

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ  
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ ІМЕНІ ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»

# **ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІСТЬ ТА РОЗУМНІ БУДИНКИ**

## **КУРС ЛЕКЦІЙ**

**Навчальний посібник**

Рекомендовано Методичною радою КПІ ім. Ігоря Сікорського  
як навчальний посібник для здобувачів ступеня бакалавра  
усіх освітніх програм

Укладачі: М.М. Шовкалюк, О. М. Шевченко, В. І. Василенко

Електронне мережеве навчальне видання

Київ  
КПІ ім. ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО  
2026

УДК 620.9  
В 19

Укладачі: *Шовкалюк Марина Михайлівна*, канд. техн. наук, доц.  
*Шевченко Олена Миколаївна*, канд. техн. наук  
*Василенко Віра Іванівна*

Рецензент *Зайченко С.В.*, доктор технічних наук, професор,  
професор кафедри АЕМК НН ІЕЕ

Відповідальний редактор *Бориченко О.В.*, кандидат технічних наук, доцент

*Гриф надано Методичною радою КПІ ім. Ігоря Сікорського  
(протокол №6 від 03.04.2026 р.)  
за поданням вченої ради навчально-наукового інституту  
(протокол №8 від 26.03.2026р.)*

В 19 **Енергоефективність та розумні будинки.** Курс лекцій [Електронний ресурс] : навч. посіб. для здобувачів ступеня бакалавра / КПІ ім. Ігоря Сікорського ; уклад.: М.М. Шовкалюк, О. М. Шевченко, В. І. Василенко – Електрон. текст. дані (1 файл). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2026. – 199 с.  
У представленому посібнику викладено курс лекцій навчальної дисципліни «Енергоефективність та розумні будинки». Навчальне видання призначене для здобувачів ступеня бакалавра усіх спеціальностей

УДК 620.9

Реєстр. № 25/26-268 . Обсяг 6 авт. арк.  
Національний технічний університет України  
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»  
проспект Берестейський, 37, м. Київ, 03056  
<https://kpi.ua>  
Свідоцтво про внесення до Державного реєстру видавців, виготовлювачів  
і розповсюджувачів видавничої продукції ДК № 5354 від 25.05.2017 р.

© КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2026

## ЗМІСТ

<b>ВСТУП</b>	<b>7</b>
<b>РОЗДІЛ 1 СТАЛИЙ РОЗВИТОК ТА ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІСТЬ</b>	<b>9</b>
<b>1.1 Сталий розвиток держави та інструменти підвищення енергоефективності</b>	<b>9</b>
1.1.1 Передісторія сталого розвитку, глобальні зміни	9
1.1.2 Концепція сталого розвитку	12
1.1.3 Принципи сталого розвитку	13
1.1.4 Цілі сталого розвитку	14
1.1.5 Зелена та циркулярна економіка. Чисте виробництво	15
1.1.6 Сталий розвиток економіки та будівництва: нормативне забезпечення ЄС	20
Питання для самопідготовки	25
<b>1.2 Нормативно-правова база державного регулювання екологічної політики</b>	<b>26</b>
1.2.1 Екологічна політика України	26
1.2.2 Екологічна стандартизація, сертифікація і маркування	28
Питання для самопідготовки	29
<b>1.3 Нормативно-правова база державного регулювання енергетичної політики</b>	<b>30</b>
1.3.1 Політика України у сфері енергетичної ефективності, енергоменеджменту та енергоаудиту	30
1.3.2 Структура тарифів, ціноутворення в енергетиці	37
1.3.3 Досвід реалізації енергоефективних проєктів в Україні.	
Інструменти підтримки	40
Питання для самопідготовки	42

<b>1.4 Сталий розвиток і зелене будівництво</b>	<b>43</b>
<b>1.4.1 Завдання та принципи зеленого будівництва.</b>	<b>43</b>
<b>1.4.2 Типи зелених будівель</b>	<b>44</b>
<b>1.4.3 Аналіз міжнародних систем добровільної сертифікації</b>	<b>47</b>
<b>1.4.4 Обов’язкова енергетична сертифікація будівель в Україні</b>	<b>51</b>
<b>1.4.5 Державна політика у сфері збільшення кількості будівель з близьким до нульового рівнем споживання енергії</b>	<b>53</b>
<b>Питання для самопідготовки</b>	<b>56</b>
<b>РОЗДІЛ 2 ПРОЄКТУВАННЯ ТА РЕКОНСТРУКЦІЯ БУДІВЕЛЬНОГО ФОНДУ З УРАХУВАННЯМ ВИМОГ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ</b>	<b>57</b>
<b>2.1 Енергозбереження будівель і теплові баланси</b>	<b>57</b>
<b>2.1.1 Основи будівельної фізики. Тепловий баланс будівлі</b>	<b>57</b>
<b>2.1.2 Мікроклімат приміщень та розрахункові умови</b>	<b>59</b>
<b>2.1.3 Визначення теплового навантаження системи опалення</b>	<b>62</b>
<b>2.1.3 Характеристики огорожувальних конструкцій</b>	<b>66</b>
<b>2.1.4 Вимоги до теплової ізоляції огорожень</b>	<b>72</b>
<b>2.1.5 Технології утеплення</b>	<b>73</b>
<b>2.1.6 NZEB – будівництво: енергоефективні рішення</b>	<b>77</b>
<b>Питання для самопідготовки</b>	<b>79</b>
<b>2.2 Інженерні системи будівель та заходи з підвищення енергоефективності</b>	<b>80</b>
<b>2.2.1 Загальні положення</b>	<b>80</b>
<b>2.2.2 Ефективні рішення для систем опалення</b>	<b>82</b>
<b>2.2.3 Індивідуальні теплові пункти</b>	<b>92</b>
<b>2.2.4 Системи вентиляції</b>	<b>93</b>

<b>2.2.5 Системи кондиціонування</b>	<b>98</b>
<b>2.2.6 Системи освітлення</b>	<b>100</b>
<b>2.2.7 Розумний будинок</b>	<b>102</b>
<b>Питання для самопідготовки</b>	<b>104</b>
<b>2.3 Енергетичний менеджмент та ефективна експлуатація будівель</b>	<b>105</b>
<b>2.3.1 Енергоменеджмент: загальні аспекти</b>	<b>105</b>
<b>2.3.2 Базовий рівень енергоспоживання будівель</b>	<b>109</b>
<b>2.3.3 Енергетичний аудит</b>	<b>111</b>
<b>2.3.4 Енергомоніторинг і енергетичні баланси</b>	<b>113</b>
<b>2.3.5 Прилади обліку. Автоматизовані системи обліку</b>	<b>116</b>
<b>Питання для самопідготовки</b>	<b>118</b>
<b>2.4 Проектування та реконструкція з урахуванням вимог енергоефективності та охорони довкілля</b>	<b>119</b>
<b>2.4.1 Організація проєктної діяльності в Україні</b>	<b>119</b>
<b>2.4.2 Проектування інженерних систем будівель</b>	<b>120</b>
<b>2.4.3 Проектування систем автоматики і керування</b>	<b>122</b>
<b>2.4.4 Розділ проєктів «Енергоефективність» та вимоги щодо огорожувальних контрукцій</b>	<b>127</b>
<b>2.4.5 Розділ проєктів «Оцінка впливу на довкілля»</b>	<b>129</b>
<b>2.4.6 Проєкти підвищення енергоефективності. Енергоаудит</b>	<b>130</b>
<b>Питання для самопідготовки</b>	<b>133</b>
<b>РОЗДІЛ 3 ЕФЕКТИВНІ ДЖЕРЕЛА ЕНЕРГІЇ ТА ІНТЕЛЕКТУАЛЬНІ ТЕХНОЛОГІЇ В РОЗУМНИХ БУДІВЛЯХ</b>	<b>134</b>
<b>3.1 Енергоефективні джерела енергії та розосереджена генерація</b>	<b>134</b>
<b>3.1.1 Централізоване теплопостачання</b>	<b>134</b>
<b>3.1.2 Етапи розвитку систем централізоване теплопостачання</b>	<b>135</b>

