

КАТАЛОГ ТЕХНІЧНИХ РІШЕНЬ

для інженерних систем житлових та громадських будівель,
відповідно до вимог майже нульового енергоспоживання

АВТОР: В. ЛИТВИН



АНОТАЦІЯ

Ця публікація містить систематизований каталог технічних рішень для інженерних систем житлових і громадських будівель, спрямованих на досягнення характеристик, що відповідають вимогам до будівель з близьким до нульового енергоспоживання (NZEB).

У документі викладено основні технічні вимоги до NZEB-будівель та рекомендовані підходи до проєктування та модернізації інженерних систем. Значна увага приділена практичним рішенням, зокрема впровадженню:

- систем індивідуального теплопостачання та погодозалежного регулювання,
- теплових насосів,
- сонячних електростанцій (СЕС),
- систем вентиляції з рекуперацією тепла,
- автоматизації та енергомоніторингу,
- біопаливних котлів,
- зовнішніх систем затінення.

Окремий розділ присвячено переліку перевірених рішень для кожного типу інженерних систем, що дозволяють досягати енергоефективності відповідно до чинних нормативів та стандартів (зокрема ДСТУ 9190).

Публікація стане у нагоді фахівцям у сфері проєктування, модернізації та управління будівлями, представникам громад та органів місцевого самоврядування, які планують впровадження ВДЕ та покращення енергоефективності будівель.

Цей звіт підтриманий Європейською кліматичною фундацією. Відповідальність за інформацію та погляди, висловлені у цьому звіті, лежить на авторах. Європейська кліматична фундація не може бути визнана відповідальною за будь-яке використання інформації, яка викладена в цьому звіті.

ЗМІСТ

Вступ	4
1 Основні технічні вимоги до NZEB-будівель (будівель з близьким до нульового енергоспоживання) та підходи до їх досягнення	5
2 Результуючі вимоги до окремих інженерних систем	12
2.1 Вимоги до інженерних систем NZEB-будівель	12
3 Загальні підходи до реалізації концепції NZEB будівель в частині інженерних систем	15
3.1 Система опалення та індивідуальне регулювання	15
3.2 Встановлення індивідуальних теплових пунктів з погодозалежним регулюванням та функціями енергомоніторингу	16
3.3 Теплові насоси з інтеграцією з системами гарячого водопостачання, опалення та охолодження	18
3.4 Сонячні електростанції (СЕС)	19
3.5 Система централізованої механічної вентиляції з рекуперацією тепла	20
3.6 Використання біопаливних котлів	21
3.7 Система енергетичного моніторингу та автоматизації інженерних систем будівлі	21
4 Перелік технічних рішень для будівель з близьким до нульового рівнем споживання енергії	23
4.1 Вентиляція	23
4.1.1 Централізована вентиляція з рекуперацією тепла	23
4.1.2 Індивідуальні вентиляційні блоки (по приміщенням)	27
4.2 Встановлення індивідуальних теплових пунктів з погодозалежним регулюванням та функціями енергомоніторингу	28
4.3 Система опалення та індивідуальне регулювання	32
4.3.1 Вибір системи виділення тепла	32
4.3.2 Автоматичні терморегулятори	33
4.4 Теплові насоси з інтеграцією з системами гарячого водопостачання, опалення та охолодження	34
4.4.1 Комбінація теплових насосів з фотоелектричними сонячними панелями	35
4.4.2 Профіль протягом доби	35
4.4.3 Оптимізація споживання	36
4.5 Сонячні електростанції (СЕС)	38
4.5.1 Основні принципи проєктування СЕС	39
4.5.2 Складові системи СЕС	40
4.5.3 Взаємодія із системами тепlopостачання	41
4.5.4 Акумуляція енергії	41
4.5.5 Автоматизація та моніторинг	42
4.6 Автоматичні системи зовнішнього затінення (рафштори)	42
Висновки та рекомендації	44
Джерела	45
Додаток 1. Вимоги до будівель з близьким до нульового рівнем споживання енергії, що впливають на вибір інженерних систем	47
Додаток 2. Перелік інженерних систем, що мають найвищу ефективність відповідно до стандарту розрахунку енергоспоживання будівлями ДСТУ 9190 Енергетична ефективність будівель метод розрахунку енергоспоживання під час опалення, охолодження, вентиляції, освітлення та гарячого водопостачання	51

ВСТУП

Будівництво будівель NZEB має на меті суттєво знизити енергоспоживання та підвищити енергетичну автономність будівель, а як результат залежність країни від викопних імпортованих джерел енергії.

Зазначені цілі досягаються, як за рахунок підвищених вимог до теплоізоляційної оболонки будівель, так і за рахунок ефективної роботи інженерних мереж. З огляду на досить високі вимоги до оболонки будівель щодо її теплоізоляційних властивостей та повітропроникності питома вага трансмісійних тепловтрат в енергетичному балансі будівель NZEB стає незначною, а питання ефективної роботи систем опалення, вентиляції та кондиціонування виходить на перший план.

Зазначений документ ставить на меті розглянути можливі технічні рішення інженерних систем будівель, що дозволять досягнути стандарту NZEB як з огляду виконання прямих вказівок щодо наявності чи ефективності тих чи інших систем так і з огляду на необхідність досягнення встановлених мінімальних вимог щодо питомого споживання первинної енергії.

Запропоновані рішення обиралися не лише з огляду на формальне досягнення вимог, а й на їх економічну ефективність, доступність їх на ринку, а також з огляду на вплив на зовнішні енергетичні мережі. Окрім того акцентується увага на заходах, що ефективні вже зараз і можуть бути реалізовані як перший крок до досягнення стандарту NZEB, а також на підвищенні надійності енергопостачання. Так зокрема, описані підходи щодо використання надлишків енергії та скидного тепла на гаряче водопостачання, а також використання переваг ринку електроенергії і опосередкований вплив на загальнодержавне скорочення викидів вуглекислого газу.

Звіт містить перелік технічних рішень для систем опалення, вентиляції, кондиціонування, гарячого водопостачання, а також їх комбінації з оцінкою впливу на досягнення вимог національного стандарту NZEB. Вимоги та рекомендації щодо огорожувальних конструкцій розглядалися окремо та не входять до даного звіту.

1. ОСНОВНІ ТЕХНІЧНІ ВИМОГИ ДО NZEB-БУДІВЕЛЬ (БУДІВЕЛЬ З БЛИЗЬКИМ ДО НУЛЬОВОГО ЕНЕРГОСПОЖИВАННЯ) ТА ПІДХОДИ ДО ЇХ ДОСЯГНЕННЯ

Нижче наведені основні критерії, що дозволяють класифікувати будівлю як таку, що належить до будівель з низьким споживанням енергії (NZEB) та опис основних заходів, що мають бути реалізовані на виконання зазначених вимог.

1) Клас енергоефективності будівлі

Для нових будівель передбачається досягнення класу енергоефективності не нижче «А». У випадку реконструкції – не нижче класу «В».



Рисунок 1.1 – Шкала ефективності енергоспоживання

Як може бути досягнута вимога:

- архітектурні рішення для підвищення «компактності будівлі» - зниження відношення зовнішніх огорожувальних конструкцій до опалювальної площі/об'єму;
- високий рівень теплоізоляції;
- ефективне регулювання та розподіл енергії в системах опалення, вентиляції та кондиціонування;
- застосування системи рекуперації повітря;
- використання теплових насосів (бажано з високим COP).

2) Споживання первинної енергії (EPp)

Будівля має відповідати граничним показникам річного споживання первинної енергії (кВт·год/м²·рік), які залежать від її функціонального призначення, поверховості та кліматичної зони. Наприклад, для нових житлових будівель у 1-й кліматичній зоні ці показники не повинні перевищувати 40–70 кВт·год/м²·рік. (додаток 1).

ФАКТОРИ ПЕРВИННОЇ ЕНЕРГІЇ ($f_{p,del,i}$),
де ($f_{p,del,i,ren}$) - для невідновлювальних видів енергії,
($f_{p,del,i,ren}$) - для відновлювальних видів енергії,
та коефіцієнти викидів парникових газів CO₂ ($K_{del,i}$)

№ п/з	Енергоносії		$f_{p,del,i,ren}$	$f_{p,del,i,ren}$	$f_{p,del,i}$	$K_{del,i}$ (г/кВт × год)
	Невідновлювальні					
1	Горючі корисні копалини	тверді	1,1	0	1,1	360
2		скраплені	1,1	0	1,1	290
3		газоподібні	1,1	0	1,1	220
4	Біологічне паливо	тверде	0,2	1	1,2	40
5		скраплене	0,5	1	1,5	70
6		газоподібне	0,4	1	1,4	100
7	Електрична		2,3	0,2	2,5	420
	Централізований					
8	Централізоване опалення ^{а)}		1,3	0	1,3	260
9	Централізоване охолодження		1,3	0	1,3	260
	Виробленні на місці					
10	Сонячна	фотоелектрична	0	1	1	0
11		Теплова	0	1	1	0
12	Вітрова		0	1	1	0
13	Природня	гео-,аеро-, гідротермальна	0	1	1	0
	Експортована					
14	Електрична	ніколи не перероблена	2,3	0,2	2,5	420
15		тимчасово експортована та перероблена пізніше	2,3	0,2	2,5	420
16		не застосована в енергоефективності будівель	2,3	0,2	2,5	420

а) значення за замовчуванням для котлів, що працюють на природному газі

Рисунок 1.2 – Коефіцієнти переведення в первинну енергію для різних джерел енергії

Як може бути досягнута вимога:

- виконання вимог відповідно до п. 1;
- застосування в системі опалення теплових насосів з середньосезонним COP не нижче ніж 2,3;
- застосування відновлювальних джерел енергії на об'єкті – переважно сонячних електростанцій.

3) Частка відновлюваних джерел енергії (ВДЕ)

Не менше 53% у I кліматичній зоні має покриватися за рахунок ВДЕ (сонячна енергія, теплові насоси, біомаса тощо).



Рисунок 1.3 – Альтернативні джерела енергії для енергопостачання будівлі

Як може бути досягнута вимога:

- виконання вимог до п. 1, що полегшить реалізацію умов по досягненню частки відновлювальних джерел (їх необхідна потужність буде нижчою);
- застосування сонячних електростанцій;
- застосування теплових насосів з COP (бажано в комбінації з сонячними електростанціями);
- застосування котлів на біомасі.

4) Теплотехнічні характеристики огорожувальних конструкцій

Значення приведенного опору теплопередачі зовнішніх стінових огорожувальних конструкцій, суміщеного покриття, що межує із зовнішнім повітрям, покриття опалюваних горищ (технічних поверхів), мансард, покриття неопалюваних горищ, перекриття, що межує із зовнішнім повітрям, та над неопалюваними підвалами, зовнішніх дверей мають бути не менше значень, наведених у таблиці 1 ДБН В.2.6-31:2021.

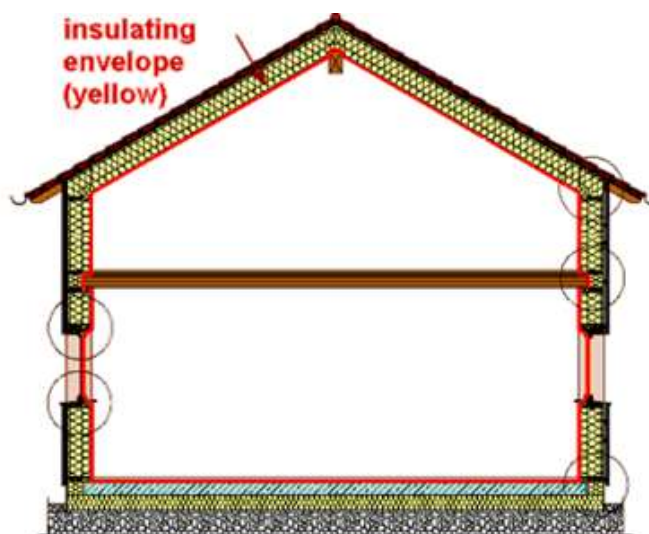


Рисунок 1.4 – Забезпечення герметичної та теплоізоляційних властивостей оболонки будівлі.

Товщина теплоізоляційних матеріалів огорожувальних конструкцій будівлі має становити не менше ніж:

- 100 мм для підлог по ґрунту;
- 200 мм для зовнішніх стінових огорожувальних конструкцій;
- 300 мм для покриття опалюваних горищ (технічних поверхів), мансард, горищних перекриттів неопалюваних горищ;
- 400 мм для суміщених покриттів, що межують із зовнішнім повітрям.

Як може бути досягнута вимога:

- забезпечення вимог щодо товщини теплоізоляції з мінімізацією містків холоду;
- похідною вимогою є низька інерційність системи опалення (радіаторна, повітряна), що дозволяла б забезпечення швидкої реакції на наявність зовнішніх та внутрішніх теплопритоків.

5. Повітропроникність огорожувальних конструкцій (q_{50})

Для нових будівель – не більше $1,0 \text{ м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{год} \cdot \text{Па})$, для реконструйованих – не більше $2,0 \text{ м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{год} \cdot \text{Па})$.

Як може бути досягнута вимога:

- Забезпечення герметичної оболонки будівлі з одночасним впровадженням ефективної системи вентиляції з рекуперацією;



Рисунок 1.5 – Поєднання повітронепроникної конструкції будівлі з ефективною системою вентиляції з рекуперацією

6. Вентиляція з рекуперацією тепла

Передбачена обов'язкова установка механічної припливно-витяжної вентиляції з рекуперацією тепла, відповідно до сучасних вимог щодо забезпечення мікроклімату та енергоефективності. Вимоги:

- механічна припливно-витяжна вентиляція з рекуперацією тепла (утилізатором);
- коефіцієнт корисної дії теплообміну - не менше 70%;
- автоматизоване управління (залежно від рівня CO₂, вологості або заданого режиму роботи);

- вентиляційні установки мають мати енергоефективний клас не нижчий А, згідно з EN15232;
- при включенні системи або тесті при 50 Па, значення q_{50} не повинне перевищувати $1 \text{ м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{год} \cdot \text{Па})$ для нових будівель (до 2,0 для реконструйованих);
- використовуються фільтри не нижче класу F7, які ефективно очищують приплив від пилу.

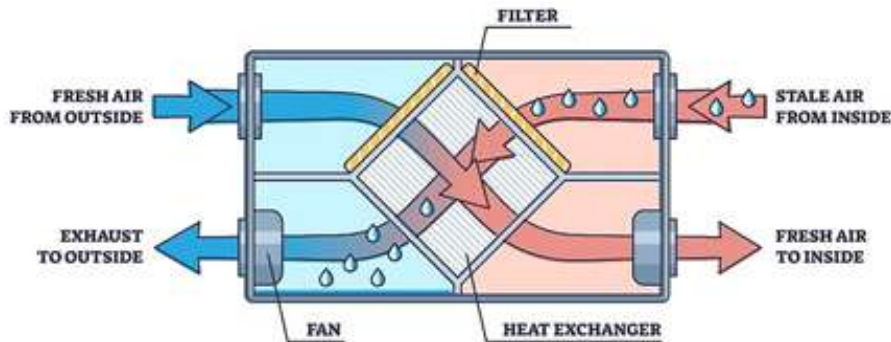


Рисунок 1.6 – Схема роботи вентиляційної установки з рекуперацією

Як може бути досягнута вимога:

- впровадження ефективної системи вентиляції з рекуперацією.

7. Інженерні системи з автоматизацією класу «А»

Системи опалення, вентиляції, кондиціонування, освітлення та гарячого водопостачання мають бути оснащені автоматикою управління не нижче класу «А», згідно з національними та європейськими стандартами.

Рисунок 1.7 – Термостатичний регулятор з високим класом енергоефективності



Як може бути досягнута вимога:

- якісний підбір обладнання.

