря необхідно, щоб конвективний тепловий потік опалювального приладу був не менше конвективних теплових втрат через скління. Тому перевіряємо виконання умови:

$$Q_{\text{к.о.п.пит}} \geq Q_{\text{к.пит}} \text{ Вт}/\text{м};$$

$$395,2 > 361,3 \text{ Вт}/\text{м}, \text{ яке у разі виконується.}$$

21. Питома повна тепловтрата через скління:

$$Q_{\text{пит}} = \alpha_{\text{в.п.стор.}} \cdot (t_{\text{п}} - \tau_{\text{в}}) \cdot x_{\text{в}} + \alpha_{\text{в.}} \cdot (t_{\text{в}} - \tau'_{\text{в}}) \cdot (h - x_{\text{в}}), \text{ Вт}/\text{м};$$

$$Q_{\text{пит}} = 12,655 \cdot 12,326 \cdot 3,38 + 8 \cdot (20 - 4,9) \cdot (4 - 3,38) = 602,12$$

Таким чином, наявність висхідного напівобмеженого струменя, що настилається на скління, викликає збільшення теплових втрат на:

$$[(602,12 - 483,7) / 483,7] 100\% = 24,5\%.$$

Поправочний коефіцієнт, що враховує збільшення теплових втрат:

$$KQ = Q_{\text{пит}} / Q'_{\text{пит}}$$

$$KQ = 602,12 / 483,7 = 1,245$$

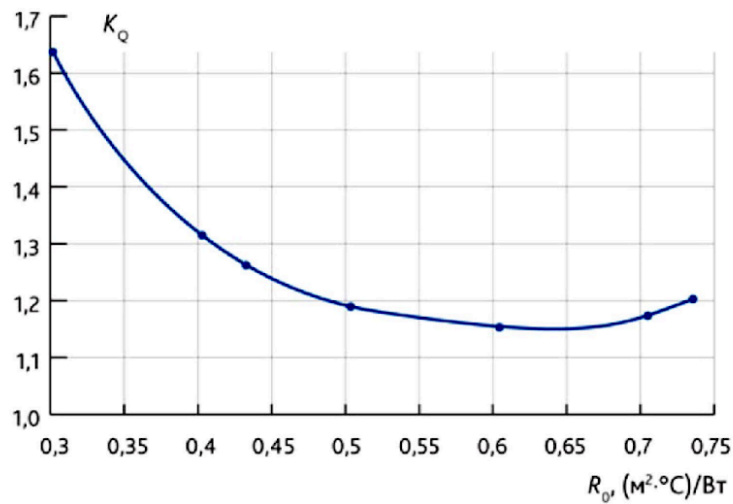


Рисунок 5.1 – Залежність коефіцієнту збільшення теплових втрат через скління від опору теплопередачі скління

Для умов прикладу виконано розрахунок за різних значень опору теплопередачі скління. Результати розрахунку представлені на 5.1 у вигляді залежності коефіцієнта збільшення теплових втрат від опору теплопередачі скління. Точка зустрічі нагрітого та охолодженого конвективних струменів знаходиться на висоті від підлоги 2...3,8 м в залежності від опору теплопередачі скління. Ці дані можуть бути використані для орієнтовної оцінки величини теплових втрат через скління за подібних умов застосування.

Розділ 6

Визначення доцільності впровадження заходів з підвищення енергоефективності

6.1. Визначення доцільності впровадження заходів з підвищення енергетичної ефективності за різними групами

З урахуванням викладеного, для визначення пріоритетності виконання енергозберігаючих заходів та проектів їх пропонується розділяти на дві основні групи.

Перша група заходів, необхідність виконання яких обумовлена вимогами відповідних законодавчих актів або виявляється доцільною для подальшої реалізації наступних, окупних заходів.