<b>3.1.3 Характеристика систем теплопостачання нового 5-го покоління</b>	<b>139</b>
<b>3.1.4 Системи теплопостачання з комбінованими джерелами енергії</b>	<b>140</b>
<b>3.1.6 Використання ВДЕ: температурний діапазон та поєднання технологій</b>	<b>147</b>
<b>3.1.7 Використання теплових насосів у системах теплопостачання</b>	<b>149</b>
<b>3.1.8 Використання енергії сонця та комбінація роботи систем з тепловими насосами</b>	<b>157</b>
<b>3.1.9 Використання біомаси і місцевих видів палива</b>	<b>161</b>
<b>3.1.10 Приклади проєктів комбінованих систем енергопостачання</b>	<b>162</b>
<b>3.1.11 Стратегія розвитку України: розосереджена генерація</b>	<b>163</b>
<b>Питання для самопідготовки</b>	<b>164</b>
<b>3.2 Розумні будинки: підсистеми, пристрої та можливості</b>	<b>165</b>
<b>3.2.1 Що таке "Розумний будинок" та «Інтелектуальна будівля»</b>	<b>165</b>
<b>3.2.2 Еволюція технологій</b>	<b>166</b>
<b>3.2.3 «Розумні» терміни</b>	<b>168</b>
<b>3.2.4 Компоненти «Розумного будинку»</b>	<b>169</b>
<b>3.2.5 Автоматизація роботи інженерних систем</b>	<b>178</b>
<b>3.2.6 «Розумна мережа» як частина концепції «Розумного міста»</b>	<b>182</b>
<b>Питання для самопідготовки</b>	<b>190</b>
<b>ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ</b>	<b>191</b>

## ВСТУП

Енергоефективність у всіх галузях економіки є важливим трендом сьогодні і буде важливим у майбутньому. Україна є енергозалежною державою, що негативно впливає на усі процеси економічного розвитку, що є стратегічною проблемою. Зростання цін на викопне паливо, погіршення стану довкілля, виснаження природних ресурсів та зацікавленість кожної країни бути енергетично незалежною. Глобальна економічна криза зробила цей напрямок ще більш актуальним. Це змушує шукати знання та альтернативні способи заміни традиційних енергоносіїв, впровадження заходів з підвищення енергоефективності та управління споживанням енергоресурсами. Пошуку таких рішень потребують як пересічні громадяни, так і підприємства та організації усіх форм власності.

Потенціал енергозбереження в Україні, зокрема в будівельному секторі, є високим і складає також близько 50-60% від загального енергоспоживання. Активно впроваджуються сучасні технології, особливо в сфері використання сучасних систем автоматики та управління, комбінованого використання традиційних систем енергозабезпечення та нетрадиційних та відновлювальних джерел енергії. Вивчення енергетичного курсу країни і передового досвіду країн ЄС, сучасних тенденцій розвитку розумних міст, отримання навичок роботи із сучасної нормативною базою стосовно енергоефективності, енергоменеджменту та енергозбереження є актуальним питанням.

Посібник створено для покращення організації навчального процесу з дисципліни «Енергоефективність та розумні будинки» для здобувачів ступеня бакалавра за освітньою програмою першого (бакалаврського) рівня підготовки.

Курс є цікавим та необхідним для розвитку культури поводження з енергією для кожного громадянина України як на рівні побутових користувачів, так і в якості майбутнього спеціаліста в своїй галузі. Енергоефективність найближчими роками також може стати не просто трендом, а необхідністю через вичерпання природних ресурсів та, як наслідок, зростання цін на паливо та ресурси.

Мета опанування дисципліни – формування у студентів сучасних теоретичних і практичних знань, умінь і навичок щодо енергоефективності, енергоменеджменту, передових технологій у будівельному фонді та сучасних тенденцій розвитку, задачею яких є зменшення негативного впливу на довкілля і досягнення кліматичної нейтральності.

Предметом навчальної дисципліни є принципи сталого розвитку та зміни клімату, методи та засоби енергозбереження та енергоменеджменту, підвищення енергоефективності будівельного фонду; законодавчі, фінансові і соціально-економічні аспекти енергоефективності та енергоаудиту; принципи застосування сучасних технологій та інформаційних систем будівель.

Компетентності: здатність визначати, досліджувати та розв’язувати проблеми у сфері енергозбереження, автоматизації та управління енергоспоживанням, підвищення енергоефективності інженерних систем та огорожень будівель; знати сучасні інтелектуальні системи і технології розумних будівель; уміння обирати обладнання і джерела енергії; уміння досліджувати проблеми реконструкції будівельного сектору та обґрунтовувати економічну доцільність заходів.

Цей курс був розроблено із використанням матеріалів, наданих під час тренінгу для викладачів «Енергоефективні системи теплопостачання та технологія «Розумна будівля» за підтримки компонента «Професійні кваліфікації» проекту «Сприяння енергоефективності та впровадження Директиви ЄС про енергоефективність в Україні» (2020-2025), що реалізується в Україні GIZ за підтримки Міністерства відновлення.

## **РОЗДІЛ 1 СТАЛИЙ РОЗВИТОК ТА ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІСТЬ**

Тема 1.1 Сталий розвиток держави та інструменти підвищення енергоефективності

Тема 1.2 Нормативно-правова база державного регулювання екологічної політики

Тема 1.3 Нормативно-правова база державного регулювання енергетичної політики

Тема 1.4 Сталий розвиток та зелене будівництво

### **1.1 Сталий розвиток держави та інструменти підвищення енергоефективності**

#### **1.1.1 Передісторія сталого розвитку, глобальні зміни**

Великі темпи зростання обсягів матеріального виробництва і чисельності населення, які були визначальним фактором цивілізаційного розвитку впродовж XIX і XX ст., обумовили різке збільшення антропогенного навантаження на природні екосистеми, почались суттєві незворотні в осяжній перспективі зміни.

Водночас людство почало усвідомлювати необхідність радикального перегляду стратегії свого розвитку лише після того, як процеси деградації біосфери набули таких масштабів, що обумовило чітко виражені зміни глобальних її компонентів (земля, вода, повітря) [1].

З кінця 20-х років минулого століття стала очевидною необхідність радикальної зміни розвитку цивілізації.

*Екологічна криза* розпочалась всередині 70-х років. Основні ознаки кризи:

- глобальні зміни клімату, виникнення парникового ефекту,
- неконтрольоване забруднення і накопичення відходів,
- виснаження прісних вод,
- втрата біорізноманіття.