8. Використання сонячних панелей та теплових насосів

Системи ВДЕ мають забезпечувати як виробництво електричної, так і теплової енергії для внутрішніх потреб будівлі. Розмір таких систем обирається із розрахунку мінімального покриття енергоспоживання відповідно до цільового класу.



Рисунок 1.8 – Максимально можливе заповнення дахового простору сонячними панелями

Як може бути досягнута вимога:

- архітектурні рішення, що дозволяють розміщення сонячних панелей з орієнтацією на південь;
- використання сонячних панелей високої ефективності;
- використання систем накопичення, що дозволятимуть використовувати сонячну енергію поза періодом сонячної інсоляції;
- встановлення систем опалення, що можуть працювати з низькотемпературним джерелом (для підвищення COP теплових насосів);
- встановлення теплових насосів.

9. Енергоефективне освітлення та побутове обладнання

Всі елементи освітлення та вбудована техніка повинні відповідати класу енергоефективності не нижче «А++».



Рисунок 1.9 – Маркування енергоефективності приладів та устаткування

Як може бути досягнута вимога:
якісний підбір обладнання.

10. Додаткові технічні вимоги

- забезпечення можливості обліку та енергомоніторингу;
- встановлення систем керування споживанням;
- урахування сезонної ефективності обладнання (SEER, SCOP) при підборі теплових насосів та систем кондиціонування.



Рисунок 1.10 – Система моніторингу енергоспоживання та керування інженерними системами

2. РЕЗУЛЬТУЮЧІ ВИМОГИ ДО ОКРЕМИХ ІНЖЕНЕРНИХ СИСТЕМ

Нижче наведені основні критерії, що дозволяють класифікувати будівлю як таку, що належить до будівель з низьким споживанням енергії (NZEB) та опис основних заходів, що мають бути реалізовані на виконання зазначених вимог.

Інженерні системи також впливають на клас енергоефективності, що відображено в стандарті по розрахунку енергопотреби та енергоспоживання для будівель (ДСТУ 9190 Енергетична ефективність будівель Метод розрахунку енергоспоживання під час опалення, охолодження, вентиляції, освітлення та гарячого водопостачання) – вибірка найбільш ефективних систем для досягнення високого класу наведена в Додатку 2.

2.1 ВИМОГИ ДО ІНЖЕНЕРНИХ СИСТЕМ NZEB-БУДІВЕЛЬ

1. Опалення

Використання систем класу А передбачає наявність:

- індивідуального регулювання температури в кожному приміщенні (BACS рівня 3);
- централізованого керування генератором тепла (оптимізація та погодозалежне регулювання);
- програмного ввімкнення/вимкнення системи відповідно до графіка експлуатації будівлі;
- автоматичного переривання подачі тепла за відсутності попиту або у разі відкриття вікон.

2. Вентиляція

Клас А включає:

- регулювання об'єму повітря відповідно до потреб (наприклад, VAV – змінна витрата повітря);
- управління вентиляційними установками на основі графіка експлуатації або датчиків присутності;
- керування рекуператором тепла;
- централізоване погодинне та зональне керування витяжними вентиляторами.

3. Охолодження

Для класу А передбачається:

- індивідуальне регулювання температури у приміщеннях;
- погодозалежне та оптимізоване керування охолоджувачами (чилерами);
- програмне керування насосами та вентиляторами в системах охолодження;
- автоматичне вимкнення охолодження при відсутності потреби або за умов відкритих вікон.

4. Освітлення

У класі А має бути реалізовано:

- керування освітленням за присутністю людей у приміщенні (вмикання/вимикання);

- автоматичне регулювання яскравості (деміювання) відповідно до рівня природного освітлення;
- розділення системи освітлення на зони з окремим управлінням;
- щоденне програмне керування ввімкненням/вимкненням освітлення залежно від графіка.

5. Інтегровані функції BACS та системи управління енергією (TBM)

Будівлі класу А мають бути оснащені:

- автоматизованою системою управління всіма інженерними системами (опалення, охолодження, вентиляція, освітлення);
- моніторингом і реєстрацією споживання енергії в реальному часі;
- функціями виявлення відхилень та формування повідомлень про несправності;
- інструментами аналізу та рекомендаціями для підвищення енергоефективності.

Таблиця 2.1.- Основні вимоги до інженерних систем будівлі для досягнення вимог NZEB

Опалення/Охолодження	Вентиляція	Зовнішнє затінення
-Автоматичне регулювання температури на рівні приміщень по фактичній потребі (за сигналами датчиків присутності). З прямим зв'язком між контролерами і SCADA - Змінна уставка температури теплоносія/холодоносія з компенсацією внутрішньої температури - Автоматичне регулювання швидкості циркуляційних насосів із забезпеченням постійного або змінного перепаду тиску - Повне взаємне блокування роботи систем опалення/охолодження - Реєстрація енергоспоживання опаленням/охолодженням по зонам	- Автоматичне регулювання витрати припливного/витяжного повітря на рівні приміщень по фактичній потребі (за сигналами датчиків якості повітря і присутності); - Безперервне (0-100%) регулювання витрати повітря на рівні приміщень; - Автоматичне регулювання повітряного потоку або тиску вентиляційних установок (з прямим зв'язком між контролерами приміщень і вентустановок); - Змінна уставка температури припливного повітря з компенсацією внутрішньої температури; - Реєстрація енергоспоживання вентиляції по установкам	- Моторизовані жалюзі з комбінованим автоматичним управлінням. Моніторинг і управління освітленням/жалюзями

Таблиця 2.2. - Опис функції для досягнення вимог NZEB

№	Підсистема / Функція	Клас А – опис функції
1	Індивідуальне регулювання приміщень	Індивідуальне регулювання температури у приміщеннях (BACS рівня 3)
2	Регулювання генератора тепла	Оптимізація + погодозалежне регулювання
3	Регулювання теплового насоса	Оптимізація + погодозалежне регулювання
4	Регулювання системи теплопостачання	Оптимізація подачі тепла відповідно до потреб
5	Керування системою теплопостачання	Централізоване керування з функцією програмування ввімкнення/вимкнення
6	Індивідуальне регулювання охолодження	Індивідуальне регулювання температури у приміщеннях
7	Регулювання охолоджувача (чилера)	Оптимізація + погодозалежне регулювання
8	Регулювання холодопостачання	Оптимізація подачі холоду відповідно до потреб
9	Керування холодопостачанням	Централізоване керування з програмованим графіком
10	Індивідуальне керування вентиляцією	Управління подачею повітря залежно від потреб (наприклад, VAV)
11	Керування вентиляційною установкою	Програмне керування або за наявності людей
12	Керування витяжними вентиляторами	Погодинне та зональне керування витяжною
13	Керування рекуперацією	Керування функцією рекуперації тепла
14	Вмикання/вимикання освітлення	Управління за присутністю (датчики руху)
15	Регулювання рівня освітлення	Автоматичне деміювання залежно від природного освітлення
16	Зональне керування освітленням	Розділення за зонами та окреме керування
17	Програмне керування освітленням	Керування згідно з графіком роботи приміщень
18	Енергетичний моніторинг	Моніторинг та облік енерговитрат в реальному часі
19	Аналіз енерговитрат	Автоматичний аналіз даних з рекомендаціями
20	Сигналізація збоїв	Виявлення відхилень та повідомлення про несправності
21	Інтеграція систем	Повна інтеграція усіх систем у BMS (опалення, охолодження, вентиляція, освітлення, безпека)

3. ЗАГАЛЬНІ ПІДХОДИ ДО РЕАЛІЗАЦІЇ КОНЦЕПЦІЇ NZEB БУДІВЕЛЬ В ЧАСТИНІ ІНЖЕНЕРНИХ СИСТЕМ

У зв'язку з впровадженням європейських вимог до енергоефективності будівель, проектування та модернізація будівель із близьким до нульового рівнем енергоспоживання (NZEB) передбачає використання цілого комплексу технічних рішень. Основою енергоефективності таких об'єктів є високий рівень термічного захисту огорожувальних конструкцій, що досягається шляхом дотримання підвищених вимог до мінімального приведенного опору теплопередачі в порівнянні з діючими нормативами, описаними в ДБН В.2.6-31:2021 "Теплова ізоляція та енергоефективність будівель".

Завдяки покращеним теплозахисним характеристикам будівельних конструкцій та мінімально допустимій товщині теплоізоляційних матеріалів, зазначених у розділі 2 п.4 згаданого ДБН, навантаження на систему опалення суттєво зменшується. Це дозволяє застосовувати джерела тепла та холоду меншої встановленої потужності, ніж для будівель з більшим енергоспоживанням, але в той же час підвищує вимоги до ефективності систем керування інженерними системами, а також до ефективності системи вентиляції та кондиціонування, що стають основними споживачами енергоресурсів.

Ключовим фактором зниження споживання енергоресурсів в NZEB-будівлях є ефективне управління споживанням енергії: використання систем інженерних систем класу «А»: систем централізованої вентиляції з рекуперацією тепла, систем регулювання опалення, а також інтеграція відновлюваних джерел енергії (ВДЕ), зокрема сонячних електростанцій і теплових насосів в системи опалення, ГВП та охолодження.

Нижче сформульовані основні шляхи в частині будівництва та модернізації інженерних систем, що дозволяють досягти стандарт NZEB.

3.1 СИСТЕМА ОПАЛЕННЯ ТА ІНДИВІДУАЛЬНЕ РЕГУЛЮВАННЯ

Система опалення в NZEB-будівлях повинна передбачати можливість індивідуального регулювання температури в кожному окремому приміщенні. Рекомендується встановлення електронних терморегуляторів з функцією погодинного та подобового програмування, які дозволяють точно керувати режимами опалення відповідно до реального графіку перебування людей в приміщенні і їх температурного комфорту.



Рисунок 3.1 - Можливість програмувати роботу системи опалення в розрізі кожного приміщення

Оптимальним технічним рішенням є застосування горизонтальної розводки трубопроводів із паралельним підключенням опалювальних приладів, що забезпечує незалежне регулювання витрати теплоносія в кожному опалювальному контурі. В разі переобладнання вже існуючих однотрубних систем опалення також можливе використання термостатичних вентилів в поєднанні з системами балансування.

Для багатоквартирних житлових будівель обов'язковим є облаштування кожної квартири індивідуальним тепловим лічильником, а за можливості – також квартирним тепловим пунктом. Крім того, слід передбачити індивідуальне регулювання теплового навантаження на рівні окремих приміщень або функціональних зон (в разі використання «теплої підлоги», а не радіаторів опалення: коридор, ванна, санвузол) із застосуванням зональних терморегуляторів.

У разі використання теплових насосів, як джерела тепла, рекомендовано проектування низькотемпературної системи опалення з температурою теплоносія до 35–45 °С. У таких умовах найбільш ефективним рішенням є системи на базі низькотемпературних опалювальних приладів (радіатори зі збільшеною площею, фанкойли), а також теплі підлоги, за умови, що їх інерційність не вплине негативно на підтримання стабільної температури в приміщенні.

Для ефективної роботи зазначених систем додатково має бути передбачено:

- використання низько інерційних опалювальних приладів, що дозволять швидко реагувати на зміни температури в середині приміщень;
- встановлення автоматичних балансувальних клапанів для забезпечення ефективного регулювання та мінімізації витрат електроенергії на циркуляційні насоси;
- інтеграція системи керування в систему моніторингу, зокрема щодо контролю температур в розрізі приміщень.

3.2 ВСТАНОВЛЕННЯ ІНДИВІДУАЛЬНИХ ТЕПЛОВИХ ПУНКТИВ З ПОГОДОЗАЛЕЖНИМ РЕГУЛЮВАННЯМ ТА ФУНКЦІЯМИ ЕНЕРГОМОНІТОРИНГУ

Передбачається встановлення індивідуальних теплових пунктів (ІТП), на ввіді в будівлю, з модулями ГВП. Їх основна функція - забезпечення автоматичного регулювання параметрів теплоносія системи опалення та гарячого водопостачання відповідно до поточних кліматичних умов і потреб споживачів.



Рисунок 3.2 - Індивідуальний тепловий пункт з функцією опалення та гарячого водопостачання

ІТП повинен бути обладнаний погодозалежним регулятором, який змінює температуру теплоносія на виході в систему опалення залежно від температури зовнішнього повітря. Це дозволяє уникнути перегріву приміщень у перехідні сезони, знижує споживання теплової енергії та підвищує комфорт для мешканців.

Окрім цього, ІТП має забезпечувати регулювання витрати теплоносія в залежності від фактичного теплового навантаження будівлі (через модуль керування насосами із частотним регулюванням), циркуляцію ГВП з забезпеченням її стабільної температури, систему моніторингу та передачі даних, яка дозволяє автоматично збирати інформацію про обсяги спожитого тепла, параметри роботи обладнання та надсилати дані у хмарні сервіси або диспетчерський центр.

Функції індивідуального теплового пункту можуть бути інтегровані в систему керування індивідуального джерела тепlopостачання (тепловий насос, твердопаливний котел).

Система гарячого водопостачання повинна дозволити інтеграцію основного (централізоване тепlopостачання, тепловий насос, твердопаливний котел) та додаткового (скидні енергоресурси) джерела тепlopостачання зокрема для цілей попереднього підігріву.

3.3 ТЕПЛОВІ НАСОСИ З ІНТЕГРАЦІЄЮ З СИСТЕМАМИ ГАРЯЧОГО ВОДОПОСТАЧАННЯ, ОПАЛЕННЯ ТА ОХОЛОДЖЕННЯ

У рамках концепції NZEB-будівель передбачається встановлення теплових насосів (ТН) як основного джерела теплової енергії для покриття потреб у гарячому водопостачанні (ГВП), опаленні та охолодженні (через систему вентиляції або фанкойли).

Система повинна бути спроектована з урахуванням таких вимог:

- Покриття енергопотреб:
 1. у літній період теплові насоси мають забезпечувати до 100% потреби в гарячій воді;
 2. загалом, теплові насоси мають покривати не менше 60% річної потреби в тепловій енергії (на ГВП та опалення);
 3. 100% потреби в охолодженні приміщень також повинно забезпечуватись за рахунок ТН.

- Акумуляування теплової енергії:

Для забезпечення безперервного режиму роботи та оптимізації використання електроенергії від сонячної електростанції, необхідно передбачити теплоакumuлюючі баки достатньої ємності. Їх об'єм визначається за результатами енергетичного моделювання, з урахуванням графіку виробництва енергії СЕС та теплового навантаження будівлі.

- Інтеграція з системами охолодження:

Система повинна забезпечувати роботу в режимі активного охолодження у літній період при розрахункових максимальних температурах зовнішнього повітря та інсоляції. Рекомендується впровадження гідравлічних схем, які дозволяють використовувати контур ГВП як джерело відведення тепла при кондиціонуванні (у поєднанні з баком-акумулятором, де і встановлюється теплообмінник).

- Енергоефективність:

При виборі обладнання слід надавати перевагу тепловим насосам з сертифікованими значеннями SEER та SCOP, що відповідають класу «A+++» за європейською класифікацією та рекомендовані до використання для підігріву ГВП.

- Акустичні характеристики:

Важливим критерієм є мінімізація шумового навантаження. Необхідно передбачити встановлення зовнішніх блоків ТН на відстані або у місцях, що дозволить не створювати дискомфорту для мешканців. При потребі - застосовувати шумопоглинаючі екрани.

- Інтеграція з СЕС:

Доцільно передбачити керування графіком роботи теплового насосу з метою максимального використання електроенергії з ВДЕ. Це може включати попередній нагрів (перегрів) води в теплоакumuлюючому в денні години.