Друга група заходів, необхідність проведення яких слід в першу чергу обґрунтовувати відповідним техніко-економічним розрахунком з визначенням очікуваних економічних показників їх ефективності. До першої групи належать такі заходи як проведення енергетичного обстеження, встановлення приладів обліку енергії та приладів автоматичного регулювання, збільшення теплозахисту огорожувальних конструкцій до нормованої величини, підвищення кваліфікації осіб, які приймають і виконують рішення, спрямовані на підвищення енергоефективності. Проте, навіть при необхідності подібних заходів слід дотримуватися черговості і пріоритетності їх впровадження в рамках даної групи, забезпечувати максимальний ефект за рахунок супутніх заходів.

Енергозберігаючі заходи першої групи необхідно планувати шляхом вибору оптимального варіанту на підставі аналізу окремих показників варіантів, або ж за допомогою техніко-економічної оцінки по ряду параметрів і показників, в якості яких можуть бути використані наступні параметри:

- технічні характеристики (якість регулювання, параметри надійності, термін служби);
- зручність в експлуатації;
- комплектність;
- можливості подальшої модернізації;
- фірма (країна) - виробник обладнання;
- ціна (в тому числі вартість проектних робіт, демонтажу старого обладнання та монтажу нового, терміни монтажу і ін.);
- наявність і рівень сервісних служб;
- рівень кваліфікації обслуговуючого персоналу; - вартість обслуговування.

Оскільки заходи першої групи найчастіше тягнуть за собою сумарні відтоки грошових коштів, для них техніко-економічні розрахунки зводиться до вибору найменш витратного варіанта для реалізації по сумі сукупних дисконтованих витрат. Для порівняння енергозберігаючих заходів другої групи і вибору пріоритетів серед них можна використовувати різні показники, наведені нижче.

Таким чином, алгоритм ранжування і відбору енергозберігаючих проектів для реалізації в бюджетній установі або об'єкті житлової нерухомості може бути сформований за наступними пунктами.

Визначення переліку заходів, необхідність виконання яких не залежить від фінансових показників зворотності інвестицій (Заходи першої групи).

Визначення для них видаткових показників з метою зіставлення необхідного обсягу інвестування з власними фінансовими можливостями або з можливостями по залученню коштів (кредит, лізинг, енергосервісний контракт, бюджетні субсидії та ін.). Для подібних заходів завдання техніко-економічного обґрунтування зводиться до визначення їх сукупних дисконтованих витрат за період життєвого циклу, і пріоритетними стануть проекти з найменшим значенням показника.

Наступним кроком є складання списку заходів, спрямованих на пряму економію енергетичних ресурсів та відповідне досягнення позитивного фінансового результату (заходи другої групи). Розрахунок показників фінансово-економічного аналізу для заходів другої групи. Їх варіанти і принципи інтерпретації наведені нижче.

Попередня оцінка фінансового ефекту планованих заходів має значення для: оцінки фінансової можливості бути реалізованим заходів рішення про джерела фінансування порівняння економічних наслідків однотипних альтернативних заходів вибору найбільш ефективного вирішення з різних точок зору (повернення інвестицій, мінімізації витрат, їх розподілу за періодами, норми прибутковості і т.п.) підготовки техніко-економічних обґрунтувань, в т.ч. для фінансування з бюджету, а також для потенційних інвесторів економічного моніторингу (економічно обґрунтованих рішень про зміни в ході реалізації заходів в залежності від знову виявляються обставин).

В основу оцінки фінансово-економічної ефективності енергозберігаючих заходів покладено кілька базових принципів.

Аналіз і розрахунок по заходу або технічному рішенню проводиться за увесь життєвий цикл від початку вкладення коштів в проектні роботи до утилізації обладнання.

Аналіз проводиться з розбивкою розрахункового періоду на етапи, в межах яких здійснюються розрахунки, в тому числі поточних витрат і отриманих доходів (досягнутої економії). За замовчуванням етапи приймаються рівними по тривалості, для зручності - по одному року. При порівнянні декількох заходів початковий момент для них вибирається один і той же.

Проводиться моделювання грошових потоків (потоків реальних грошей) на кожному етапі проекту. Реалізований захід або технічне рішення на кожному етапі свого життєвого циклу породжує грошові потоки в складі доходів (досягнутої економії або запобігли витрат) і витрат

грошових коштів. Щоб розрахувати грошовий потік заходів в цілому, необхідно знати величину грошового потоку (в складі доходів, витрат і їх різниці - сальдо) на кожному з етапів життєвого циклу.