Зміни клімату спричиняють **суттєві зміни в екосистемі** (рис. 1.1.1) [2]:

1. Підвищення температури на  $1\text{ }^{\circ}\text{C}$  спричинює *зсув природних зон* на 160км. Це призводить до кліматичних змін на певних територіях.

2. *Підвищення середньозимових температур* (наприклад, в Україні середня температура січня вже зросла на  $1,5 - 2,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ , лютого - на  $1 - 2\text{ }^{\circ}\text{C}$ ), скорочення кількості опадів змінює гідротермічні цикли, які визначають розвиток біоценозів (сукупність рослин, тварин і мікроорганізмів у межах однієї екосистеми). Низькі екстремальні зимові температури, що стримували поширення багатьох видів бур'янів, трапляються дедалі рідше (в Україні останньою екстремальною зимою вважають зиму 1978 - 1979 р.р.), що сприятиме поширенню інвазійних видів.

3. *Катаклізми*: сніг у пустелі, рекордні високі та низькі температури, пізньовесняні приморозки, що знижують урожайність, повені, засухи, опустелювання, буревії, смерчі, торнадо тощо.

4. Підвищення вмісту  $\text{CO}_2$  та інших газів провокує *розвиток парникового ефекту*. Однак слід розрізняти природний і антропогенний парниковий ефект. На Землі підтримання певної температури атмосфери, придатної для життя, забезпечують випромінювання Сонця та парниковий ефект з моменту появи атмосфери, завдяки якому середня температура повітря біля поверхні Землі дорівнює близько  $+15\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Без цього вона б дорівнювала від  $-8$  до  $-23\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Від середини XVIII століття (від початку доіндустріальної епохи) вміст вуглекислого газу в атмосфері збільшився майже в півтора рази. Нині рослини не встигають поглинати у процесі фотосинтезу вуглекислий газ, який виділяють промислові й енергетичні підприємства, автотранспорт. Через накопичення в атмосфері парникових газів середня температура може підвищитись на  $1,5 - 4,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ , що призведе до цілої низки незворотних змін в екосистемі планети.

5. Через спалювання біомаси, споживання викопного палива формуються *коричневі хмари*, що пришвидшує нагрівання нижніх шарів атмосфери, сприяючи таненню гімалайської льодовиків. Гігантська область забрудненого повітря бурого кольору над Південною Азією являє собою суміш зважених твердих частинок дрібного розміру з сажі, нітратів, попелу і пилу.

Зміна клімату є дуже серйозною загрозою, і її наслідки впливають на різні аспекти життя людини [3]. **Наслідки зміни клімату** показано на рис 1.1.2. В питанні контролю над ресурсами людство пройшло декілька етапів – від приватного до державного та національного – і рухається до міжнародного контролю. Триває становлення нової, екологічно врівноваженої бази, що виражається в концепції сталого розвитку людства.

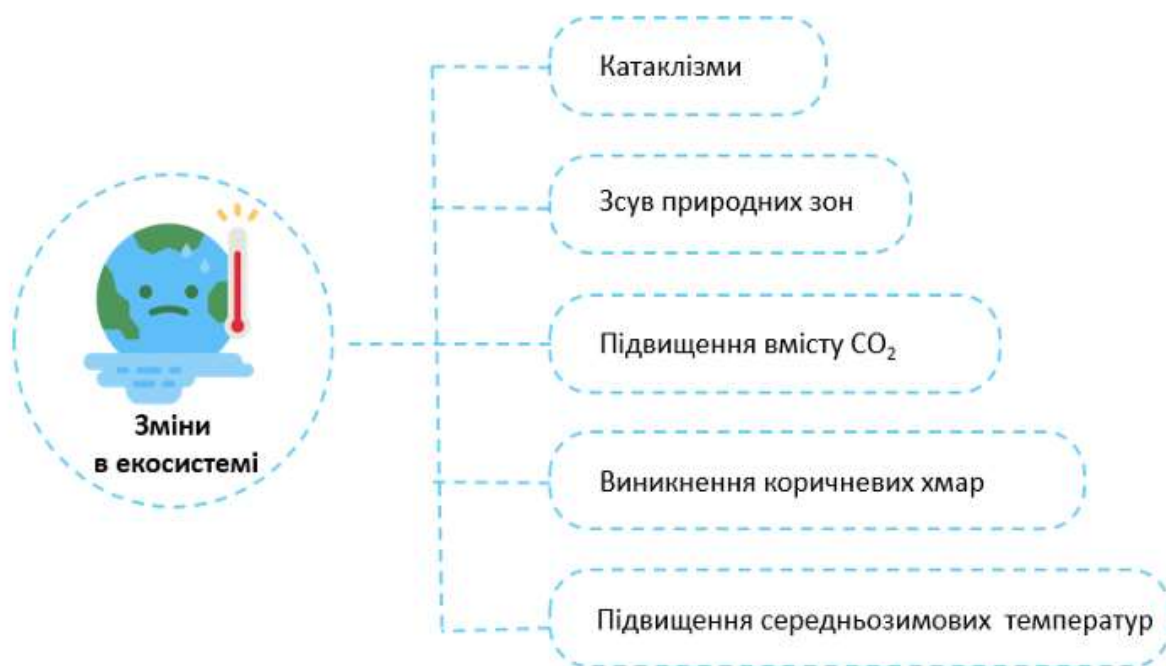


Рисунок 1.1.1 – Зміни в екосистемі спричинені змінами клімату



Рисунок 1.1.2 – Наслідки зміни клімату

### 1.1.2 Концепція сталого розвитку

Концепція сталого розвитку має доволі довгу історію становлення. Питання надмірної експлуатації природних ресурсів поставлено ще у 1913 р. на Міжнародній конференції з охорони довкілля в Берні. Члени Римського клубу в 70-х роках взяли за мету моделювати розвиток людства, заклавши в основу цієї роботи припущення, що наявні тенденції розвитку людства збережуться і в майбутньому. Отримані результати: вже наприкінці ХХІ століття світ впритул наблизиться до меж зростання і відбудеться різкий неочікуваний, неконтрольований спад кількості населення, а також різке скорочення виробництва, тобто настане ситуація, катастрофічна для всього людства [4].

Організація Об'єднаних Націй (ООН), заснована у 1945 році, може координувати дії, спрямовані на вирішення глобальних проблем у масштабі світової спільноти. Станом на 2023 рік вона об'єднує 193 країни. Участь ООН у вирішенні глобальних проблем бере початок з 5 червня 1972 року, коли відбулась Конференція ООН у Стокгольмі. Конференція погодила 26 принципів щодо охорони навколишнього середовища та розвитку людства, які охоплювали шість сфер (житло, управління природними ресурсами, забруднення, освітні та суспільні аспекти охорони навколишнього середовища, розвиток і природне середовище та міжнародні організації). На конференції в Ріо-де-Жанейро у 1992 було визначено, що людство переживає вирішальний момент історії: протиріччя між характером розвитку цивілізації та природою досягли межі, і подальший рух по цьому шляху веде до глобальної катастрофи.

**Сталий розвиток** – це такий позитивний процес змін комплексу екологічних, економічних та соціальних показників якості життя, що забезпечує людські потреби без загрози для існування майбутніх поколінь [4].

**Концепція сталого розвитку включає три складові** (рисунок 1.1.3) [5,6]:  
– *економічну*, яка базується на теорії максимізації сукупного доходу, який виробляється, за умови збереження сукупного капіталу, що виробляє цей дохід.