Рисунок 3.3 - Тепловий насос та фанкойл

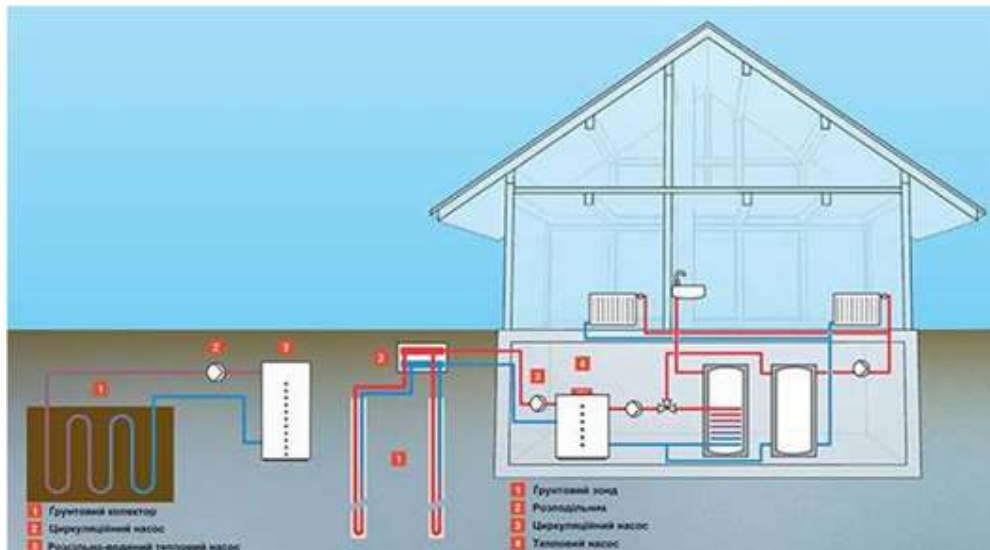


Рисунок 3.4 - Схема геотермального теплового насосу

3.4 СОНЯЧНІ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЇ (СЕС)

Проектування будівель з близьким до нульового рівнем енергоспоживання (NZEB) має передбачати максимально ефективне використання відновлюваних джерел енергії, зокрема – сонячної. При цьому поряд з тепловими насосами. Враховуючи обмежений ресурс покрівельної площі, доцільно ще на стадії архітектурного проектування забезпечити максимально можливу площу даху для встановлення фотоелектричних модулів. Розміщення вентиляційного, димовідвідного (в разі наявності) та іншого обладнання слід планувати з урахуванням мінімізації затінення та вільного простору для СЕС на даху будівлі. Оптимально забезпечити зайнятість даху під СЕС на рівні 60–70% його площі.

Згідно з Додатком 5 до Постанови КМУ від 26.02.2025 № 353, мінімальні нормативні площі генерації електроенергії від ВДЕ становлять 40% покрівельної площі для будівель висотою понад 17 поверхів, а для нижчих дещо менше (додаток 1). Проте в більшості випадків доцільно перевищувати мінімальні нормативи, враховуючи потребу в електроенергії для теплових насосів, вентиляції та освітлення.

Крім покрівельного монтажу, може бути використаний фасадний простір – південні стіни будівель можуть слугувати площиною для кріплення вертикальних або похилих панелей. Це дозволяє значно збільшити доступну площу СЕС, особливо у багатоповерхових будівлях.

Максимальна доцільна до встановлення потужність СЕС визначається наступними факторами:

- споживча потужність теплового насосу та системи охолодження (чилерів);
- можливість накопичення та використання виробленої енергії.

З огляду на графік перебування в будівлі персоналу та відвідувачів (для громадських будівель), а також мешканців (для житлових) необхідно також передбачати використання акумуляторів, для мінімізації живлення від зовнішньої мережі та електростанцій, що працюють на викопному паливі. Особливо це стосується пікових годин споживання. Окрім систем акумулювання на базі LiFePo акумуляторів доцільно використовувати також акумулятори тепла та холоду (відповідно для теплопостачання та охолодження), що мають нижчу питому вартість (від 5 до 10 разів).

3.5 СИСТЕМА ЦЕНТРАЛІЗОВАНОЇ МЕХАНІЧНОЇ ВЕНТИЛЯЦІЇ З РЕКУПЕРАЦІЄЮ ТЕПЛА

У NZEB-будівлях обов'язковим є встановлення централізованої або зональної механічної припливно-витяжної вентиляції з високоефективною рекуперацією тепла. Коефіцієнт корисної дії теплоутилізатора (рекуператора) має бути не менше 70%, а енергоефективність системи – класу “А” згідно з вимогами ДСТУ EN 15232-1:2017.

Система вентиляції повинна забезпечувати:

- автоматизовану зміну витрати повітря залежно від рівня CO₂ (автоматичне зменшення витрати при низькому завантаженні приміщення або відсутності людей);
- можливість налаштування автоматики споживачами з урахуванням їх вимог до комфорту, побутових звичок та графіку життя.
- підтримання нормативного рівня мікроклімату (температура, вологість, CO₂) у межах, визначених ДБН В.2.5-67:2013 та EN 16798.

Ключові технічні вимоги до системи вентиляції:

- рекуператор повинен бути роторного або пластинчастого типу, з ККД не менше 70%;
- автоматичне керування витратою повітря (VAV-системи або аналоги) – регулювання швидкості роботи вентиляторів у залежності від сигналу від CO₂-датчиків та температури;
- фільтрація припливного повітря – не нижче класу F7 (ISO ePM1 ≥50%) згідно з EN 779 / ISO 16890, з обов'язковим передбаченням обслуговування фільтрів;
- інтеграція з системою охолодження та обігріву повітря, включно з можливістю довантаження охолодженого повітря влітку через фанкойли або каналні кондиціонери;
- можливість зонального керування вентиляцією для окремих приміщень або груп приміщень – це дозволяє знижувати енергоспоживання в неробочі години або при частковому навантаженні;
- енергоефективні вентилятори з ЕС-двигунами та класом енергоефективності IE4 або вище;
- теплова ізоляція всіх повітроводів, які проходять через неопалювані зони або мають значну довжину.

Також обов'язково передбачається система моніторингу і логування роботи вентиляції, з передачею даних на центральний контролер або в систему диспетчеризації будівлі (BMS), відповідно до модулів M10-7, M10-8 стандарту EN 15232.

3.6 ВИКОРИСТАННЯ БІОПАЛИВНИХ КОТЛІВ

У випадках, коли будівля розташована у сільській місцевості, або в населених пунктах з низькою щільністю забудови, основним джерелом теплової енергії доцільно передбачати твердопаливний котел, що працює на біомасі (щепа, пелети, агропелети). Такий підхід дозволяє зменшити капітальні витрати у порівнянні з тепловими насосами, а також, залежно від локальної вартості палива, зменшити експлуатаційні витрати.

Рекомендовано розглядати застосування біопаливних котлів у таких випадках:

- виробничі, логістичні або адміністративні будівлі, що не мають технічної можливості або економічної доцільності підключення до централізованого теплопостачання
- об'єкти соціальної інфраструктури (школи, лікарні, адміністративні будівлі, тощо), розміщені у сільській або малозаселеній місцевості;
- житлові будинки в селах або малих містечках з низьким підведеним рівнем електричної потужності або відсутністю стабільної мережі.

Вимоги до проектування:

- на етапі проектування обов'язковим є розрахунок розсіювання викидів забруднюючих речовин в атмосферу (NO_x , CO, пил), згідно з ДСП та методикою ОНД-86, із урахуванням відстані до найближчих житлових та громадських будівель;
- підбір висоти димової труби здійснюється таким чином, щоб концентрації забруднюючих речовин на рівні проживання не перевищували гранично допустимі значення;
- система має бути оснащена автоматизованим подаванням палива, очищенням топки та золи, а також датчиками температури, тиску, димових газів і CO, із виводом даних у систему моніторингу;
- передбачаються бункери для палива з автоматизованим подаванням, із запасом палива щонайменше на 3–5 діб роботи у проектному режимі.

Умови доцільності застосування:

- наявність локального ресурсу біопалива, що класифікується як відновлювальне;
- розрахункова вартість теплової енергії з біопалива має бути не вищою за теплову енергію, отриману від теплового насоса (з урахуванням SCOP при даних кліматичних умовах);
- експлуатаційна модель має враховувати витрати на зберігання, обслуговування, вивезення золи, а також залучення персоналу.

3.7 СИСТЕМА ЕНЕРГЕТИЧНОГО МОНІТОРИНГУ ТА АВТОМАТИЗАЦІЇ ІНЖЕНЕРНИХ СИСТЕМ БУДІВЛІ

У будівлях з близьким до нульового рівнем споживання енергії (NZEB) має бути передбачена єдина система енергетичного моніторингу та автоматизації, яка об'єднує всі інженерні мережі будівлі - опалення, вентиляцію, кондиціонування, освітлення, гаряче водопостачання, сонячні електростанції, теплові насоси тощо - у єдину інтелектуальну інфраструктуру. Така система реалізується у вигляді BMS (Building Management System) та повинна відповідати класу автоматизації "А" згідно з ДСТУ EN 15232-1:2017.

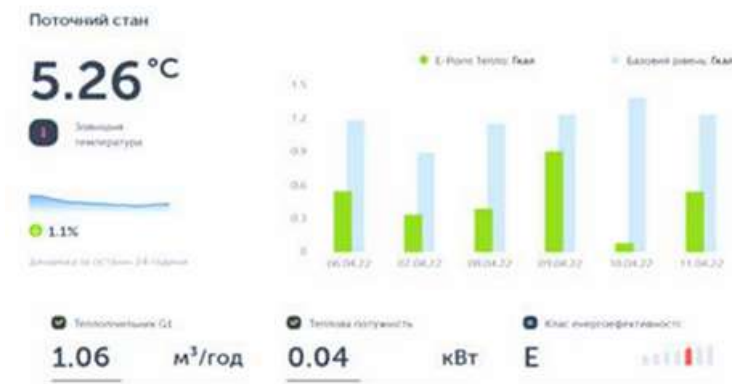


Рисунок 3.5 - Інформаційна панель системи енергетичного моніторингу на прикладі системи ACEM

Основні вимоги до функціоналу BMS:

- Автоматичне регулювання:
 1. температури повітря у приміщеннях з урахуванням зовнішніх погодних умов (погодозалежна автоматика);
 2. інтенсивності вентиляції на основі концентрації CO₂, вологості, присутності людей;
 3. роботи теплових насосів залежно від навантаження, графіка ГВП та опалення;
 4. роботи СЕС із пріоритетним споживанням власної генерації.
- Централізоване управління інженерними системами будівлі з одного інтерфейсу (локального або через хмару).
- Інтеграція з системою енергомоніторингу для прийняття рішень на основі реального споживання та ефективності.
- Реакція на аварійні стани (наприклад, перевищення температури, вологість, витік теплоносія, несправність датчиків) із відповідними алгоритмами зниження енерговитрат або зупинки обладнання.
- Прогнозування споживання енергії на основі історичних даних та зовнішніх параметрів (температура, графіки використання приміщень).
- Усі критично важливі системи будівлі повинні бути підключені до BMS: ІТП, вентиляція, опалення, теплові насоси, СЕС, ГВП.
- BMS повинна мати можливість дистанційного контролю з боку енергоменеджера громади або обслуговуючої організації.
- Важливим елементом системи є публічне інформування користувачів: екрани в холах, доступ до мобільного додатку, розсилки сповіщень у разі нераціонального використання енергії.

4. ЗАГАЛЬНІ ПІДХОДИ ДО РЕАЛІЗАЦІЇ КОНЦЕПЦІЇ NZEB БУДІВЕЛЬ В ЧАСТИНІ ІНЖЕНЕРНИХ СИСТЕМ

4.1 ВЕНТИЛЯЦІЯ

Виходячи з наявного енергетичного балансу для будівель NZEB – саме ефективна система вентиляції є ключовим аспектом для забезпечення необхідних показників. При цьому задача може бути вирішена двома основними підходами: використанням децентралізованих установок та використанням централізованої системи вентиляції з регулювання витрати повітря по окремим приміщенням з використанням клапанів з електроприводами.

4.1.1 Централізована вентиляція з рекуперацією тепла

Одним із найефективніших рішень, яке демонструє високу надійність та стабільну роботу впродовж усього року, є централізована припливно-витяжна вентиляція з рекуперацією тепла. У таких системах вентиляційний блок зазвичай монтується на даху або в технічному поверсі.

Повітроводи прокладаються переважно в середині приміщень (для чого має бути передбачено достатньо простору). Також може розглядатися розміщення повітроводів на зовнішніх стінах у шарі додаткової теплоізоляції фасаду, що значно зменшує вплив на внутрішній простір і мінімізує будівельні роботи всередині будівлі. Для будівель, що реконструюються це може бути єдиний доступний варіант з огляду на неможливість прокладання внутрішніх повітроводів без порушення інших нормативних вимог (висота стель, ширина проходів тощо).

Приплив здійснюється безпосередньо у вітальні, спальні (для житлових будівель) та робочі кабінети та в робочу зону (для громадських приміщень), а витяжка - з кухонь та санвузлів або з приміщень, що мають джерела забруднень. Повітряні потоки не перетинаються, а тепло від витяжного повітря передається припливному через пластинчастий теплообмінник, ефективність якого досягає 80–85%.

Для існуючих будівель, в якості витяжних вентканалів можуть використовуватися вже існуючі витяжні вентсистеми (що як правило наявні та функціонують).

Альтернативним варіантом забезпечення вентиляції з системою рекуперації – є встановлення теплового насосу на витяжній системі з передачею тепла в систему підігріву повітря. Що може бути єдиним варіантом за умови неможливості розміщення припливної установки на даху (як правило в громадських будівлях, побудованих до 2000 року припливні вентиляційні установки розміщувалися в підвальних приміщеннях).

З огляду на необхідність регулювання потоку повітря по приміщенням – приводи вентиляторів повинні оснащатися частотними перетворювачами, а припливні решітки – електроприводами, що дозволяють б регулювати витрату повітря.

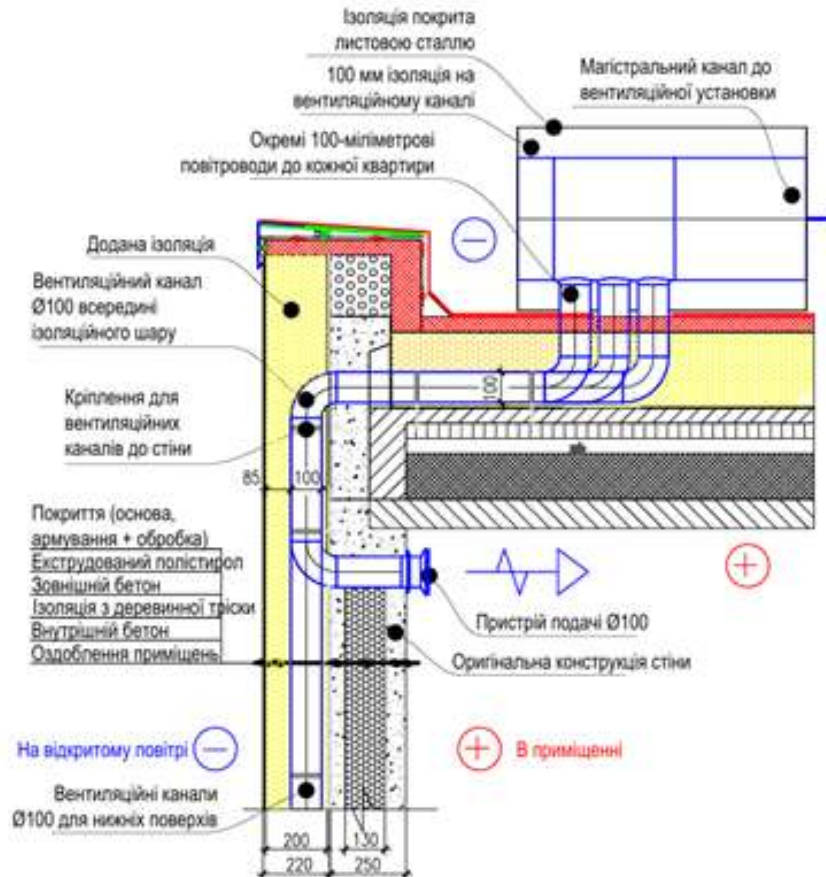


Рисунок 4.1 - Розріз системи з вентиляційними каналами всередині фасаду будівлі

Інтеграція вентиляційних каналів у фасад

На рис. 6. Зображена систем вентиляції з розміщенням припливних вентиляційних каналів в товщі утеплювача. З технічної точки зору, така система вимагає якісного утеплення та герметизації зовнішніх повітропроводів, що не лише запобігає утворенню конденсату та втратам тепла, але й забезпечує тривалий термін експлуатації. При цьому монтажна схема дозволяє використовувати існуючі вентиляційні шахти для витяжного повітря, попередньо оновивши або герметизувавши їх. Це забезпечує ефективну роботу системи без потреби у повному демонтажі старих каналів.