Для коректного порівняння різних варіантів вони наводяться в зіставних умовах.

При проведенні аналізу, особливо на тривалі періоди (кілька років), а також в умовах зміни вартості грошей у часі, цей фактор необхідно враховувати. Одна і та ж сума в сьогоднішньому періоді і через 5 або 10 років має різну купівельну спроможність. Для приведення грошей до єдиних умов з урахуванням фактора часу використовується дисконтування.

Нарівні з розрахунком кількісних ефектів необхідно експертно враховувати і якісні (поліпшення мікроклімату, підвищення комфорту і т.п.).

На основі результатів енергоаудитів в будівлях приведемо приклади розрахунку значення економії енергоносіїв та зміни технічних характеристик огорожувальних конструкцій, інженерних систем, кліматичних умов до та після впровадження ряду заходів з підвищення енергетичної ефективності.

За основу взято будівлю з термічним опором зовнішніх стін $R_0=1,38(\text{m}^2\cdot\text{K})/\text{Вт}$. В подальшому саме значення термічного опору використовуватиметься для комплексного оцінювання доцільності впровадження заходів.

Захід 1: Утеплення зовнішніх стін будівлі. Зовнішнє утеплення стін - спеціалізована область в будівництві і ремонті кожної будівлі. Надійне утеплення фасаду - одне з основних завдань, що дозволяє надати кожній новій будівлі унікальний вигляд, а також відновити те що вже існує. Зовнішнє утеплення фасадів будинку – має ряд переваг: утримує тепло без втрати внутрішнього простору, надійний захист стін від несприятливих погодних умов, здатність стін дихати, забезпечення надійної звуко- і теплоізоляції, а також гарантовано довгий безремонтний термін

експлуатації. Зовнішнє утеплення фасадів є переважним, з ряду причин. Це зокрема захист несучих конструкцій від кліматичних дій, відсутність зменшення корисної площі приміщення і поліпшення зовнішнього вигляду будівлі

Для впровадження даного заходу необхідно закупити матеріали, наведені в таблиці 6.1.

Таблиця 6.1 – Матеріали для утеплення

Матеріал	Марка	Товщина, м	Коефіцієнт тепло-провідності Вт/(м*К)	Термічний опір, (м ² К)/Вт
мінеральна вата	Ро-клайт	0,1	0,045	2,2
пінополістирол	ПСБ-35	0,1	0,04	2,5
клеєва суміш	Ceresit СТ-83	0,02	0,93	0,02
грунтовка	Ceresit СТ-16	0,002	0,6	0,003
фасадні дюбелі	-	-	-	-
склосітка	Baumit	-	-	-
штукатурка	Knauf Rotband	0,008	0,81	0,025
декоративна шпаклівка	Knauf Finish	0,005	0,7	0,007
фарба	Ceresit СТ-48	0,001	0,5	0,002

Враховуючи термічні опори застосовуваних матеріалів та їх товщини, термічний опір стін після утеплення матиме наступне значення:

$$K_{ст.н} = 2,5 + 0,02 + 0,003 + 0,025 + 0,007 + 0,002 + 1,38 = 4 (м^2 \cdot К) / Вт$$

Для наступного визначення доцільності впровадження заходів пропонується введення коефіцієнта технічної ефективності ($K_{т.е.}$), що являє собою відношення технічних параметрів до впровадження заходів та після. В даному випадку, відношення початкового та кінцевого термічних опорів:

$$K_{т.е.} = \frac{R_1}{R_2}$$

Відповідно, відношення попереднього значення термічного опору до нового буде становити:

$$K_{т.е.1} = \frac{1,38}{4} = 0,345$$

Захід 2: Заміна вікон. Сучасні металопластикові вікна мають значну перевагу над старими дерев'яними вікнами. Враховуючи досить значну площу застосування, навіть невелика різниця в термічному опорі може дати значну економію. Термічний опір старих вікон становить $0,37(\text{м}^2\cdot\text{К})/\text{Вт}$. Термічний опір сучасних металопластикових вікон дорівнює $0,44(\text{м}^2\cdot\text{К})/\text{Вт}$.