Ця концепція передбачає оптимальне використання обмежених ресурсів, використання екологічних, енерго- та матеріалозберігаючих технологій;

– *соціальну*, яка орієнтована на людину і спрямована на збереження стабільності соціальних та культурних систем, в тому числі на зменшення руйнівних конфліктів між людьми. Важливим є справедливий розподіл благ, збереження культурного надбання та багатоманітності в глобальних масштабах;

– *екологічну*, яка спрямовується на збереження цілісності біологічних та фізичних природних систем. Особливе значення має життєздатність екосистем, від яких залежить глобальна стабільність всієї біосфери.



Рисунок 1.1.3 – Основні складові сталого розвитку [5]

### 1.1.3 Принципи сталого розвитку

Концепція сталого розвитку ґрунтується на основних **принципах**, представлених на рисунку 1.1.4 [7].

Існує біля 100 індикаторів, що характеризують різні сторони сталого розвитку і служать базою при прийнятті важливих управлінських рішень.

Базовий набір індикаторів сталого розвитку поділяють на 4 групи [6]:

- *соціальні*: боротьба з бідністю, демографічна динаміка, сприяння освіті, підготовці кадрів та поінформованості суспільства, захист здоров'я населення, сприяння стійкому розвитку поселень;
- *економічні*: економічний розвиток, зміна характеру споживання, фінансові ресурси і механізми;
- *екологічні*: водні ресурси, земельні ресурси, атмосфера, відходи та ін.;
- *інституційні*: планування політики, наукові розробки, міжнародні правові інструменти, інформаційне забезпечення, посилення ролі населення.

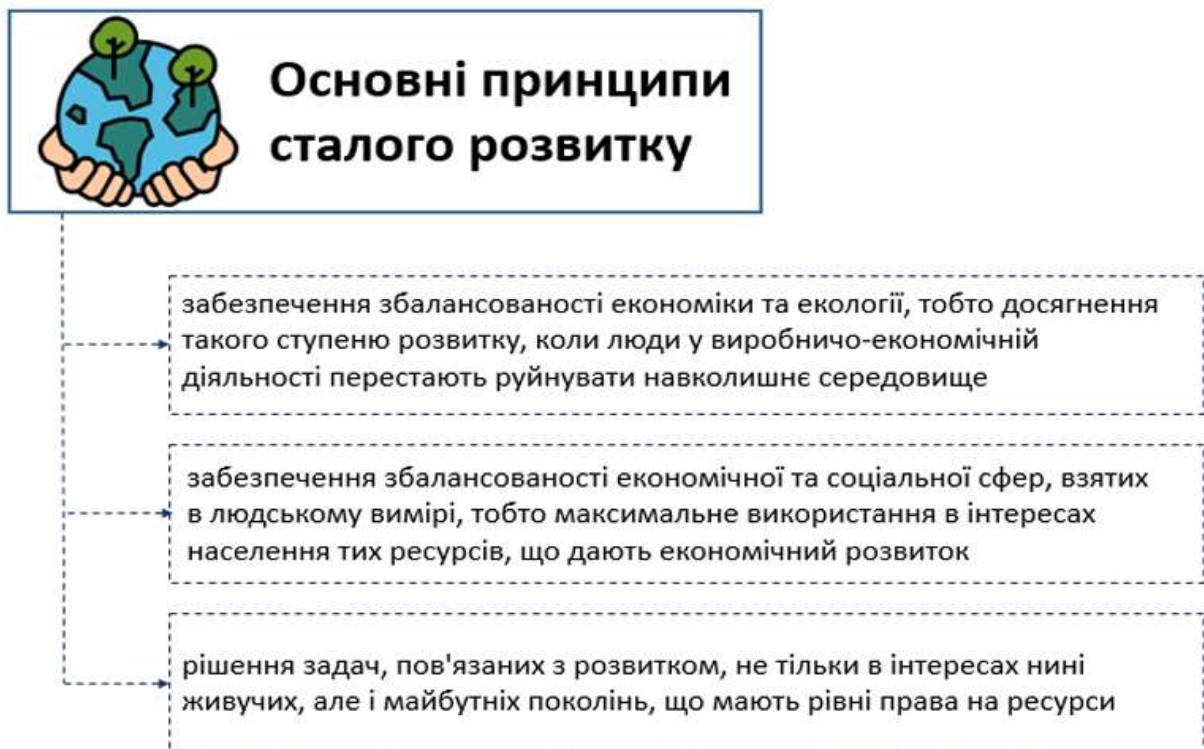


Рисунок 1.1.4 – Основні принципи сталого розвитку

### 1.1.4 Цілі сталого розвитку

25 вересня 2015 року у Нью-Йорку відбувся Саміт ООН та прийнято Резолюцію Генеральної Асамблеї ООН «Перетворення нашого світу: Порядок денний у сфері сталого розвитку до 2030 року»). На ньому було обрано 17 найбільш актуальних цілей сталого розвитку (ЦСР) до 2030 року [20]:

1. Подолання бідності.

2. Подолання голоду, досягнення продовольчої безпеки, поліпшення харчування і сприяння сталому розвитку сільського господарства.
3. Забезпечення здорового способу життя, благополуччя у будь-якому віці.
4. Забезпечення всеохоплюючої і справедливої якісної освіти та заохочення можливості навчання впродовж усього життя для всіх.
5. Забезпечення гендерної рівності, розширення прав і можливостей.
6. Забезпечення доступності та сталого управління водними ресурсами.
7. Забезпечення доступу до недорогих, надійних, стійких джерел енергії.
8. Сприяння поступальному, всеохоплюючому та сталому економічному зростанню, повній і продуктивній зайнятості та гідній праці для всіх.
9. Створення стійкої інфраструктури, сприяння інноваціям.
10. Скорочення нерівності.
11. Забезпечення відкритості, безпеки, життєстійкості й екологічної стійкості міст, інших населених пунктів.
12. Перехід до раціональних моделей споживання і виробництва.
13. Боротьба зі зміною клімату та її наслідками.
14. Раціональне використання океанів, морів і морських ресурсів.
15. Захист та відновлення екосистем суші, раціональне лісокористування, боротьба з опустелюванням, припинення і повернення назад (розвертання) процесу деградації земель та зупинка процесу втрати біорізноманіття.
16. Мирлюбне та відкрите суспільство, доступ до правосуддя, ефективні інституції на всіх рівнях.
17. Глобальне партнерство в інтересах сталого розвитку.

### **1.1.5 Зелена та циркулярна економіка. Чисте виробництво**

Наслідки світової фінансової кризи 2008–2009рр. стали точкою відліку для зеленої економіки та підштовхнули світ до перегляду традиційних моделей розвитку. **Зелена економіка** – це система видів економічної діяльності, пов'язаних з виробництвом, розподілом і споживанням товарів і послуг, які

призводять до підвищення добробуту людини у довгостроковій перспективі, в той же час не піддаючи майбутні покоління впливу значних екологічних ризиків [9]. Традиційна економіка спрямована на збільшення обсягів виробництва та продажу продукції. Модель циркулярної економіки створює цінність системи через зменшення її вартості (рис. 1.1.5, 1.1.6). Основна увага приділяється збереженню первинних ресурсів. Відзначимо відмінності:

- *зелена економіка* – система економічної діяльності, пов'язана з виробництвом, розподілом і споживанням товарів і послуг, що призводить до поліпшення добробуту людини в довгостроковій перспективі, щоб уникнути значних екологічних ризиків для майбутніх поколінь;

- циркулярна економіка передбачає економічне зростання *без збільшення споживання ресурсів*. Продукція характеризуватиметься довшим терміном служби, а ресурси мають бути повторно використані в нових виробничих циклах, що зменшить виробництво відходів, перероблення з підвищенням якості.