Таке рішення було широко застосоване зокрема в Естонії при реновації житлового фонду - монтаж вентиляційних повітропроводів по зовнішньому фасаду будинку. Це дозволяє уникнути демонтажу внутрішніх стін, стель і комунікацій, що, у свою чергу, дає змогу не виселяти мешканців під час проведення робіт. Повітроводи прокладають у шарі нової теплоізоляції, що наноситься на стару стіну, а отвори виводяться лише в потрібні зони кожної квартири - як правило, у спальні чи вітальні для припливу, і в кухні чи ванній - для витяжки.

Такий підхід дає змогу реалізувати повноцінну систему вентиляції з рекуперацією тепла навіть у будівлях, що спочатку проектувалися з природною вентиляцією, а їхні шахти є непридатними до повторного використання. Герметичні зовнішні повітропроводи запобігають тепловим втратам та не потребують внутрішнього обслуговування, оскільки досягається високий рівень надійності й ефективності за рахунок ізоляції та правильного проектування.

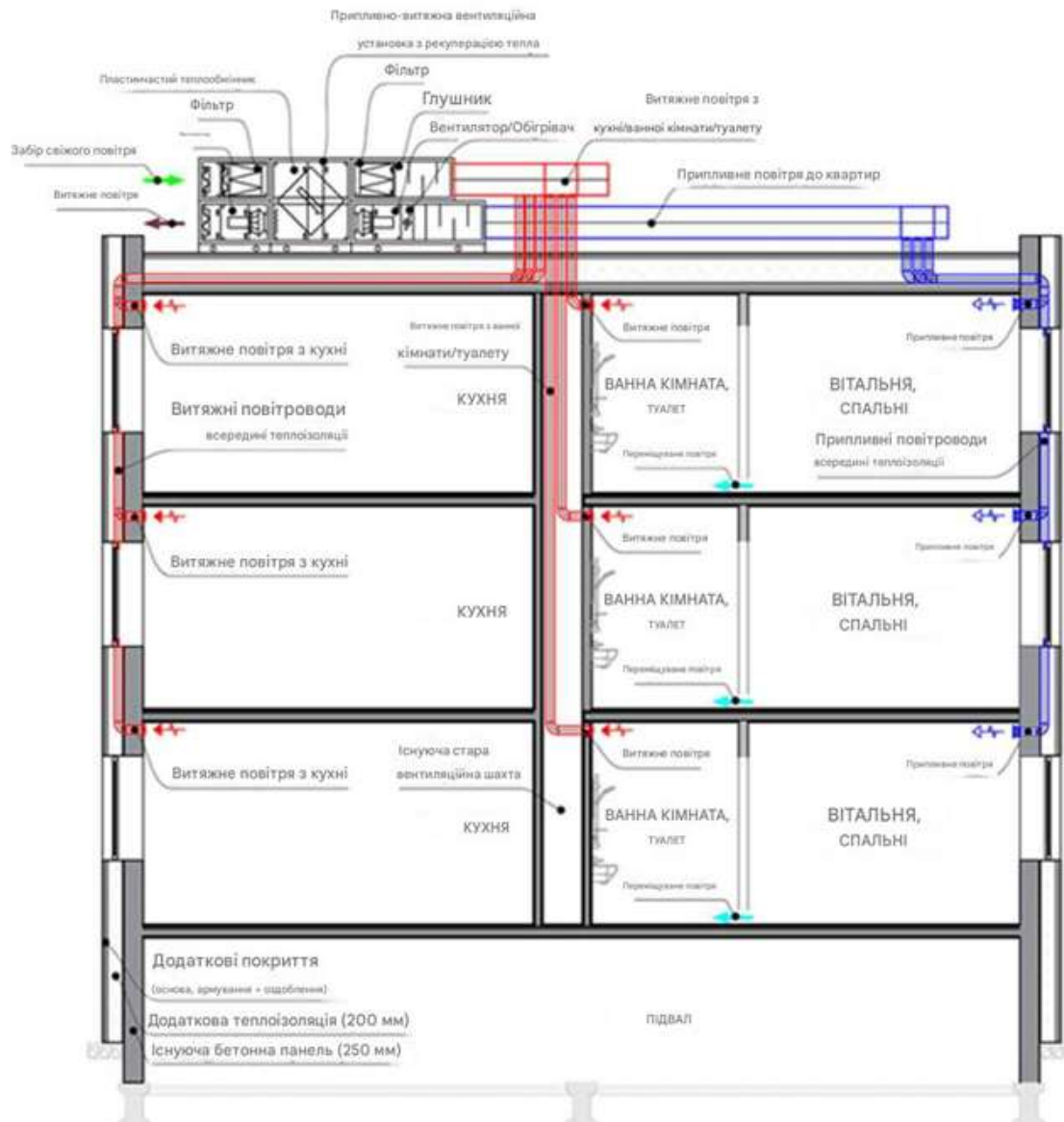


Рисунок 4.2 - Схема інтеграції вентиляційних каналів у фасад будинку

Комбінована система вентиляції з тепловим насосом

Іншим цікавим рішенням, яке поєднує функції вентиляції, нагріву гарячої води та часткового опалення, є система з використанням теплового насоса. У цьому випадку тепло від витяжного повітря спочатку передається рідинному теплоносію у повітряно-водяному теплообміннику, а далі - у буферну ємність або систему гарячого водопостачання. Щоб уникнути дискомфорту від холодного припливного повітря, на вході до квартири встановлюють фанкойли (радіатори з попереднім підігрівом і фільтрацією повітря).

Подібне рішення дозволяє суттєво знизити навантаження на традиційні системи ГВП, особливо у перехідні сезони, і зазвичай характеризується високим коефіцієнтом енергоефективності (SCOP до 3,5). Його перевага також полягає в тому, що більшість елементів системи можна інтегрувати у зовнішнє утеплення будівлі, без необхідності повномасштабного втручання в інтер'єри приміщень.

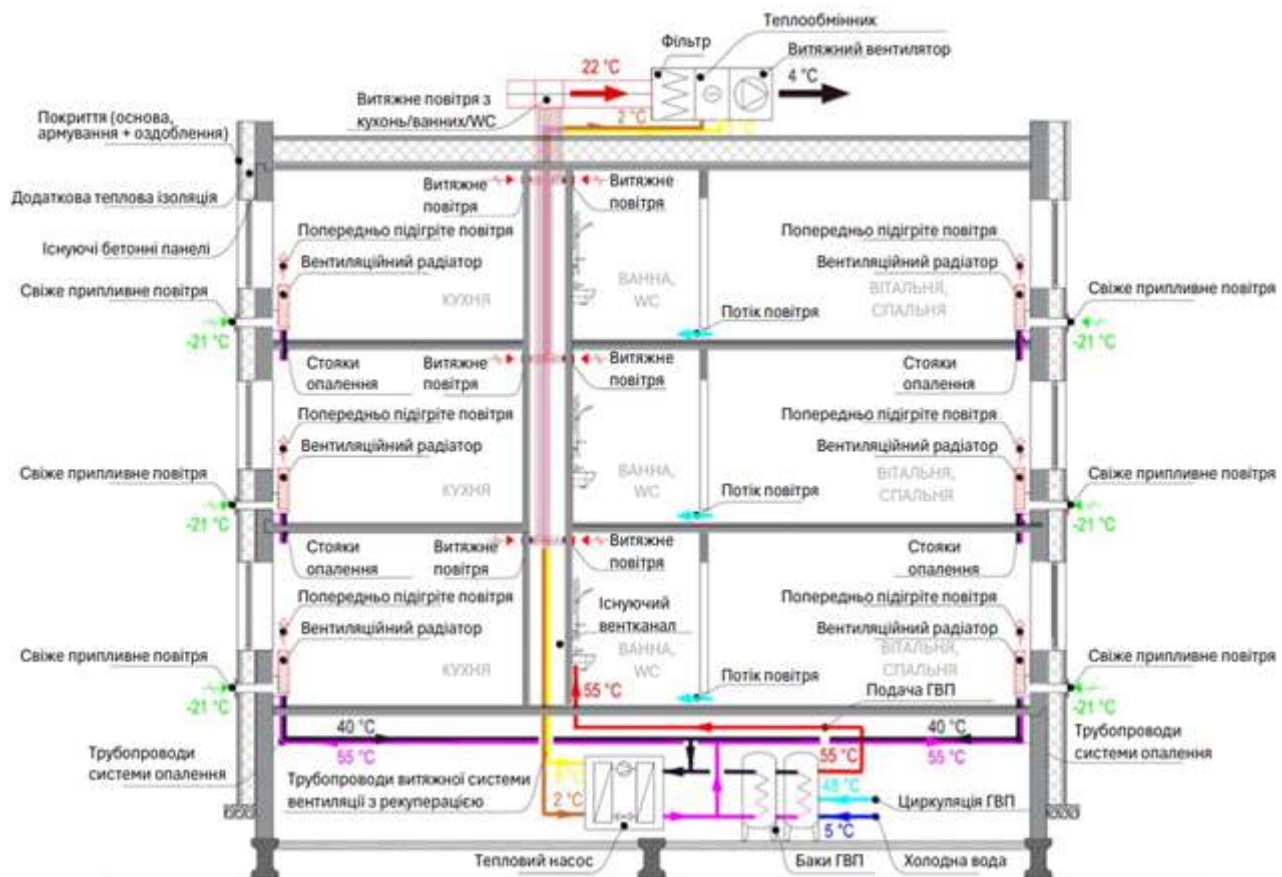


Рисунок 4.3 - Радіатори для попереднього нагріву та витяжною системою вентиляції з рекуперацією тепла

Система з вентиляційними радіаторами (ВР) також активно використовується при реновації багатоквартирних будинків. З огляду на вимогу щодо індивідуального регулювання подачі повітря – припливні клапани повинні мати систему керування, що контролювала б кількість припливного повітря (по датчику CO₂ або по таймеру). Зовнішнє повітря надходить через припливний клапан, де воно фільтрується (зазвичай фільтри ePM1 60% (F7)) і нагрівається. Витяжне повітря проходить через вентиляційні шахти до повітряно-водяного (повітряно-фреонового) теплообмінника вентиляційного блоку, де тепло передається до теплового насоса. Тепловий насос забезпечує теплом систему гарячого водопостачання та опалення приміщень. Сезонний коефіцієнт ефективності (SCOP) становить 3,0 – 3,5. Основною проблемою цього рішення для реконструкції є використання старих вентиляційних шахт без вставлення нових повітропроводів у старі шахти. Герметичність старих шахт занадто низька, тому вентиляційні системи часто не збалансовані та дуже шумні. Це, у свою чергу, означає, що швидкість потоку повітря зменшується.

Деякі блоки рекуперації тепла можуть включати додатковий тепловий насос для подальшої рекуперації тепла відпрацьованого повітря. Ці системи складаються зі звичайної збалансованої системи рекуперації тепла повітря-повітря в поєднанні зі збалансованою системою вентиляції. У витяжний канал встановлено випарник теплового насоса. Конденсатор можна підключати до різних споживачів тепла, таких як накопичувачі гарячої води, накопичувачі опалення або навіть припливне повітря збалансованої системи вентиляції.

Споживана потужність компресора становить 20–30% тепла від тепла що витягується з потоку відпрацьованого повітря, а також виділяється у вигляді тепла в потоці припливного повітря. Теплові насоси не передають вологу. Ефективність рекуперації тепла зазвичай контролюється регулюванням швидкості компресора. Розморожування здійснюється шляхом періодичного інвертування або просто шляхом зміни заданої температури повітря на виході трохи вище 0°C.

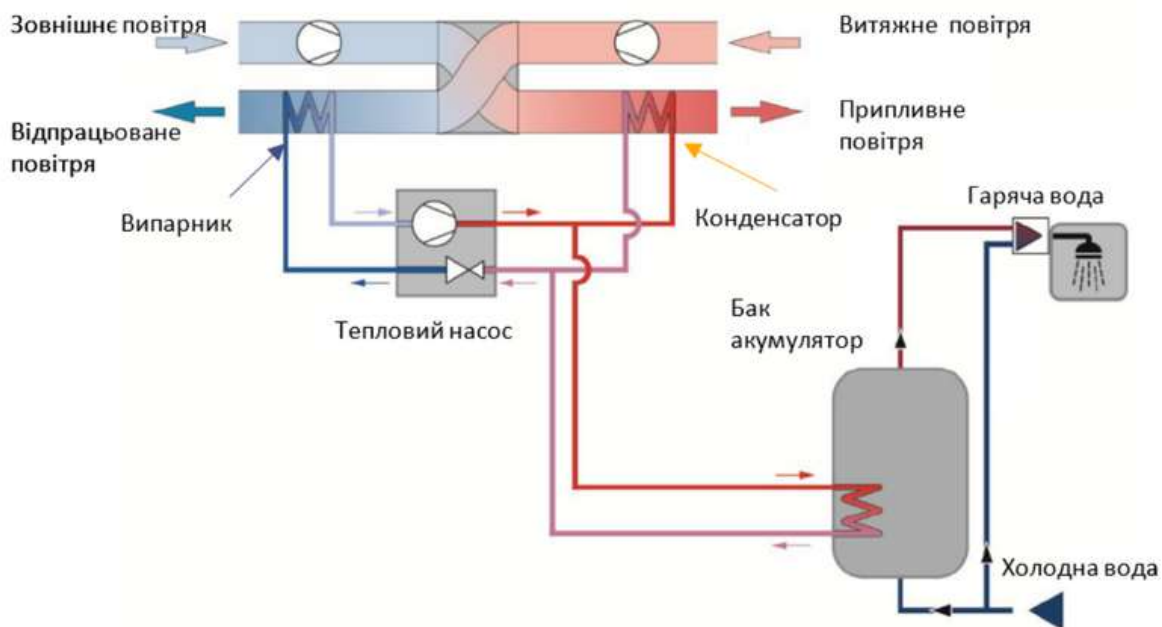


Рисунок 4.4 - Пластинчастий теплообмінник з тепловим насосом

Переваги:

- Через високу температуру витяжного повітря протягом року теплові насоси з витяжним повітрям дуже добре підходять для приготування гарячої води.

Недоліки:

- Кількість відпрацьованого повітря обмежена. Тому, якщо тепловий насос використовується для опалення, у більшості випадків необхідний другий теплогенератор. Якщо тепловий насос лише подає гарячу воду, його теплової потужності, швидше за все, достатньо без додаткового теплогенератора.
- У будь-якому випадку, теплові насоси з відпрацьованим повітрям можуть взяти на себе значну частку опалення, лише якщо опалювальна будівля має високі стандарти ізоляції.
- Якщо для виробництва гарячої води використовуються теплові насоси з витяжним повітрям, вентиляційна система повинна працювати цілий рік або другий генератор гарячої води замінює тепловий насос влітку.