Захід 3: Встановлення системи припливно-витяжної вентиляції. Система вентиляції є важливою складовою інженерних систем будівлі. Вона забезпечує надходження необхідної кількості свіжого повітря в приміщення, тобто створює умови для забезпечення необхідного значення кратності повітрообміну. Водночас, система вентиляції слугує джерелом втрат теплової енергії, оскільки припливне повітря в зимовий період необхідно нагрівати, та навпаки – охолоджувати влітку.

Для забезпечення нормального значення кратності повітрообміну та зменшення витрат теплової енергії на догрів вентиляційного повітря використовуються системи припливно-витяжної вентиляції. Принципи роботи системи в тому, що для підігрівання повітря, що надходить у приміщення, використовується теплота викидуваного повітря.

Захід 4: Альтернативою системі припливно-витяжної вентиляції є встановлення побутових рекуператорів повітря. Побутові рекуператори повітря встановлюються безпосередньо в кожному приміщенні будівлі. Перевагою встановлення подібних пристроїв є відсутність необхідності наявності вентиляційних шахт чи їх створення. До недоліків можна віднести низьку ефективність як в плані кратності повітрообміну так і підігріву чи охолодження припливного повітря.

Захід 5: Модернізація індивідуального теплового пункту. Модернізація ІТП зазвичай включає в себе комплекс змін, наприклад: заміна теплообмінника, запірної арматури, утеплення трубопроводів, встановлення автоматизованого регулювання. Всі ці заходи дають значне зростання рівня ефективності використання теплової енергії. Ефект від

впровадження заходу можна оцінити, порівнявши фактичне споживання теплової енергії та прогнозоване після впровадження заходу.

6.2. Особливості визначення економічних показників доцільності впровадження заходів з підвищення енергетичної ефективності

Економічна оцінка може проводитися в кілька етапів. По мірі уточнення умов і характеристик проекту збільшується глибина і деталізація розрахунків.

Термін окупності (Т) - це період часу, за який початкові витрати на реалізацію проекту покриваються сумарними результатами (економією) від його здійснення, він показує, як довго кошти будуть заморожені в проекті. Термін окупності можна вважати із застосуванням коефіцієнта дисконтування або без нього. Дисконтований термін окупності завжди довше, ніж простий, але правильніше відображає реальний стан справ, особливо в умовах ринкової економіки і зміни вартості грошей.

Один із способів розрахунку дисконтованого строку окупності - послідовно підсумовувати сальдовані дисконтовані грошові потоки кожного періоду (року) до тих пір, поки ця сума не зрівняється з сумою початкових інвестицій. Значення року, протягом якого значення дисконтованого ефекту перевищить величину інвестицій, є терміном окупності проекту. Показник терміну окупності інвестицій хороший простотою розрахунків, проте не показує результатів проекту за кордоном терміну окупності і не дозволяє розрізнити проекти з однаковою сумою грошових ефектів, але різним їх розподілом по роках.

Некоректно порівнювати проекти лише на основі первинних інвестицій в них, адже може виявитися, що за сумою витрат до повного зносу проект з меншими капітальними вкладеннями виявиться більш дорогим, а значить, менш вигідним. На відміну від терміну окупності,

витрати за термін служби дозволяють побачити грошові потоки за межами терміну окупності. Показник застосовується для порівняльного аналізу варіантів, рівних за результатами, а також для порівняння альтернативних заходів різної тривалості, даючи уявлення про повну величину витрат на проект протягом всього життєвого циклу.

Для розрахунку необхідно врахувати витрати за весь життєвий цикл проекту (встановленого або модернізованого обладнання, відремонтованої ділянки та ін), в т.ч.: початкові інвестиції, установку, пуско-наладку, експлуатацію, в т.ч. витрати на енергоресурси, воду, робочу силу; а також техобслуговування, капремонт, утилізацію. Можуть бути, в залежності від ситуації, також враховані амортизація, податки, відсоток за користування кредитом. Найкращим є варіант, якому відповідає мінімальне значення даного показника.