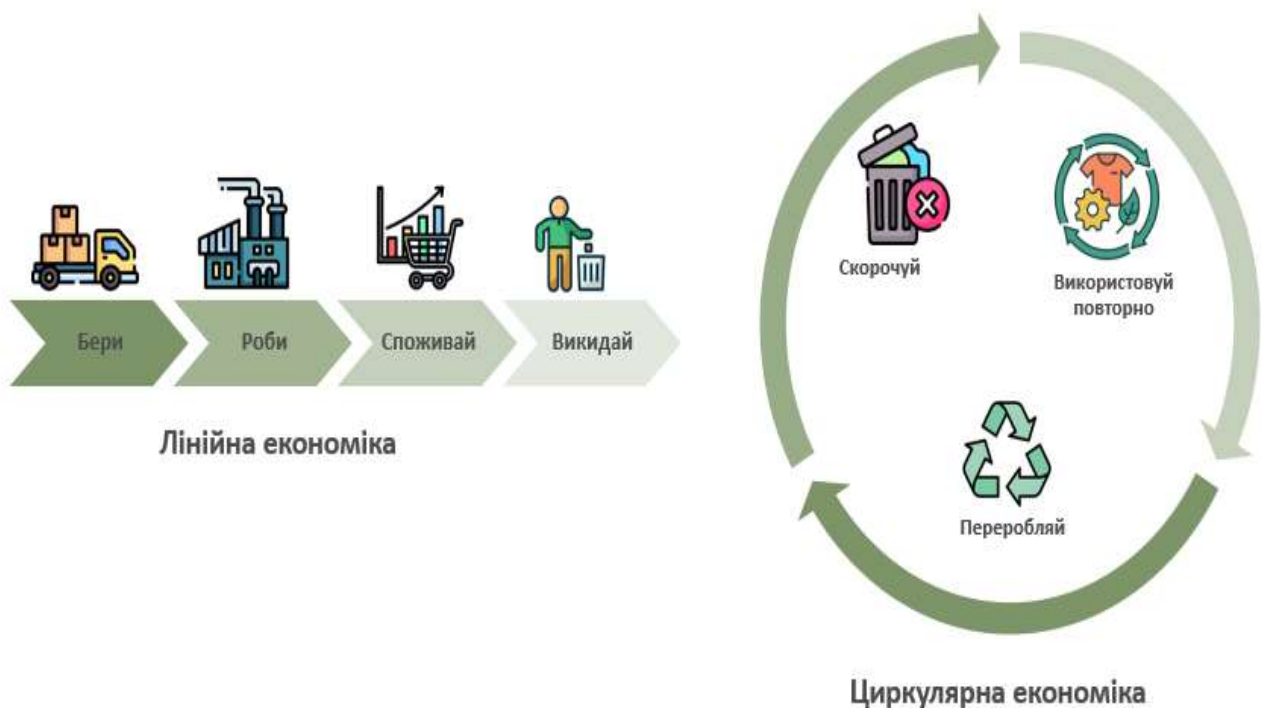


Рисунок 1.1.5 – Наглядний приклад лінійної та циркулярної економіки [9]



Рисунок 1.1.6 – Приклад лінійної та циркулярної економіки [9]

Циркулярна економіка заснована на принципах 3R. Поряд з цим, у 2018 р. Всесвітнім економічним форумом було значно розширено принципи циркулярної економіки, і зараз ми маємо 10R модель (рис. 1.1.7).

### Еволюція циркулярної економіки



Рисунок 1.1.7– Принципи циркулярної економіки [9]

## **Бізнес-приклади циркулярної економіки [9]**

### **1) Бізнес-модель: Циркулярні постачальники**

Renault – перший автовиробник, який взяв зобов’язання щодо впровадження концепції циркулярної економіки, створивши в 2008 р. дочірню компанію Renault Environment, що забезпечує контроль за потоком автомобільних відходів і деталей. В результаті транспортні засоби створюються на 85 % придатними для повторного використання і містять 95% деталей, видобутих у кінці терміну служби. Частка перероблених пластмас у виробництві постійно зростає, відновлюються і повторно використовуються запасні частини раніше реалізованих автомобілів з вичерпаним терміном експлуатації, впроваджено процеси рециркуляції міді. Нині виручка компанії від застосування практики циркулярної економіки становить 0,5 млрд євро за рік.

### **2) Бізнес-модель: Відновлення ресурсів**

LehighTechnologies (компанія з Атланти) перетворює старі шини та інші гумові відходи на так званий мікронізований порошок гуми, спектр застосувань якого широкий: від шин до пластмас, асфальту та будівельних матеріалів.

### **3) Бізнес-модель: Продовження терміну служби продукту**

Компанія H&M співпрацює з компанією ICO, щоб зібрати 29 тис. тонн текстилю для повторного використання та перероблення. Клієнти H&M повертають використаний одяг у магазини, отримуючи ваучер на знижку для майбутніх покупок у H&M. ICO збирає одяг та сортує його за трьома категоріями: повторний одяг (продається як секонд-хенд), повторне використання (перетворене на інші текстильні вироби, такі як серветки для чищення) та переробка (перетворене на текстильні волокна, такі як утеплювач).

### **4) Бізнес-модель: Спільне користування**

До цієї моделі належать ресурси обміну транспортом, наприклад BlaBlaCar – сервіс пошуку попутників на авто. Перерахуємо інші приклади:

а) Airbnb –платформа для здавання і оренди приватного житла;

б) стартап Yard Club дає змогу ефективніше використовувати будівельну та іншу важку техніку;

в) цифрові платформи DHL Spaces і Flexe дають можливість реалізувати концепцію спільного складування, основу на виділенні надлишкової складської площі в розряд мультиклієнтського майданчика;

г) платформа 3DHubs – об'єднує промислових дизайнерів із власниками 3D-принтерів.

Шляхи реалізації ідеології зеленої економіки зображені на рис. 1.1.8.