4.1.2 Індивідуальні вентиляційні блоки (по приміщенням)

Для будівель, де неможливо прокласти розгалужену мережу повітроводів або здійснити повну централізовану реконструкцію, альтернативою можуть бути так звані ОКВ - одноступінні кімнатні вентиляційні установки з пластинчастими теплообмінниками. Їх перевагою є автономність: кожен блок працює незалежно й не потребує підключення до загальнобудинкових систем.



Рисунок 4.5 - Кімнатні припливно-витяжні блоки з рекуперацією тепла (ліворуч) і квартирні збалансовані вентиляційні блоки з рекуперацією тепла (праворуч)

Вентиляційний блок цієї системи встановлюється, як правило на сходах, коридорах або в санвузлах, під стелею, на стіні або на підлозі. Для рекуперації використовували пластинчастий або роторний теплообмінник. Ці установки мають відповідні фільтри, ePM1 60% (F7) на стороні подачі та ePM10 60% (M5). Повітря витягується з кухонних витяжок, туалетів і ванних кімнат. У вітальнях, спальнях, кабінетах встановлюються припливні пристрої. Слід врахувати, що встановлення подібних системи в приміщенні потребує додаткового простору, але, як правило, цей простір значно менший в порівнянні з прокладанням повітропроводів для централізованих припливно-витяжних систем. Окрім цього використання індивідуальних систем значно спрощує керування ними в частині підтримання необхідного повітрообміну для конкретного приміщення (система керування є частиною вентустановки).

4.2 ВСТАНОВЛЕННЯ ІНДИВІДУАЛЬНИХ ТЕПЛОВИХ ПУНКТІВ З ПОГОДОЗАЛЕЖНИМ РЕГУЛЮВАННЯМ ТА ФУНКЦІЯМИ ЕНЕРГОМОНІТОРИНГУ

Індивідуальні теплові пункти (ІТП) є одним із найефективніших рішень для підвищення енергоефективності будівель, особливо в умовах централізованого тепlopостачання. Головна функція ІТП - автоматичне регулювання параметрів системи опалення та гарячого водопостачання залежно від зовнішніх умов та фактичних потреб будівлі.

Переваги впровадження ІТП:

- можливість автоматичного погодозалежного регулювання температури подачі теплоносія;
- зменшення теплових втрат і перевитрат енергії;
- гнучкість у налаштуванні температурних режимів за графіком доби і днів тижня;
- забезпечення високого рівня комфорту користувачів.

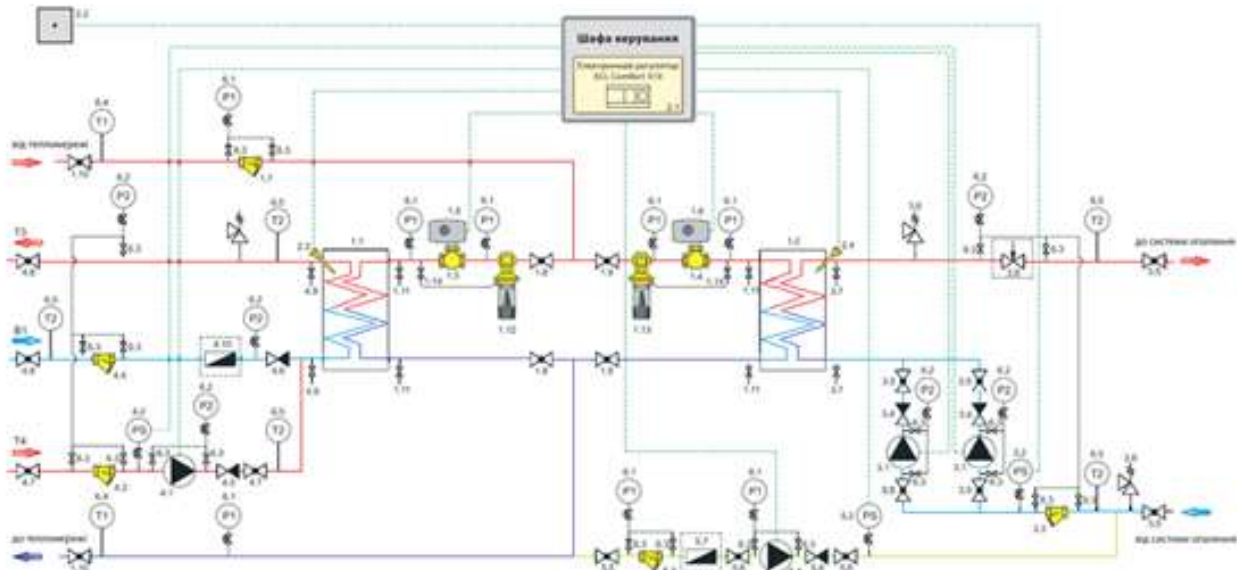


Рисунок 4.6 - Принципова схема двоконтурного ІТП: система опалення із незалежною схемою підключення та система ГВП будинку

Принцип погодозалежного регулювання

Споживання теплової енергії має бути прямо пропорційним зовнішній температурі: чим нижча температура назовні, тим більше тепла споживає будівля. Налаштована система чітко слідує за цією залежністю, завдяки чому зменшується кількість зайвих втрат.



Рисунок 4.7 - Основні елементи ІТП

На наступній діаграмі зображено приклад неналаштованої системи: значна кількість точок споживання розташовані вище лінії тренду, що свідчить про потенціал економії. Діаграма 2 демонструє будівлю після налаштування ІТП, де всі точки споживання щільно групуються навколо трендової кривої, що вказує на правильну реакцію системи на зміни температури.

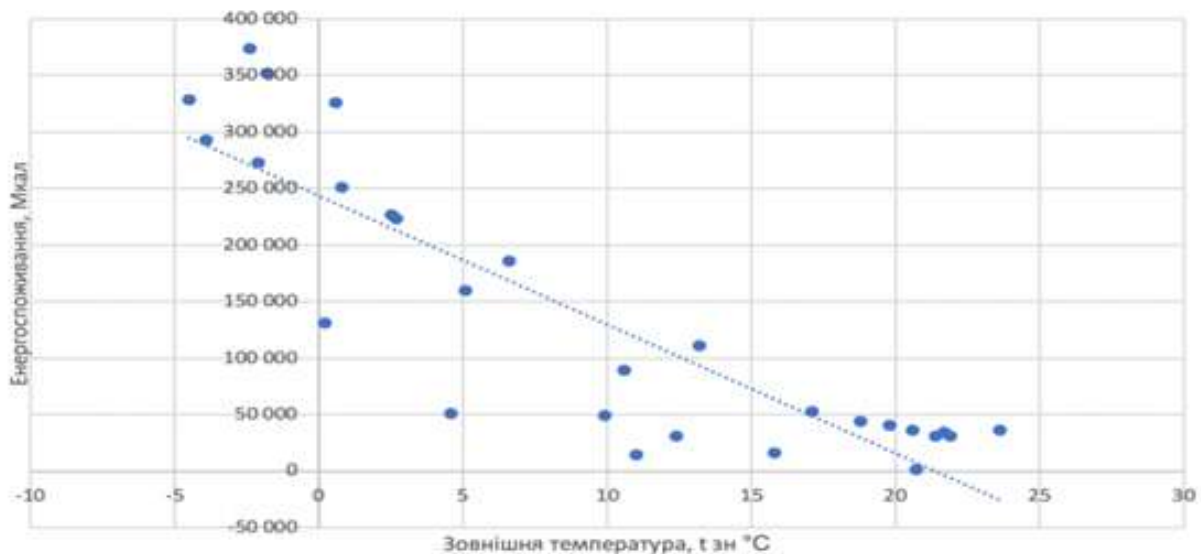


Рисунок 4.8 - Неналаштований ІТП

Налаштування кривої опалення

ІТП дозволяють задавати криву опалення - залежність температури подачі теплоносія від зовнішньої температури. Ця крива визначається кількома параметрами контролера та може змінюватися залежно від теплових характеристик будівлі.

Налаштування здійснюється як локально, безпосередньо на контролері, так і дистанційно, через веб-інтерфейс за допомогою віддаленого доступу.

Додаткові режими економії

Сучасні ІТП підтримують функцію погодинного та подового планування температури. Наприклад, зниження внутрішньої температури лише на 1°C дозволяє зекономити до 5–6% теплової енергії. У громадських будівлях, де опалення необхідне тільки у робочий час, впровадження таких режимів дає змогу досягти до 25% річної економії.

При цьому наявність терморегуляторів не заміняє централізоване керування тепловим пунктом (або теплогенератором) з огляду на те, що навіть за закритих терморегуляторів на опалювальних приладах спостерігатимуться додаткові втрати в трубопроводах системи опалення.

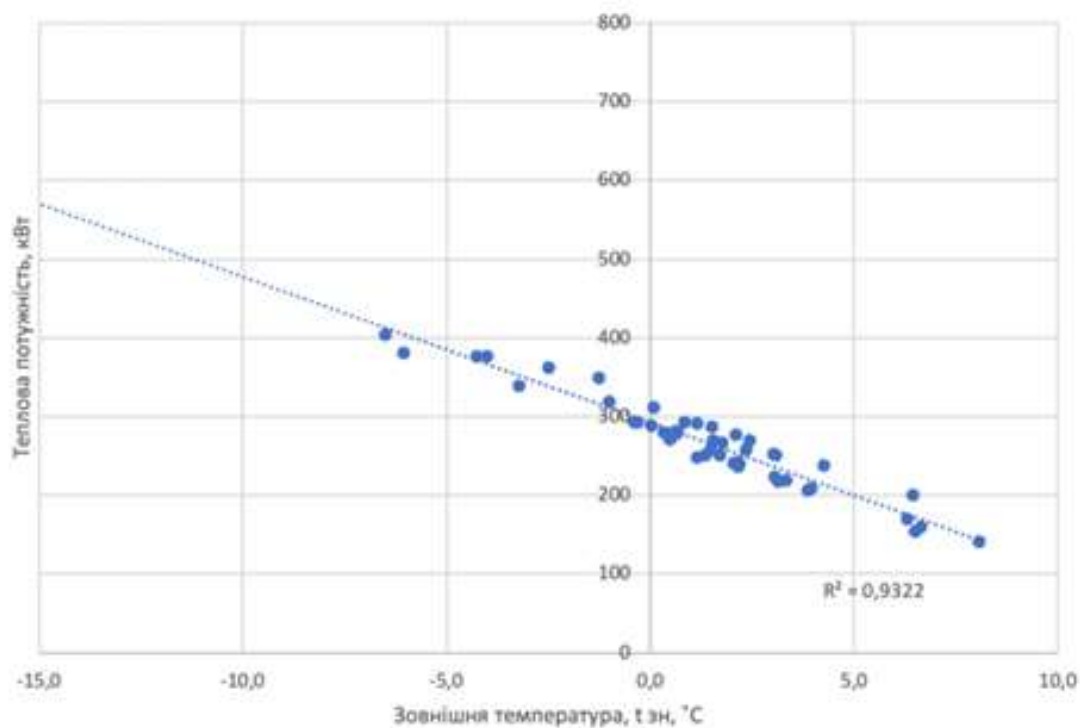


Рисунок 4.9 - Налаштований ІТП

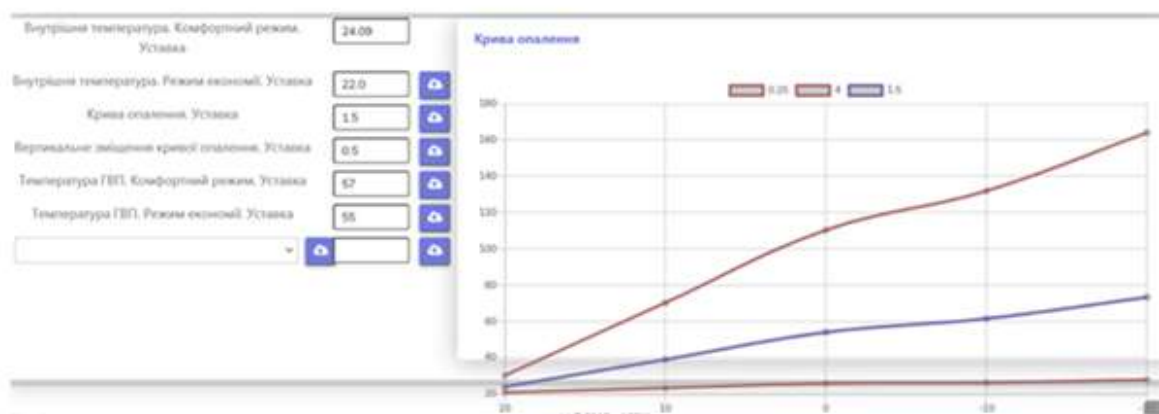


Рисунок 4.10 - Налаштування «кривої опалення» на з використанням автоматизованої системи керування

Функції енергомоніторингу

Обов'язковою складовою сучасного ІТП є система енергомоніторингу, яка дозволяє:

- збирати дані про температуру, витрату теплоносія, тиск, параметри насосів;
- здійснювати автоматичний аналіз і формувати звіти про споживання;
- виявляти аномалії у роботі системи та оперативно реагувати на відхилення;
- інтегрувати дані в загальнобудинковий BMS для комплексного управління.

4.3 СИСТЕМА ОПАЛЕННЯ ТА ІНДИВІДУАЛЬНЕ РЕГУЛЮВАННЯ

4.3.1 Вибір системи виділення тепла

Сталеві радіатори

Якщо використовуються стандартні сталеві радіатори-конвектори, то нижча температура подачі (порівняно з температурою подачі від високотемпературних джерел таких як газові неконденсаційні котли) означає, що вони мають бути більшими, ніж у системі опалення з котлом. Об'єм радіаторів повинен бути щонайменше в три рази більшим, ніж еквівалентні традиційного котла.



Рисунок 4.11 - Приклад традиційного радіатора з збільшеним об'ємом



Рисунок 4.12 -

Низькотемпературний радіатор

Низькотемпературні радіатори

Спеціально призначені низькотемпературні радіатори забезпечують більшу тепловіддачу як за рахунок більш розвинутої поверхні тепловіддачі так і за рахунок кількості або висоти секцій.

Конвектори з механічним спонуканням

За рахунок використання вентилятора та підвищеної тепловіддачі такі опалювальні прилади можуть використовуватися в окремих приміщеннях з дуже високим тепловим навантаженням або обмеженим простором, де стандартні радіатори великого розміру не можуть бути використані.

Фанкойли

Як і радіатори з механічним спонуканням фанкойли можуть працювати з низькотемпературними джерелами тепла, такими як теплові насоси, а наявність системи відводу конденсату дозволяє використовувати їх не лише для опалення, а й для кондиціонування.

Тепла підлога

Тепла підлога дуже добре підходить для використання з тепловим насосом. Тепла підлога працює при низьких температурах води, має високу теплову масу і може працювати при невеликій різниці температур.

Водночас з огляду на високу інерційність теплової підлоги та неможливості швидко реагувати на зміни температури всередині застосування її досить обмежено, переважно для приміщень, де відсутні значні теплопритоки (наприклад санвузли без зовнішнього скління або з невеликою площею скління).

4.3.2 Автоматичні терморегулятори

У приміщеннях встановлюються кімнатні термостати або електронні терморегулятори, які дозволяють мешканцям змінювати температуру за необхідності або за заданим графіком.