NPV (Net Present Value) – найбільш універсальний і найбільш поширений з фінансово-економічних показників оцінки інвестпроектів. На відміну від витрат за термін служби, враховує не тільки витрати протягом життєвого циклу, а й ефект від реалізації заходів (що досягається економією). При заданій нормі дисконту, витрати і доходи в майбутніх періодах NPV (формула (2.1) показує, який грошовий потік принесе проект за конкретний період. Являє собою суму чистої економії за весь розрахунковий період з урахуванням зміни вартості грошей.

$$NPV = -Inv + \sum_{i=1}^n \frac{(E_i - C_i)}{(1+r)^i},$$

де n – кількість років в періоді; i – поточний рік; Inv – інвестиції в проект; E_i – економія за період; C_i – поточні витрати за період; r – норма дисконту.

Якщо $NPV > 0$ – грошовий потік проекту за конкретний термін при конкретній ставці дисконтування покрив своїми надходженнями інвестиції та поточні витрати, тобто забезпечив мінімальний дохід, заданий ставкою дисконтування, плюс дохід, рівний отриманому значенню NPV.

Якщо $NPV=0$ – проект покрив інвестиції і поточні витрати і забезпечив мінімальний дохід, заданий ставкою дисконтування. Тоді дохід власників не зміниться, але вартість компанії збільшиться на суму інвестицій.

Якщо $NPV<0$ проект в розглянутий період не забезпечив навіть мінімального доходу, закладеного в ставці дисконтування, а можливо, не покрив навіть інвестиції та поточні витрати. Чим вище NPV , тим краще, при виборі з декількох варіантів зазвичай вибирається той, чий NPV за певний період вище.

Проект можна прийняти, якщо індекс рентабельності перевищує одиницю; проект відкидається, якщо індекс прибутковості менше одиниці. Чим вище індекс рентабельності, тим вдаліший проект.

Внутрішня норма прибутковості IRR (Internal Rate of Return) чисельно дорівнює нормі дисконту, при якій сума дисконтованих притоків грошових коштів дорівнює величині дисконтованих відтоків грошових коштів за розрахунковий період, тобто $NPV = 0$.

$$Inv = \sum_{i=1}^n \frac{(E_i - C_i)}{(1 + IRR)^i}$$

Щоб знайти IRR на практиці, треба послідовно підбирати варіанти ставки дисконтування, поки не вийде рівність між сумами дисконтованих доходів і інвестицій. У програмному пакті MS Excel є функція для обчислення цього показника, в російськомовній версії вона називається ВСД (Внутрішня ставка прибутковості). Розрахована IRR порівнюється з необхідною інвестору нормою доходу на вкладений капітал – якщо отримане значення дорівнює або вище, інвестиції ефективні. Показник також визначає максимальну величину відсотка по кредиту, який може бути обслужений доходом від реалізації проекту. Залучення коштів під більший відсоток буде збитковим. Можна порівняти IRR зі ставкою дисконту. Якщо $IRR>r$, проект окупає витрати, забезпечує прибуток у розмірі ставки

дисконтування, плюс додатковий прибуток (в абсолютній величині вона дорівнює значенню NPV).

Так ми отримуємо наведені (дисконтовані) суми грошового потоку в кожному з майбутніх періодів протягом життєвого циклу проекту. Потім вважаємо їх накопичувальну суму по роках і порівнюємо з початковими інвестиціями. У той період, коли сума наведеної чистої економії перевищить інвестиції, настане дисконтований термін окупності проекту. Величина перевищення ефекту над інвестиціями (або від'ємне значення недосягнення суми економії початкових витрат) в конкретному майбутньому періоді показує NPV проекту в цьому періоді. Найбільш часто застосовним показником є. До числа пріоритетних проектів з точки зору фінансового аналізу необхідно віднести ті, у яких максимальний чистий дисконтований дохід (NPV) або індекс прибутковості інвестицій (IRR) поєднується з мінімальним дисконтованим терміном окупності (DPB), який знаходиться за формулою:

$$DPB = \sum_{i=1}^n \frac{Inv}{(1+r)^i}$$

Однак для об'єктивного оцінювання доцільності та ефективності впровадження заходів з підвищення енергоефективності необхідно розглядати технічні та фінансові показники комплексно.