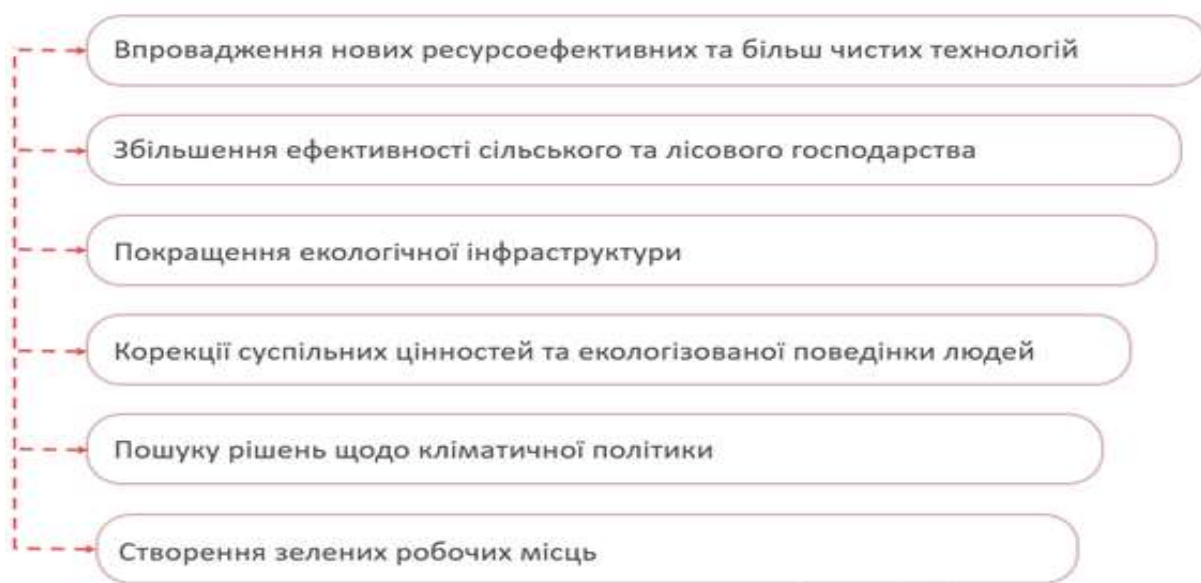


Рисунок 1.1.8 – Шляхи реалізації ідеології зеленого зростання [9]

### ***Приклади економічних інструментів [9]:***

1. Екологічні податки на забруднення довкілля. Оподаткування передбачає можливість зменшення податків підприємствам, які досягли кращих показників екологічної результативності виробництва завдяки впровадженню інновацій та/чи модернізації виробництва.

2. Податкові пільги і субсидії. Втрати на податкові пільги компенсуються надходженнями від оподаткування підприємств, що використовують екологічно небезпечну технологію/продукцію.

3. Пільгові позики: кредити для фінансової підтримки суб'єктів господарювання, які запроваджують чисті технології/ресурсозбереження.

4. Платежі (збори) за спеціальне використання природних ресурсів.

5. Екологізація податкової та цінової систем.

### 1.1.6 Сталий розвиток економіки та будівництва: нормативне забезпечення ЄС

Будівництво – це сфера економічної діяльності, що має найбільший потенціал енергозбереження, оскільки є одним з основних споживачів енергоресурсів. Будівлі всього світу використовують близько 40 % всієї споживаної первинної енергії, 67 % усієї електричної енергії, 40 % усієї сировини та 14 % усіх запасів питної води, а також виробляють 35 % всіх викидів вуглекислого газу і майже 50 % усіх твердих побутових відходів. Прогнозується, що глобальне будівництво зросте на 6,6 % у 2025 році та на 42 % до 2030 року. З цим зростанням збільшується ризик забруднення та утворення відходів.

**Зелене будівництво** - це практика будівництва і експлуатації будівель, метою якої є зниження рівня споживання енергетичних і матеріальних ресурсів протягом всього життєвого циклу будівлі (рис.1.1.9) від вибору ділянки до проектування, будівництва, експлуатації, ремонту і зносу для зменшення негативного впливу будівель на навколишнє середовище.



Рисунок 1.1.9 – Узагальнений життєвий цикл будівлі [11]

Загальні економічні вигоди від досягнутого енергозбереження набагато більші, ніж просто економія енергії. На рис.1.1.10 продемонстровано результати оцінки, проведеної в Румунії, яка свідчить про те, що сукупний показник отриманої економії в 4,6 разів вищий за суму зекономлених витрат на енергію.

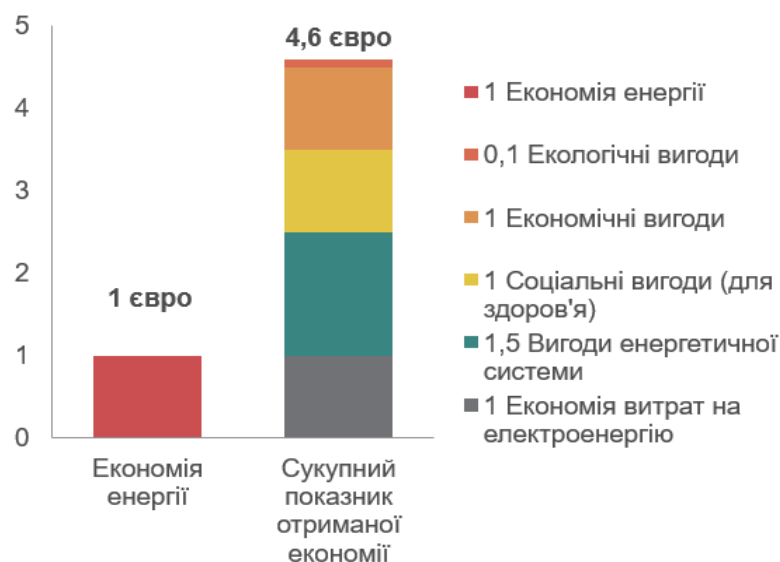


Рисунок 1.1.10 – Оцінка сукупних вигід від впровадження заходів

Основні документи, що регулюють нову енергетичну політику: Енергетична Хартія та Договір до неї, Директиви ЄС, міждержавні стандарти та ін.

Перерахуємо важливі серії стандартів ISO:

- ISO 9000 (управління якістю)
- ISO 14000 (екологічне управління)
- ISO 22000 (управління безпечністю харчових продуктів)
- ISO 26000 (соціальна відповідальність)
- ISO 31000 (управління ризиками)
- ISO 50000 та ін.... (управління енергією, енергоменеджмент)

Основні стратегічні цілі ЄС:

- посилення енергетичної безпеки ЄС,
- підвищення конкурентоспроможності економіки країн альянсу,

- недопущення монополії,
- покращення екології,
- зниження цін на енергоносії,
- нові технології, що опираються на єдність правових інструментів

Прийнята Директива ЄС щодо енергоефективності будівель Directive 2010/31/EC, що діяла до 2024 року, передбачала:

- вимоги щодо енергоефективності для нових та існуючих будівель
- вимоги до інженерних систем та обладнання будівель;
- вимога до нових будівель: NZEB ("nearly zero-energy building");
- передбачено фінансові інструменти для реалізації програм;
- обов'язкові сертифікати енергоефективності при продажі/оренді нерухомості, для приміщень органів державної влади.

Нова редакція цієї директиви (Directive EU 2024/1275 Energy performance of buildings - EPDB) передбачає:

- всеохопний план дій з реконструкції будівель;
- скорочення прямих викидів CO<sub>2</sub> на 80%
- досягнення фондом будівель у ЄС кліматичної нейтральності до 2050 р.
- прискорення енергоефективної реконструкції фонду будівель;
- 2040 р. - повна відмова від систем опалення й охолодження на викопному паливі, або застосування гібридних систем опалення зі значною часткою поновлюваної енергії, в яких котел поєднано зі сонячним колектором або тепловою помпою;
- впровадження ZEB до 2030 року.

Україною підписано: Договір про Енергетичне Співтовариство (2011); Угоду про асоціацію між Україною та ЄС (2014); Паризьку угоду (2016); Зелену Угоду ЄС (2019) та ін. документи.

В рамках виконання Угоди про асоціацію з ЄС і виконання Директив Україною взято зобов'язання імплементації механізму NZEB; відновлення

зруйнованих будівель за принципом build back better, масштабна термомодернізація та ін.