Рисунок 4.13 - Схема радіаторного регулювання для однотрубно́ї системи

Наявність можливості регулювання температури в кожному приміщенні дозволяє уникати перегріву та працювати з оптимальними температурними режимами, наприклад, знижуючи температуру під час відсутності людей чи у нічні години. Це не лише підвищує комфорт користувачів, а й значно скорочує витрати теплової енергії. При цьому з огляду на необхідність не лише підтримувати постійну температуру, а й мати можливість знижувати температуру в окремих приміщеннях рекомендовано використовувати електронні терморегулятори з можливістю налаштування індивідуальних графіків підтримання температури.



Рисунок 4.14 - Зовнішній вигляд автоматичного терморегулятора

Для громадських або офісних будівель характерною є потреба зменшення теплопостачання у вечірній час або на вихідних, що дає змогу додатково заощаджувати ресурси. У житлових об'єктах, навпаки, часто виникає потреба гнучко змінювати температуру залежно від режиму проживання мешканців.

Завдяки сучасним системам автоматизації та можливості інтеграції з загальною системою моніторингу будівлі (BMS), керування температурою стає максимально точним і зручним. Це дозволяє досягати високих показників енергоефективності та створювати комфортні умови перебування для мешканців або користувачів будівлі.

4.4 ТЕПЛОВІ НАСОСИ З ІНТЕГРАЦІЄЮ З СИСТЕМАМИ ГАРЯЧОГО ВОДОПОСТАЧАННЯ, ОПАЛЕННЯ ТА ОХОЛОДЖЕННЯ

Теплові насоси (ТН) є ключовим елементом інженерних систем NZEB-будівель і дозволяють суттєво скоротити споживання традиційних енергоносіїв. Завдяки високому сезонному коефіцієнту ефективності ($SCOP > 3,5$ для опалення та $SEER > 4$ для охолодження), ТН забезпечують максимальну ефективність тепlopостачання та кондиціонування приміщень. Використання теплових насосів у поєднанні із сонячними фотоелектричними системами дозволяє покривати значну частину потреб в електроенергії для власних потреб будівлі.

У системах NZEB-тепlopостачання тепловий насос має інтегрується з системами опалення низькотемпературного типу (низькотемпературні радіатори, фанкойли) та забезпечує також приготування гарячої води для побутових потреб.

Принципова схема інтеграції

Система складається з таких основних компонентів:

- тепловий насос (повітря-вода, вода-вода або геотермальний);
- буферна ємність (аккумуляційний бак) для підвищення гнучкості та забезпечення безперервності тепlopостачання;
- бак для гарячої води з інтегрованим або окремим теплообмінником;
- насосні групи та розподільчі колектори;
- автоматизований контролер із погодозалежним регулюванням;
- система обліку теплової енергії та енергомоніторингу.

Опис роботи

- тепловий насос підключений до буферного бака та бака ГВП;
- накопичення тепла відбувається в денні години, коли доступна електроенергія від СЕС або в нічні години, коли доступна дешева електроенергія з мережі;
- при роботі на охолодження (влітку) використовуватись фанкойли при цьому скидна тепла енергія використовується для підігріву гарячої води.

Оптимізація споживання та взаємодія з СЕС

При наявності сонячної електростанції важливо синхронізувати роботу теплового насосу з генерацією електроенергії. Це досягається шляхом перенесення нагріву бака ГВП або попереднього нагріву буферного бака на денний час, коли продуктивність СЕС найвища.

Основні сценарії:

- нагрівання ГВП у денні години для покриття вечірніх та ранкових піків споживання;
- попередній догрів підлогового контуру або фанкойлів для забезпечення теплової інерції;
- використання надлишкової сонячної енергії для підняття температури у баку ГВП до $55-60\text{ }^{\circ}\text{C}$, з подальшим використанням накопиченого тепла.

Автоматизація та моніторинг

Система повинна бути інтегрована у загальнобудинковий BMS:

- автоматичне керування режимами нагріву/охолодження;
- контроль роботи по сигналам від системи енергомоніторингу;
- погодозалежне регулювання;
- дистанційний доступ для налаштування та контролю.

4.4.1 Комбінація теплових насосів з фотоелектричними сонячними панелями

У тепlopункті встановлюються основні компоненти системи: котел, буферна ємність, бак гарячої води, насосні групи, теплорозподільні колектори, автоматика та ін. На малюнку 3.6 наведено принципову схему тепlopункту.

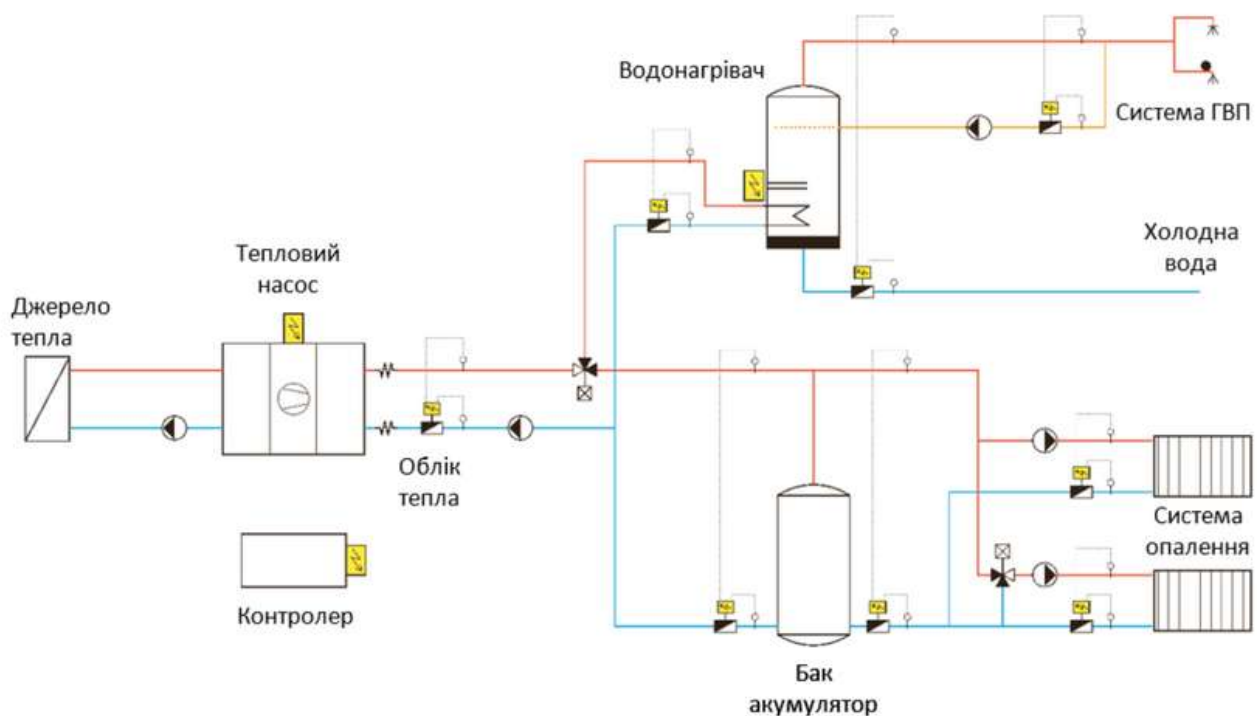


Рисунок 4.15 – Принцип роботи системи з тепловим насосом

4.4.2 Профіль протягом доби

Сонячна система теплового насоса поєднує в собі переваги виробництва сонячної енергії з високою ефективністю повітряних або ґрунтових теплових насосів. Сонячні фотоелектричні панелі перетворюють сонячне випромінювання в електрику, що живить тепловий насос.

Подача електроенергії назад у мережу, коли є надлишок, стає все менш цікавою. Зсув кривої навантаження на періоди, коли генерація PV висока, є хорошим способом оптимізації власного споживання та зменшення рахунків за електроенергію.

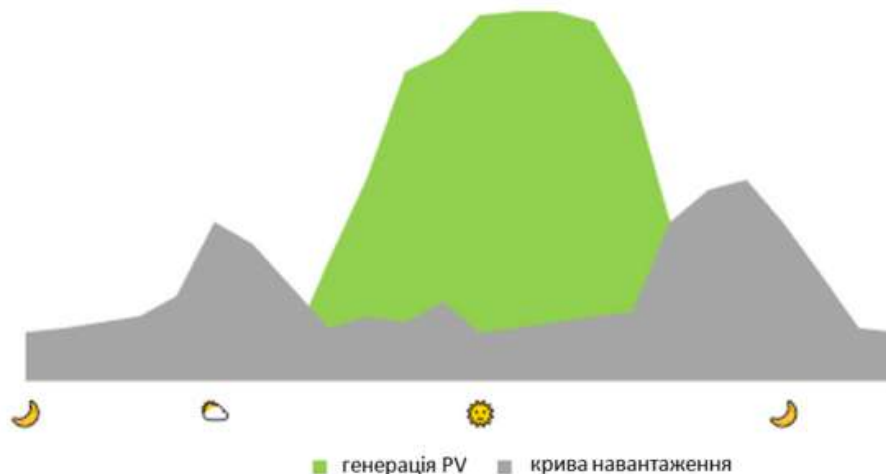


Рисунок 4.16 - Типова крива навантаження протягом літнього дня

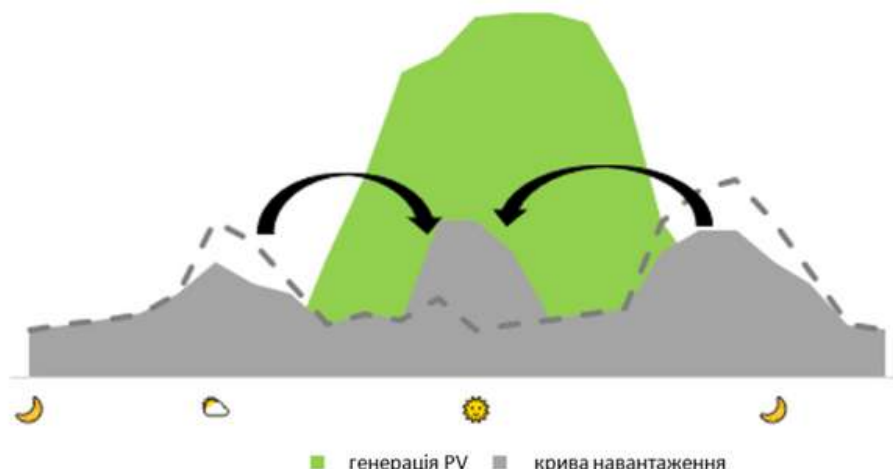


Рисунок 4.17 - Крива навантаження протягом літнього дня з зміщенням навантаження

Не всі навантаження можна перенести, але підігрів гарячої води та опалення можна легко перенести на період з максимальною сонячною інсоляцією.

З огляду на піковий характер споживання гарячої води, для того щоб знизити максимальну потужність теплового насосу (а отже і його вартість) рекомендовано використовувати баки акумулятори. Вони протягом певного часу він нагріває резервуар для гарячої води, який потім готовий до використання протягом дня. З іншої сторони потужність має бути достатньою щоб максимально використати потужність сонячної електростанції протягом світлового дня. Розмір цього резервуара та цільова температура зазвичай розраховані на покриття потреб в гарячій воді протягом доби. Таким чином, не так важливо, чи нагрівається цей резервуар вночі чи вдень.

4.4.3 Оптимізація споживання

Система з тепловим насосом може отримувати інформацію про надлишок доступної електроенергії та відповідно оптимізувати свою роботу. Якщо немає запиту на охолодження або опалення, а температура в баку досягає встановленого значення, тепловий насос зазвичай вимикається. Якщо він отримує сигнал про наявність надлишкової фотоелектричної потужності, він може нагріти резервуар до максимальної заданої точки та/або акумулювати енергію в контурі опалення приміщення.

Гаряче водопостачання

Розмір резервуара та цільова температура резервуара вибираються відповідно до потреб в гарячій воді. Наприклад, бак зазвичай нагрівається щодня о 13:00 до 50°C, щоб покрити вечірнє та ранкове навантаження.

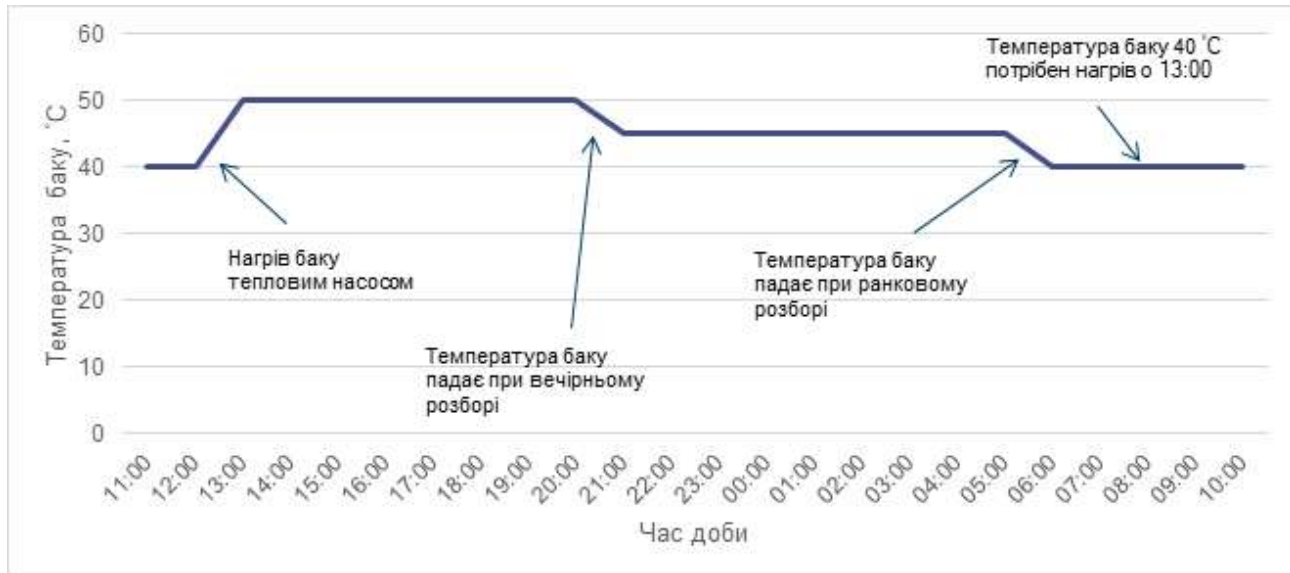


Рисунок 4.18 - Температура баку без оптимізації

Якщо о 15:00 буде надлишкова фотоелектрична потужність, система керування тепловим насосом має проаналізувати обсяги надлишку та використовувати його для нагріву баку. Додаткова потужність стає доступною в резервуарі гарячої води для побутових потреб і запобігає або зменшує нагрівання наступного дня о 13:00, коли вільна фотоелектрична енергія може бути недоступною. Якщо надлишок енергії зникне тепловий насос негайно припинить роботу. Якщо згодом надлишок енергії знову стане доступним, він продовжиться з того місця, де зупинився, доки не буде досягнуто максимальної температури баку.