Приведемо приклад розрахунку економічних показників для заходів, розглянутих в 6.1.

Таблиця 6.1 – Економічні параметри Заходу 1

NPV	57 162,63	NPVQ	0,124184
Період	-	-	-
0	-460306		-460306
1	53280	50742,86	-409563
2	53280	48326,53	-361237
3	53280	46025,27	-315211
4	53280	43833,59	-271378
5	53280	41746,27	-229631
6	53280	39758,36	-189873
7	53280	37865,1	-152008

8	53280	36062	-115946
9	53280	34344,76	-81601,3
10	53280	32709,3	-48892
11	53280	31151,71	-17740,3
12	53280	29668,3	11928,05
13	53280	28255,52	40183,57
14	53280	26910,02	67093,59
15	53280	25628,59	92722,18

Для

подальшого використання, знадобляться наступні показники: $NPVQ_1=0.12$,
 $NPV_1=57162$ грн, DPP_1 – 11 років та 7 місяців

Висновки

1. Проведений аналіз побудови та функціонування системи оцінювання доцільності заходів показав, що є доцільність створення таких технологій та це надає змогу підвищити рівень енергоефективності. Шлях до підвищення ефективності впровадження енергозберігаючих заходів є однією з основних особливостей застосування енергоефективних технологій в комунальній сфері, також є значний потенціал використання таких технологій, завдяки орієнтації на інтеграцію в Європейський Союз.

2. Виконано аналіз методу розрахунку математичної моделі оцінювання рівня доцільності впровадження енергозберігаючих заходів, що дає змогу розрахунку оцінки інтегрального показника доцільності за допомогою здійснених порівнянь ефективності заходів однієї групи. Такий метод дозволить здійснити порівняння різних варіантів проектів з підвищення енергоефективності.

3. Запропоновано алгоритм оцінювання доцільності впровадження енергозберігаючих заходів, а саме метод графічної оцінки декількох заходів, де на основі технічних та економічних показників формується порівняльна діаграма.

4. Було розроблено алгоритм оцінювання ефективності впровадження енергозберігаючих заходів, проведено його апробацію. Методика показує результат, на основі якого можна оцінювати проекти та приймати рішення.

Список використаної літератури

1. Додонов Б. Моніторинг енергоефективності України 2015.
URL:
https://www.ua.undp.org/content/ukraine/uk/home/library/environment_energy/energy_efficiency_ukraine2015.html
2. Міністерство енергетики та вугільної промисловості України, «НЕК «Укренерго», Науково-технічний центр електроенергетики. Аналіз ефективності використання енергоресурсів у розвинених зарубіжних країнах і залежність від їх імпорту. URL:
https://ua.energy/wpcontent/uploads/2018/01/1.-Efektyvnist_energ_resursiv.pdf
3. Указ президента України Про стратегію сталого розвитку “Україна – 2020”. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/5/2015#Text>
4. ДИРЕКТИВА ЄВРОПЕЙСЬКОГО ПАРЛАМЕНТУ І РАДИ 2009/125/ЄС від 21 жовтня 2009 року про рамки для встановлення вимог до екодизайну для пов’язаних з енергоспоживанням продуктів (нова редакція). URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/984_011-09#Text
5. Розпорядження Кабінету Міністрів України від 25 листопада 2015 р. № 1228-р Про Національний план дій з енергоефективності на період до 2020 року. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1228-2015-%D1%80#Text>
6. Навчальний посібник для посадових осіб місцевого самоврядування. Енергоефективність в муніципальному секторі. URL: <https://enefcities.org.ua/upload/files/3energoefweb%281%29.pdf>
7. Міністерство енергетики та вугільної промисловості України «НЕК «Укренерго» Науково-технічний центр електроенергетики. Законодавче та нормативно-правове стимулювання підвищення ефективності використання енергетичних ресурсів у провідних зарубіжних країнах. URL:

<https://ua.energy/wp-content/uploads/2017/05/1.Zakonodavche-stymulyuvannya-energoefektyvnosti.pdf>

8. Закон України Про енергозбереження. Відомості Верховної Ради України (ВВР), 1994, № 30, ст.283. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/74/94-%D0%B2%D1%80#Text>

9. МІНІСТЕРСТВО РЕГІОНАЛЬНОГО РОЗВИТКУ, БУДІВНИЦТВА ТА ЖИТЛОВО-КОМУНАЛЬНОГО ГОСПОДАРСТВА УКРАЇНИ НАКАЗ від 11.07.2018 № 170 Про затвердження Методики визначення економічно доцільного рівня енергетичної ефективності будівель. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0823-18#Text>

10. Проект наказу Мінрегіону “Про затвердження мінімальних вимог до енергетичної ефективності будівель”. URL: <https://www.minregion.gov.ua/base-law/grom-convers/elektronni-konsultatsiyi-z-gromadskisty/proekt-nakazu-minregionu-pro-zatverdzhennya-minimalnyh-vymog-do-energetychnoyi-efektyvnosti-budivel/>

11. Закон України Про енергетичну ефективність будівель. Відомості Верховної Ради (ВВР), 2017, № 33, ст.359. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2118-19#Text>

12. МІНІСТЕРСТВО РЕГІОНАЛЬНОГО РОЗВИТКУ, БУДІВНИЦТВА ТА ЖИТЛОВО-КОМУНАЛЬНОГО ГОСПОДАРСТВА УКРАЇНИ. НАКАЗ від 11.07.2018 № 172 Про затвердження Порядку проведення сертифікації енергетичної ефективності та форми енергетичного сертифіката. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0825-18#Text>

13. МІНІСТЕРСТВО РЕГІОНАЛЬНОГО РОЗВИТКУ, БУДІВНИЦТВА ТА ЖИТЛОВО-КОМУНАЛЬНОГО ГОСПОДАРСТВА УКРАЇНИ НАКАЗ від 11.07.2018 № 169 Про затвердження Методики визначення енергетичної ефективності будівель. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0822-18#Text> 113

14. В.В. Джеджула МЕТОДИЧНІ ПІДХОДИ ДО ОЦІНКИ ЕКОНОМІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ ЕНЕРГОЗБЕРІГАЮЧИХ ЗАХОДІВ. Хмельницький національний університет 2013.

15. Е.М.Фрейдкина. ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИХ МЕРОПРИЯТИЙ. Учебное пособие 2018. URL: http://nizrp.narod.ru/metod/kafeconiorgpr/2019_01_25_01.pdf

16. ДСТУ Б А.2.2-12:2015 ЕНЕРГЕТИЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ БУДІВЕЛЬ. Метод розрахунку енергоспоживання при опаленні, охолодженні, вентиляції, освітленні та гарячому водопостачанні. URL: https://thermomodernisation.org/wp-content/uploads/2017/11/1781____.2.2-12.pdf

17. ДБН В.2.6-31:2016 Теплова ізоляція будівель. URL: <https://gazobeton.org/sites/default/files/sites/all/uploads/DBN-V.2.6-31-2016-Теплова-izolyatsiya-budivel.pdf>

18. М.І. Федорук. БАГАТОКРИТЕРІАЛЬНА ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ ІНВЕСТУВАННЯ В ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ МЕТОДОМ АНАЛІЗУ ІЄРАРХІЙ. Прикарпатський національний університет імені Василя Стефаника. URL: <file:///C:/Users/Eduard%20Ovcharenko/Downloads/357-719-1-SM.pdf>

19. ДСТУ-Н Б А.2.2-13:2015. ЕНЕРГЕТИЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ БУДІВЕЛЬ. НАСТАНОВА З ПРОВЕДЕННЯ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ ОЦІНКИ БУДІВЕЛЬ. URL: https://thermomodernisation.org/wp-content/uploads/2017/11/1783_-.2.2-13_2015.pdf

20. Є.М.Іншеков, Є.Є.Нікітін, М.В.Тарновский, А.В.Чернявський. ПОСІБНИК З МУНІЦИПАЛЬНОГО ЕНЕРГЕТИЧНОГО МЕНЕДЖМЕНТУ. URL: <https://enefcities.org.ua/upload/files/Publications/Municipal%20energy%20management.pdf>

21. ДСТУ-Н Б А.2.2-5:2007. Настанова з розроблення та складання енергетичного паспорту будинків при новому будівництві та реконструкції.[Чинний від 2008-07-01]. Київ, 2008. - 49 с. (Національний стандарт України).