В 2022 р. на виконання Директиви ЄС прийнято Закон України «Про енергоефективність», спрямований на: посилення енергобезпеки, сталий розвиток, скорочення енергетичної бідності, збереження первинних енергоресурсів, скорочення викидів парникових газів.

Законом визначено: вимоги до енергоаудиту (будівлі/процеси/транспорт) та енергоменеджменту; критерії енергоефективності під час здійснення публічних закупівель, вимоги до екодизайну та енергомаркування; вимоги до проведення енергоаудиту для великих підприємств раз в 4 роки (або впровадження систем енергоменеджменту). Передбачено цільовий показник щорічного скорочення споживання енергії -0,8 % річного обсягу енергії та штрафи за його недотримання.

**Енергетичний менеджмент** - це сфера діяльності, яка пов'язана з управлінням енерго- ресурсоспоживання та ефективний інструмент постійного підвищення енергоефективності, направлений на:

- зменшення енерговитрат без погіршення якості продукції, продуктивності праці;
- модернізацію та оновлення енергооб'єктів, інженерних мереж, обладнання, будівель
- зменшення впливу на довкілля
- формування нової моделі поведінки
- створення систематизованої і структурованої бази даних щодо енерго-ресурсоспоживання і впливових факторів.

Цього можна досягти шляхом прийняття системного підходу до управління енергією, який базується на циклі Демінга для постійного вдосконалення: Плануй – Роби – Перевіряй – Дій (Plan-Do-Check-Act), рис. 1.1.11.

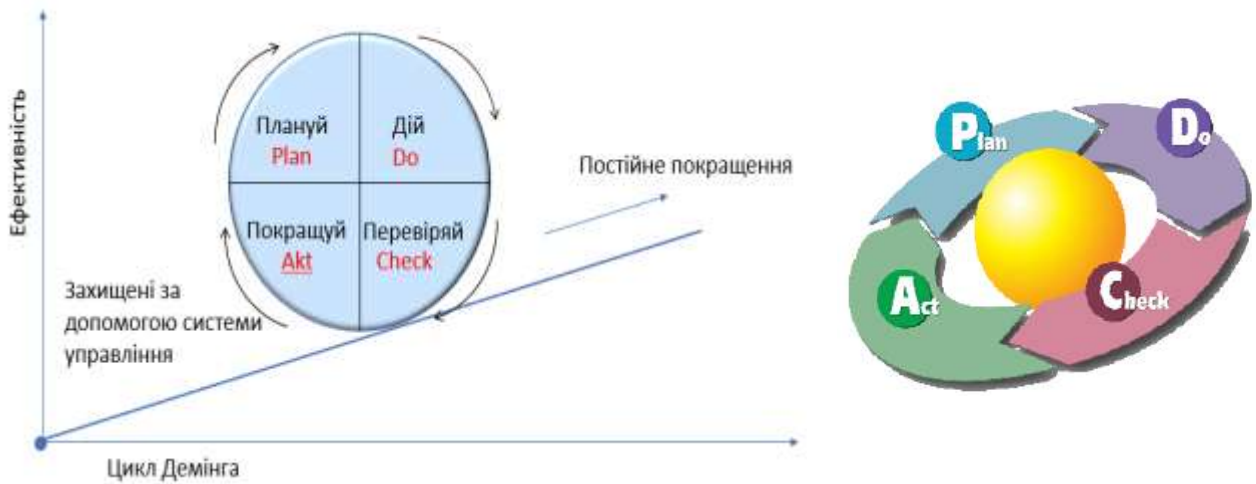


Рисунок 1.1.11 – Цикл Демінга

Підвищувати енергоефективність – це означає здійснювати сталу діяльність у напрямку постійного покращення: розуміти свої об’єкти, найбільш енергоємні процеси та об’єкти; аналізувати споживання енергії; проводити енергомоніторинг та мати базу енергетичних, експлуатаційних показників; проводити регулярні енергоаудити, щоб мати перелік проранжованих енергоефективних заходів і планувати подальшу діяльність по їх втіленню.

Для державного регулювання сфери енергоефективності в державі використовують такі інструменти регулювання енергоефективності (табл.1.1).

Таблиця 1.1 – Інструменти державного регулювання

Правові	Адміністративні	Економічні
Міжнародні зобов’язання	Ліцензування діяльності	Міжнародне співробітництво: програми, проєкти, гранти
Імплементация законодавства ЄС в Україні	Сертифікація енергетичної ефективності будівель	Митна, податкова, цінова політика
Закони України Постанови КМУ	Професійна сертифікація фахівців	Урядові програми модернізації
Національний план дій з енергоефективності, державні стратегії	Адміністративні заборони Регламентация діяльності	Цільові урядові програми з енергоефективності (для ОСББ, підприємств, громад,...)

## Продовження таблиці 1.1

Розпорядження міністерств і відомств	Державні замовлення, контракти, квоти	Програми Фондів Фонд декарбонізації Фонд енергоефективності
Рішення адміністрацій, громад	Муніципальні енергетичні плани, проекти регіонального розвитку	Бюджетний кодекс (технічні умови з енергоефективності при закупівлі послуг, обладнання; ЕСКО-договори)
ДБН	Обмеження, вимоги	Пільги, стимулювання
ДСТУ	Стандартизація	Тарифоутворення
Технічні регламенти та ін.	Інформаційна діяльність	Кредитування та ін.

### Питання для самопідготовки

1. Вкажіть, які суттєві зміни відбулися внаслідок зміни клімату.
2. Опишіть наслідки зміни клімату.
3. Опишіть як формувалася концепція сталого розвитку для людства.
4. Вкажіть основні принципи сталого розвитку.
5. Вкажіть актуальні цілі сталого розвитку до 2030 року, що були сформульовані у Резолюції Генеральної Асамблеї ООН 25 вересня 2015 р.
6. Відмінності зеленої та циркулярної економік
7. Опишіть модель циркулярної економіки
8. Принципи циркулярної економіки (модель 10R)
9. Наведіть кілька бізнес-прикладів циркулярної економіки
10. Вкажіть шляхи реалізації ідеології зеленої економіки
11. Приклади інструментів державного регулювання енергоефективності
12. Поясніть термі «енергоменеджмент» та поясніть Цикл Демінга
13. Що ви знаєте про зміни в законодавчій базі ЄС стосовно енергоефективності будівель?
14. Поясніть терміни «зелене будівництво».
15. Що включає життєвий цикл будівлі?

## 1.2 Нормативно-правова база державного регулювання екологічної політики

### 1.2.1 Екологічна політика України

Правові засади екологічної політики закладено в Основному Законі – Конституції України («забезпечення екологічної безпеки і підтримання екологічної рівноваги на території України» - ст. 16; «права громадян на безпечне для життя і здоров'я довкілля» - ст. 50 Конституції України).

Пріоритети та основні заходи для досягнення цілей кліматичної політики України до 2030 року зазначено на рис. 1.2.1 та 1.2.2.