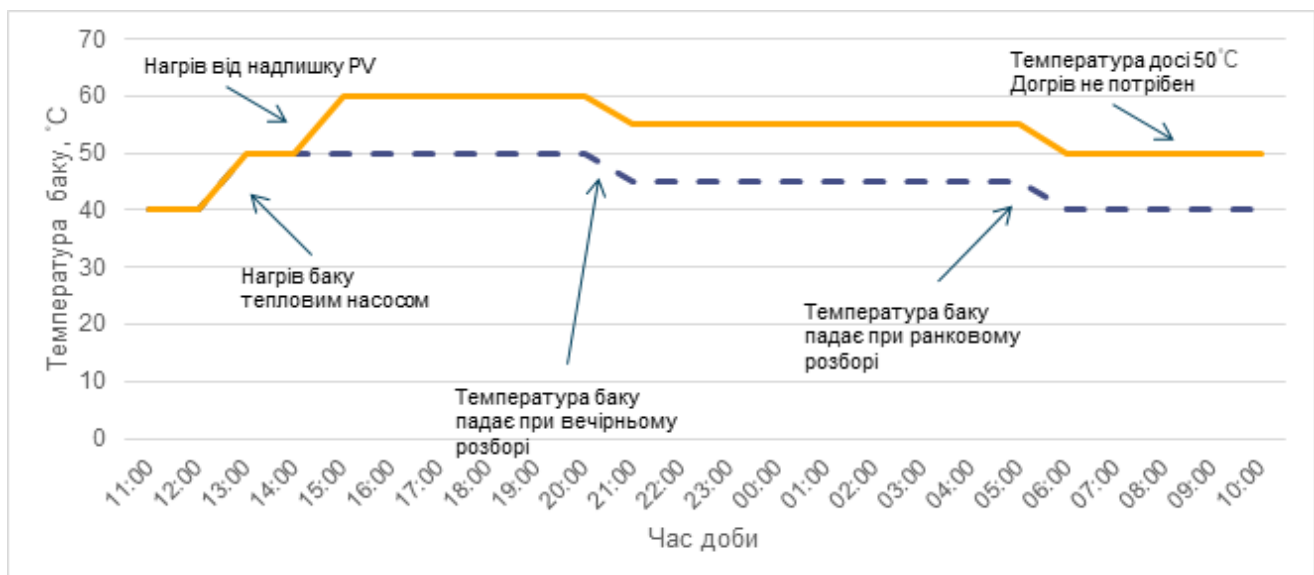


Рисунок 4.19 - Температура баку з PV оптимізацією

Опалення/Охолодження

Також можна буферизувати додаткову енергію від фотоелектричних панелей у контурі опалення/охолодження приміщення. Користувачі можуть встановити задану температуру комфорту нагріву та температуру комфорту охолодження, щоб вибрати максимальну температуру нагріву та мінімальну температуру охолодження.

Якщо нормальна задана температура опалення становить 20°C, то комфортну температуру можна встановити на 22°C. Це означає, що в холодний, але сонячний день у будинку буде трохи тепліше, а додаткове опалення знадобиться лише ввечері. Такий варіант можливий за умови високої інерційності стінових конструкцій будівель (цегляний або бетонних), для легких конструкцій (каркасні будівлі) такий варіант малоефективний і необхідно віддавати перевагу встановленню окремих теплонакопичувачів.

4.5 СОНЯЧНІ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЇ (СЕС)

Сонячні електростанції (СЕС) відіграють ключову роль у забезпеченні енергетичної ефективності та сталості NZEB-будівель (будівель із майже нульовим енергоспоживанням). Їх інтеграція в інженерну інфраструктуру об'єкта дозволяє покривати значну частину електричних потреб будівлі за рахунок відновлюваної енергії. Завдяки цьому зменшується залежність від централізованих джерел електроенергії, що, своєю чергою, сприяє підвищенню енергонезалежності, зниженню експлуатаційних витрат та зменшенню вуглецевого сліду.

У випадку з багатоквартирними будинками, особливо в міському середовищі, розміщення СЕС на даху дозволяє ефективно використовувати доступну площу, яка раніше могла залишатися невикористаною. Такий підхід не лише практичний, а й естетично прийнятний - сучасні фотоелектричні модулі можуть органічно інтегруватися в архітектуру будівлі.



Рисунок 4.20 - Зовнішній вигляд розміщення СЕС на даху багатоквартирного будинку

4.5.1 Основні принципи проектування СЕС

Проектування сонячної електростанції (СЕС) для NZEB-будівлі має враховувати не лише технічні характеристики обладнання, а й архітектурні особливості об'єкта. Ще на етапі формування концепції слід закладати рішення, які дозволять максимально ефективно використовувати сонячну енергію в умовах конкретного середовища. Нижче наведено ключові принципи, яких доцільно дотримуватись при реалізації проєкту СЕС.

- Максимізація корисної площі даху та фасадів.

Рекомендується вже на етапі архітектурного проектування мінімізувати затінення від конструктивних елементів будівлі (вентиляційні шахти, антенні блоки, димовідводи тощо). Це дозволяє забезпечити максимальну ефективну площу для встановлення фотоелектричних модулів.

- Оптимальне орієнтування панелей.

Для кліматичних умов України оптимальною вважається орієнтація панелей на південь із кутом нахилу 30–35°, що забезпечує найвищу річну генерацію. В окремих випадках допускається відхилення в межах 15–20°, однак це потребує детального аналізу з урахуванням сезонних змін сонячної активності.

- Використання фасадних поверхонь.

Особливо актуальним є залучення фасадів у багатоповерхових будівлях, де площа даху обмежена. Південні стіни можуть бути використані для монтажу вертикальних або похилих модулів, зокрема в системах BIPV (будівельна інтеграція фотоелементів), які поєднують естетику з енергоефективністю.

Такі принципи дозволяють не лише підвищити коефіцієнт корисної дії всієї системи, а й зробити її адаптованою до специфіки конкретного об'єкта. Рациональне використання простору та орієнтації – основа для стабільної та ефективної роботи СЕС протягом року.



Рисунок 4.21 - Приклад використання фасадних поверхонь будівлі для СЕС

4.5.2 Складові системи СЕС

Типова сонячна електростанція для житлової будівлі включає низку компонентів, від вибору яких значною мірою залежить її ефективність, надійність та довговічність:

- **Фотоелектричні модулі** (моно- або полікристалічні), з ефективністю не нижче 20 %.
- **Гібридні інвертори** (централізовані або модульні).
- **Система кріплення** (алюмінієві або сталеві конструкції, корозійностійкі).
- **Система моніторингу та керування навантаженням**, інтегрована в BMS для контролю виробітку та стану кожного стрінгу.
- **Розподільчі щити та захисні автомати**, включаючи захист від перенапруги (SPD).

Сценарії підключення

- **Автономне живлення власних потреб будівлі** (власне споживання пріоритетне).
- **Паралельна робота з мережею**, із можливістю компенсації надлишкової генерації.
- **Обов'язкові накопичувачі** (електричні LiFePo та теплові).

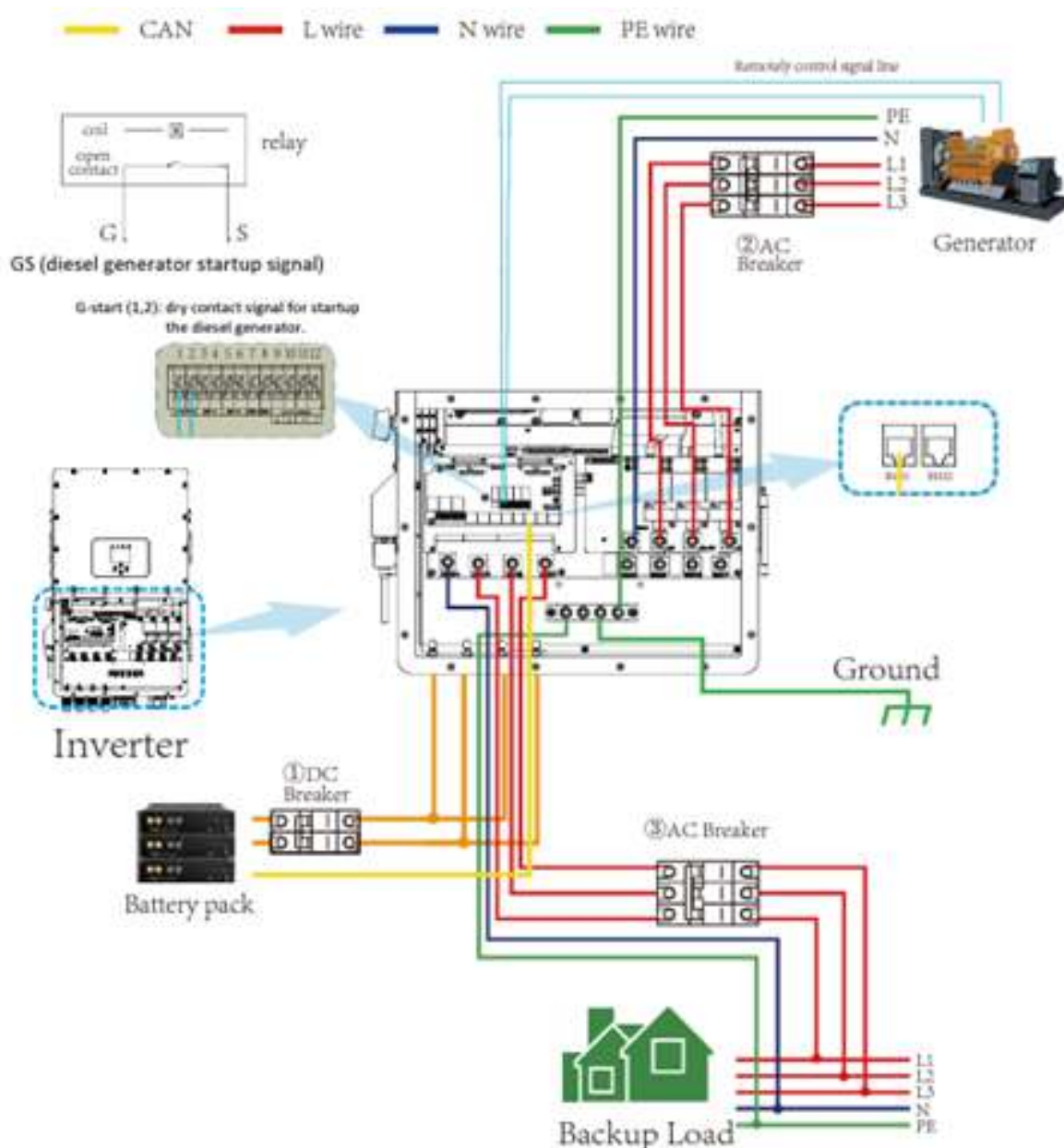


Рисунок 4.22 - Схема підключення сонячної

4.5.3 Взаємодія із системами теплопостачання

Інтеграція сонячної електростанції з системами теплопостачання в NZEB-будівлях відкриває нові можливості для підвищення загальної енергоефективності. Особливо перспективним є поєднання СЕС з тепловими насосами, що працюють на електроенергії. Така синергія дозволяє використовувати генерацію сонячної енергії не лише для задоволення електричних потреб, а й для покриття частини теплового навантаження будівлі.

Рационально організована взаємодія дозволяє адаптувати графік роботи теплового обладнання до графіка виробітку СЕС. Наприклад, у денний час, коли спостерігається пікове сонячне випромінювання, надлишкова електроенергія може бути спрямована на роботу теплового насоса в режимі нагріву. У цей період доцільно активувати підігрів теплоакumuлюючих баків, які зберігатимуть теплову енергію для подальшого використання у вечірні або нічні години. Таке рішення знижує споживання електроенергії з мережі у періоди мінімального виробітку та зменшує навантаження на теплову генерацію.

Ще одним ефективним підходом є попередній нагрів води в системах опалення або ГВП. Завдяки високій інерційності теплових контурів, накопичене тепло може використовуватися поступово, що особливо актуально в міжсезоння. При цьому доцільним є використання інтелектуального керування - через BMS або окремі контролери - яке дозволяє автоматично вмикати або вимикати обладнання залежно від прогнозу генерації, поточного навантаження та параметрів мікроклімату в приміщеннях.

4.5.4 Акумуляція енергії

Для забезпечення стабільної роботи енергосистеми NZEB-будівлі в умовах змінного сонячного випромінювання доцільним є впровадження систем накопичення енергії. Акумуляція дозволяє компенсувати нерівномірність виробітку та споживання електроенергії, а також забезпечує роботу в автономному режимі у випадку аварійного відключення мережі або нестабільного живлення. Існують два основні типи накопичувачів, що можуть бути інтегровані до структури СЕС:

- **Електричні акумулятори.** Доцільно використовувати LiFePo₄, що мають значку кількість циклів заряджання/розряджання. Такі батареї забезпечують зберігання надлишкової електроенергії, виробленої вдень, для її подальшого використання у вечірні або нічні години. Застосування акумуляторів особливо актуальне для об'єктів із високими вимогами до надійності живлення, а також у районах із частими перебоями електропостачання. LiFePo₄-батареї вирізняються тривалим ресурсом циклів заряду-розряду, підвищеною безпекою та екологічною стабільністю.
- **Теплові акумулятори.** У багатьох випадках більш економічно доцільним є використання теплових накопичувачів для збереження енергії у формі тепла. Це можуть бути теплоакumuлюючі баки з водою або фазозмінними матеріалами, що використовуються для систем опалення та гарячого водопостачання. Собівартість накопичення в таких системах значно нижча, ніж в електричних акумуляторах, - приблизно в 8–10 разів за одиницю збереженої енергії.

Комплексне використання обох типів накопичувачів дозволяє гнучко реагувати на зміну навантажень та генерації, а також досягати високого рівня автономності будівлі без втрати комфорту.

4.5.5 Автоматизація та моніторинг

Наявність повноцінної системи моніторингу - обов'язкова вимога для сучасної СЕС. Це дозволяє не лише відстежувати її роботу в режимі реального часу, а й вчасно реагувати на будь-які збої. Типова моніторингова система забезпечує:

- **Відображення потужності поточної генерації;**
- **Оцінку стану кожного окремого стрінгу (групи панелей);**
- **Дані про накопичену енергію за день, місяць, рік;**
- **Аналіз частки енергії, що споживається безпосередньо в будівлі, та тієї, що віддана до мережі.**

Інтеграція моніторингу з BMS дозволяє автоматично управляти навантаженням у будівлі: наприклад, увімкнення приладів у денний час, коли генерація максимальна, або перенесення окремих процесів на періоди пікового виробітку.

4.6 АВТОМАТИЧНІ СИСТЕМИ ЗОВНІШНЬОГО ЗАТІНЕННЯ (РАФШТОРИ)



Рисунок 4.23 - Рафштори

Одним із ефективних способів зниження перегріву приміщень у літній період є використання зовнішніх систем затінення – зокрема, автоматичних рафштор. Це спеціальні алюмінієві або композитні жалюзі, що встановлюються ззовні вікон і керуються автоматично залежно від сонячного випромінювання, температури або часу доби.

Основна функція рафштор - зменшення надходження прямого сонячного світла у приміщення, що дозволяє суттєво знизити навантаження на систему кондиціонування та покращити мікроклімат. У багатьох випадках правильно налаштована система зовнішнього затінення дозволяє повністю уникнути використання кондиціонерів у міжсезоння.

У NZEB-будівлях рафштори зазвичай інтегруються в загальну систему автоматизації (BMS) та реагують на сигнали з погодних станцій або датчиків сонячної радіації. Наприклад, у сонячний спекотний день жалюзі автоматично опускаються, створюючи тінь, а в похмурі чи вечірні години - піднімаються для максимального використання природного освітлення.

Переваги використання автоматичних рафштор:

- зниження температури всередині приміщення на 3–5°C у спекотний період без кондиціонування;
- зменшення споживання електроенергії на охолодження до 30%;
- зменшення сліпучого ефекту від прямих сонячних променів;
- покращення візуального та теплового комфорту мешканців або працівників.

Системи автоматичного затінення можуть працювати за заданим графіком або в повністю автономному режимі, реагуючи на зміни кліматичних умов у реальному часі. У новому будівництві доцільно передбачити установку напрямних і кріплень для рафштор ще на етапі проєктування, щоб уникнути ускладнень у подальшому монтажі.