22. ДСТУ Б В.2.2-39:2016. Методи та етапи проведення енергетичного аудиту будівель. [Чинний від 2017-01-01]. Київ, 2016. - 50 с. (Національний стандарт України).

23. Деякі питання використання коштів у сфері енергоефективності та енергозбереження: постанова Кабінету Міністрів України від 17 жовтня 2011р. №1056 // Офіційний вісник України. – 2011. – №51.

24. Бориченко О.В., Чернявський А.В. Визначення пріоритетності об'єктів для проведення енергетичного моніторингу. Technology audit and production reserves. - 2018. Том 3, №1(41).

25. ДСТУ ISO 50006:2016 Системи енергетичного менеджменту.Вимірювання рівня досягнутої енергоефективності з використанням базових рівнів енергоспоживання та показників енергоефективності. [Чинний від 2016-04-29].Київ, 2016. (Національний стандарт України).

26. Розроблення стартап-проекту [Електронний ресурс]: Методичні рекомендації до виконання розділу магістерських дисертацій для студентів інженерних спеціальностей / За заг. ред. О.А. Гавриша. – Київ : НТУУ «КПІ», 2016. – 28 с.

27. Бондар-Підгурська О. В. Науково-методичні підходи до оцінки енергоефективності як фактора конкурентоспроможності промислової продукції в інноваційній моделі розвитку України. Наукові праці Кіровоградського національного технічного університету. Економічні науки. Кіровоград, 2012. Вип. 22, ч.ІІ. С. 470.

28. Енергоефективність як ресурс інноваційного розвитку: Національна доповідь про стан та перспективи реалізації державної

політики енергоефективності у 2008 році / С.Ф. Єрмілов, В.М. Геєць, Ю.П. Ященко, В.В. Григоровський, В.Е. Лір та ін. Київ : НАЕР, 2009. 93 с.

29. Єрмілов С.Ф. Державна політика енергоефективності в українському та європейському контексті: матеріали VII Міжнародного енергоекологічного конгресу «Енергетика. Екологія. Людина», м. Київ, березень 2007 р. Київ, 2007. С. 133–136.

30. Микитенко В.В. Енергоефективність промислового виробництва: монографія. Київ: Об'єднаний інститут економіки НАН України, 2004. 282с.

31. Рубан-Максимець О.О. Особливості розрахунку показників енергетичної ефективності на базі статистичної звітності України. Проблеми загальної енергетики. Київ, 2009. № 20. С. 21–26.

32. Дешко В.І., Шовкалюк М.М., Шевченко О.М., Шовкалюк Ю.В. Аналіз нормативів споживання теплоти в Україні та світі. Нова тема. 2018. №2. С. 6–10.

33. Фаренюк Г.Г. Основи забезпечення енергоефективності будинків та теплової надійності огорожувальних конструкцій. Київ : Гама - Принт, 2019. 216 с.

34. Directive 2010/31/eu of the European parliament and of the council of 19 May 2010 on the energy performance of buildings (recast). Official Journal of the European Communities. 2010. № L153. P. 13-35.

35. Праховник А. В., Дешко В. І., Шевченко О. М.. Енергетична сертифікація будівель. Наукові вісті НТУУ «КПІ». 2011. № 1. С. 140–153.

36. Ковалко М.П., Денисюк С.П. Енергозбереження – пріоритетний напрямок державної політики України : Українські енциклопедичні знання. Київ, 1998. 512 с.

37. Широков Є. Екодім нульового енергоспоживання: вигідно, швидко, корисно – Енергозбереження Поділля. – 2010. – №2