Варто зазначити, що рафштори не лише функціональні, а й можуть бути естетичним елементом фасаду - існує широкий вибір кольорів та форм, які дозволяють гармонійно інтегрувати систему в архітектуру будівлі.

ВИСНОВКИ ТА РЕКОМЕНДАЦІЇ

1. Аналіз прямих та опосередкованих вимог до будівель за стандартом NZEB дозволяє сформулювати наступні рекомендації щодо можливих технічних рішень, що наразі доступні на ринку та можуть бути реалізовані:

- моніторинг енергоспоживання та параметрів мікроклімату з інтеграцією їх з системою керування мікрокліматом;
- максимальне заповнення даху сонячними панелями;
- використання електроакумуляторів для можливості використання сонячної енергії протягом доби;
- використання теплоакумуляторів для потреб гарячого водопостачання та опалення в комбінації з тепловими насосами, а в разі необхідності – ще й холодоакумуляторів;
- індивідуальне регулювання температури по кожному приміщенню (як за температурою так і за часом);
- рекомендовано переважно використовувати децентралізовані вентиляційні установки з рекуперацією теплової енергії з донагрівом повітря від теплових насосів та забезпеченням користуванням «за потребою»;
- в разі використання газових котлів для покриття частини потреби в тепловій енергії вони мають бути конденсаційного типу;
- теплові насоси повинні бути переважно типу «грунт-вода» або «вода-вода»;
- в якості опалювальних приладів рекомендовано використовувати фанкойли та низькотемпературні радіатори, теплі підлоги можуть бути використані, але з врахуванням їх інерційності;
- за умови, що проводиться реконструкція будівлі, для мінімізації використання внутрішнього простору можуть бути використані існуючі витяжні вентиляційні канали та припливні повітроводи по фасаду будівлі під шаром теплоізоляції.

2. Більшість інженерних рішень, особливо в частині регулювання систем опалення та використання сонячної генерації, мають окупність в межах 10 років і можуть реалізовуватися як перший етап для досягнення в подальшому стандарту NZEB. При цьому вони повинні дозволяти в подальшому реалізувати інші заходи, зокрема по теплоізоляції оболонки та інтеграції з іншими системами будівлі (вентиляція з рекуперацією, теплові насоси, тощо).

3. Ключовою вимогою до інженерних систем є використання компонентів (регуляторів, насосів тощо), що мають клас енергоефективності A+, що потребує наявності відповідних українських або гармонізованих європейських регламентів.

ДЖЕРЕЛА

1. ДБН В.2.6-31:2021. Теплова ізоляція будівель. Основні положення. – Київ : Мінрегіон України, 2021.
2. ДБН В.2.5-67:2013. Опалення, вентиляція та кондиціонування. – Київ : Мінрегіон України, 2013.
3. ДБН В.2.2-10:2022. Заклади охорони здоров'я. Основні положення. – Київ : Мінрегіон України, 2022.
4. ДБН В.2.2-3:2018. Будинки і споруди. Заклади освіти. Зі зміною № 1. – Київ : Мінрегіон України, 2018.
5. ДБН В.2.2-15:2019. Будинки і споруди. Житлові будинки. Основні положення. Зі зміною № 1. – Київ : Мінрегіон України, 2019.
6. ДБН В.2.5-28:2018. Природне і штучне освітлення. – Київ : Мінрегіон України, 2018.
7. ДСТУ EN 15232-1:2017. Енергоефективність будівель. Частина 1. Вплив автоматизованих систем моніторингу та управління будівлями. – Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2017.
8. EN 16798-1:2019 Energy performance of buildings - Ventilation for buildings - Part 1: Indoor environmental input parameters for design and assessment of energy performance of buildings addressing indoor air quality, thermal environment, lighting and acoustics.
9. EN 779:2012 Particulate air filters for general ventilation - Determination of the filtration performance.
10. ISO 16890-1:2016 Air filters for general ventilation – Part 1: Technical specifications, requirements and classification system based upon particulate matter efficiency (ePM).
11. Danfoss. Реконструкція систем опалення багатоквартирних будинків: альбом рішень [Електронний ресурс]. – Київ: Данфосс ТОВ, 2021.
12. ДСТУ-Н Б В.2.5-43:2010. Настанова з улаштування систем сонячного теплопостачання в будинках житлового і громадського призначення. – Київ : Мінрегіонбуд України, 2010.
13. ДСТУ Б В.2.5-44:2010. Проектування систем опалення будівель з тепловими насосами (EN 15450:2007, MOD). – Київ : Мінрегіонбуд України, 2010.
14. Міністерство розвитку громад та територій України. Наказ від 6 лютого 2025 р. № 168 «Деякі питання запровадження вимог до будівель з близьким до нульового рівнем споживання енергії». – Київ, 2025.
15. Міністерство регіонального розвитку України. Наказ від 11.07.2018 № 170 «Про затвердження Методики визначення економічно доцільного рівня енергоефективності будівель».
16. Міністерство розвитку громад та територій України. Наказ від 27.10.2020 № 260 «Про затвердження мінімальних вимог до енергетичної ефективності будівель».
17. Закон України «Про енергетичну ефективність» від 21.10.2021 № 1811-IX.
18. Закон України «Про енергетичну ефективність будівель» від 22.06.2017 № 2118-VIII.
19. Довгострокова стратегія з термомодернізації будівель до 2050 року. – Київ : Мінрегіон, 2020.
20. 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 Union, 2010.

21. European Commission. Building Management Systems (BMS) for NZEBs. Technical Report. – Brussels : Publications Office of the European Union, 2021.
22. REHVA. Recommendations for NZEB Renovation. REHVA Guidebook No. 29. – Brussels : REHVA, 2020.
23. International Energy Agency. IEA EBC Annex 67: Energy Flexible Buildings. – Paris : IEA, 2019.
24. BUILD UP – The European Portal for Energy Efficiency in Buildings. – Brussels : European Commission.
25. REHVA – Federation of European Heating, Ventilation and Air Conditioning Associations. – Brussels : REHVA.

ДОДАТОК 1. ВИМОГИ ДО БУДІВЕЛЬ З БЛИЗЬКИМ ДО НУЛЬОВОГО РІВНЕМ СПОЖИВАННЯ ЕНЕРГІЇ, ЩО ВПЛИВАЮТЬ НА ВИБІР ІНЖЕНЕРНИХ СИСТЕМ

Таблиця Д1. - Максимальні значення показника споживання первинної енергії з невідновлюваних джерел енергії (EPp) для будівель з близьким до нульового рівнем споживання енергії

1. У разі нового будівництва:

№ з/п	Вид будівлі	Показник споживання первинної енергії з невідновлюваних джерел енергії, для температурної зони України	
		I	II
1	Будівлі житлові (поверховість):		
	від 1 до 3	70	60
	від 4 до 9	50	41
	від 10 до 16	45	38
	17 і більше	40	35
2	Громадські будівлі (поверховість):		
	від 1 до 3	$[22 \Lambda bci + 9]$	$[18 \Lambda bci + 7]$
	від 4 до 9	$[17]$	$[13]$
	10 і більше	$[15]$	$[12]$
3	Окремі типи громадських будівель:		
3.1	Будівлі готельні	$33 \Lambda bci + 30$	$26 \Lambda bci + 30$
3.2	Будівлі закладів освіти	$[34 \Lambda bci + 12]$	$[29 \Lambda bci + 12]$
3.3	Будівлі закладів дошкільної освіти	$[19]$	$[15]$
3.4	Будівлі закладів охорони здоров'я	$[17]$	$[13]$
3.5	Будівлі торговельні	$[19 \Lambda bci + 9]$	$[13 \Lambda bci + 8]$

2.У разі реконструкції:

№ з/п	Вид будівлі	Показник споживання первинної енергії з невідновлюваних джерел енергії, для температурної зони України	
		I	II
1	Будівлі житлові (поверховість):		
	від 1 до 3	117	99
	від 4 до 9	83	67
	від 10 до 16	73	63
	17 і більше	69	59
2	Громадські будівлі (поверховість):		
	від 1 до 3	[37 Λ bsi + 15]	[31 Λ bsi + 12]
	від 4 до 9	[29]	[22]
	10 і більше	[25]	[17]
3	Окремі типи громадських будівель:		
3.1	Будівлі готельні	55 Λ bsi + 50	45 Λ bsi + 50
3.2	Будівлі закладів освіти	[55 Λ bsi + 21]	[48 Λ bsi + 21]
3.3	Будівлі закладів дошкільної освіти	[31]	[26]
3.4	Будівлі закладів охорони здоров'я	[29]	[24]
3.5	Будівлі торгівельні	[32 Λ bsi + 16]	[24 Λ bsi + 14]

Коефіцієнт компактності будівлі (Λ_{bsi}) розраховується за формулою:

$$\Lambda_{bsi} = \frac{A_{\Sigma}}{V}$$

де:

Λ_{bsi} – коефіцієнт компактності будівлі, (m^{-1});

A_{Σ} – загальна площа внутрішніх поверхонь зовнішніх огорожувальних конструкцій, включаючи покриття (перекриття) верхнього поверху і переkritтя (підлоги) нижніх опалюваних приміщень, (m^2);

V – кондиціонований (опалюваний) об'єм будівлі, що визначається відповідно до Порядку проведення сертифікації енергетичної ефективності, затвердженого наказом Міністерства регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України від 11 липня 2018 року № 172, зареєстрованого в Міністерстві юстиції України від 16 липня 2018 року за № 825/32277 (у редакції наказу Міністерства розвитку громад та територій України від 01 грудня 2021 року № 309), (m^3).

Таблиця Д2. - Фактори первинної енергії ($fP, nren$) для невідновлюваних джерел енергії

№ з/п	Енергоносії		$fP, nren$
1	Горючі корисні копалини	тверді	1.1
2		скраплені	1.1
3		газоподібні	1.1
4	Біологічне паливо	тверде	0.2
5		скраплене	0.5
6		газоподібне	0.4
7	Електрична енергія		2.3
8	Централізоване опалення		1.3
9	Централізоване охолодження		1.3

Таблиця Д3. - Мінімальні значення площі пристроїв, які виробляють електричну та/або теплову енергію з енергії сонячного випромінювання

№ з/п	Вид будівлі	Мінімальне значення площі пристроїв, які виробляють електричну та/або теплову енергію з енергії сонячного випромінювання, м ²
1	Будівлі житлові (поверховість):	
	від 1 до 3	2
	від 4 до 9	$A_f \times 0,035$
	від 10 до 16	$A_f \times 0,022$
	17 і більше	$A_f \times 0,4 / N_{\text{пов}}$
2	Громадські будівлі (поверховість):	
	від 1 до 3	4
	від 4 до 9	$A_f \times 0,04$
	10 і більше	$A_f \times 0,45 / N_{\text{пов}}$
3	Окремі типи громадських будівель:	
3.1	будівлі готельні	$A_f \times 0,3 / N_{\text{пов}}$
3.2	будівлі закладів освіти	$A_f \times 0,3 / N_{\text{пов}}$
3.3	будівлі закладів дошкільної освіти	$A_f \times 0,1$
3.4	будівлі закладів охорони здоров'я	$A_f \times 0,2 / N_{\text{пов}}$
3.5	будівлі торговельні	$A_f \times 0,2 / N_{\text{пов}}$

A_f – опалювана площа будівлі, що визначається відповідно до Порядку проведення сертифікації енергетичної ефективності, затвердженого наказом Міністерства регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України від 11 липня 2018 року № 172, зареєстрованого в Міністерстві юстиції України від 16 липня 2018 року за № 825/32277 (у редакції наказу Міністерства розвитку громад та територій).

ДОДАТОК 2. ПЕРЕЛІК ІНЖЕНЕРНИХ СИСТЕМ, ЩО МАЮТЬ НАЙВИЩУ ЕФЕКТИВНІСТЬ ВІДПОВІДНО ДО СТАНДАРТУ РОЗРАХУНКУ ЕНЕРГОСПОЖИВАННЯ БУДІВЛЯМИ ДСТУ 9190 ЕНЕРГЕТИЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ БУДІВЕЛЬ МЕТОД РОЗРАХУНКУ ЕНЕРГОСПОЖИВАННЯ ПІД ЧАС ОПАЛЕННЯ, ОХОЛОДЖЕННЯ, ВЕНТИЛЯЦІЇ, ОСВІТЛЕННЯ ТА ГАРЯЧОГО ВОДОПОСТАЧАННЯ

Для нагрівальних поверхонь (радіатори) в приміщення заввишки не більше ніж 4 м:

- Пропорційно-інтегральне -регулювання температури повітря приміщення з оптимізацією (наприклад, наявність диспетчеризації, адаптованого контролю;
- Температурний напір 55/45;
- Опалювальний прилад встановлений біля зовнішньої стіни;
- В разі встановлення опалювального приладу біля вікна – вікно має бути з радіаційним захистом.

Для гідравлічної системи розподілу:

- Налагоджена двохтрубна система налагоджена. Наявне автоматичне регулювання перепаду тиску в терморегуляторах або електронних регуляторах витрати теплоносія на опалювальних приладах (автоматичних регуляторах температури повітря у приміщенні).

Для складових частин вбудованих нагрівальних поверхонь (опалювальні панелі); приміщення заввишки не більше ніж 4 м:

- Пропорційно-інтегральне -регулювання температури повітря приміщення

Для повітряного опалення нежитлових будівель з приміщеннями заввишки не більше ніж 4 м:

- Догрівання припливного повітря (доводчиками) з регулюванням по температурі повітря приміщення (багаторівневе регулювання температури припливного повітря);
- Догрівання рециркуляційного повітря (у розподільниках, вентиляторах-конвекторах) з регулюванням по температурі повітря приміщення;

Ефективність систем опалення у приміщеннях заввишки більше ніж 4 м (будівлі зі значним внутрішнім об'ємом):

- Пропорційно-інтегральне -регулювання температури повітря приміщення з оптимізацією;

- Система опалення з водяними опалювальними панелями, трубчастими випромінювачами або підлогове опалення.

Ефективність систем у приміщеннях заввишки більше ніж 10 м:

- Пропорційно-інтегральне -регулювання температури повітря приміщення з оптимізацією;
- Система опалення з водяними опалювальними панелями, трубчастими випромінювачами.

Ефективність систем генерування теплової енергії:

- Газові конденсаційні котли з номінальною потужністю до 50 кВт з робочою температурою 55/45 °C
- Теплові насоси типу вода/вода, компресор з електроприводом і робочою температурою 35/28 °C
- Теплові насоси типу пряме випаровування у ґрунті/вода, компресор з електроприводом і робочою температурою 35/28 °C:
- Теплові насоси типу пряме випаровування у ґрунті/пряма конденсація в нагрівальних установках, компресор з електроприводом;
- Централізоване тепlopостачання Центральне якісно-кількісне регулювання відповідно до попиту, проміжне якісно-кількісне регулювання з урахуванням транспортного запізнювання мережі, регулюванням теплового потоку, залежним від погодних умов в ІТП з корегуванням відповідно до термодинамічних властивостей будівлі, теплонадходжень та попиту, з обмеженням максимальної витрати автоматичними засобами;
- Централізоване тепlopостачання з малими (квартирними) тепловими пунктами;
- Система гарячого водопостачання зі швидкісним теплообмінником, акумулюванням в ІТП та регулюванням теплового потоку за розкладом, з обмеженням максимальної витрати автоматичними засобами.

Річна ефективність – SEER окремих охолоджувальних машин

- Компресорна холодильна машина/ґрунтовий теплообмін або використання ґрунтової води;
- Безпосереднє охолодження/ґрунтовий теплообмін або використання ґрунтової води.

Проектна питома потужність вентилятора системи механічної вентиляції

- Децентралізована припливно-витяжна установка з блоком рекуперації тепла.