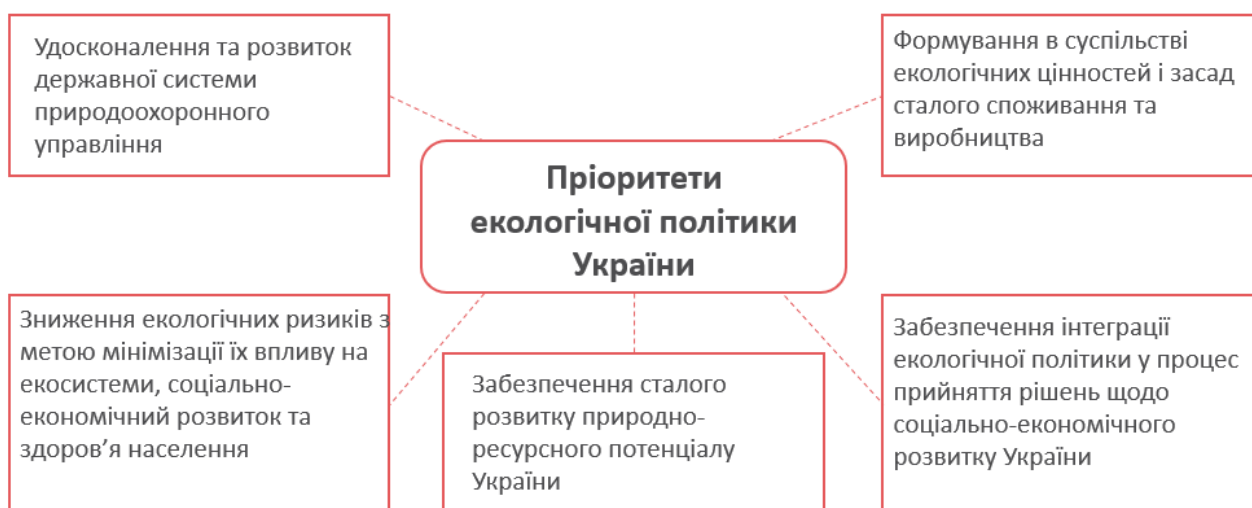


Рисунок 1.2.1 – Пріоритети екологічної політики

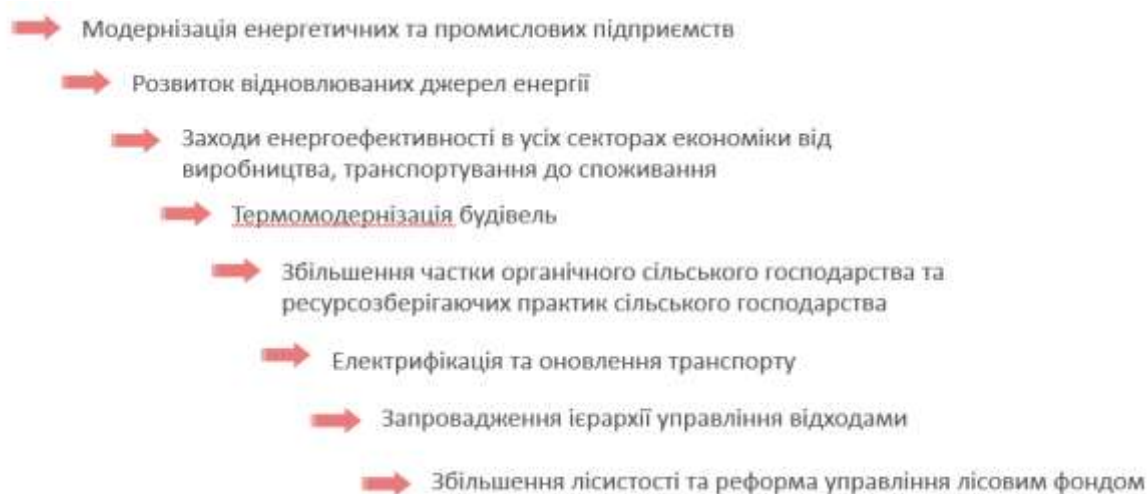


Рисунок 1.2.2 – Заходи для досягнення цілей кліматичної політики [9]

Для регулювання питань в сфері екології в Україні прийнято цілу низку законів і підзаконних актів, перерахуємо кілька з них:

- Закон України «Про оцінку впливу на довкілля»;
- Закон України «Про відходи»;
- Закон України «Про екологічну експертизу»;
- Закон України «Про екологічний аудит» та ін.

Розглянемо основні завдання екологічного аудиту (рис. 1.2.3).

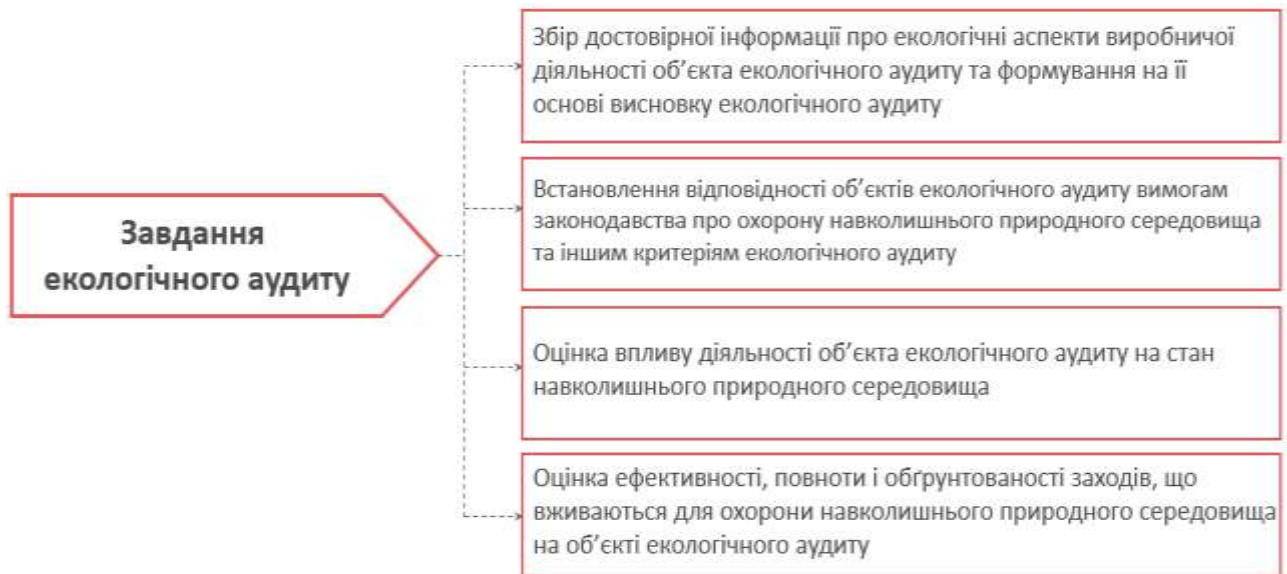


Рисунок 1.2.3 – Основні завдання екологічного аудиту [12]

Закон України «Про екологічну експертизу» направлений на забезпечення екологічної безпеки, охорони навколишнього середовища, раціонального використання природних ресурсів, захисту екологічних прав громадян і держави.

При проєктуванні, реконструкції і капремонті розробляється розділ «Оцінка впливу на довкілля» (згідно із вимогами ДБН А.2.2-1:2003). Види забруднень, що оцінюються: теплове; шумове, електромагнітне; вібрації; світлове і радіоактивне; хімічне і біологічне забруднення. Звіт надсилається виключно в електронній формі через електронний кабінет користувача до Єдиного реєстру з оцінки впливу на довкілля України.

## 1.2.2 Екологічна стандартизація, сертифікація і маркування

Одним з основних пріоритетів для держави має стати збільшення частки ринку продукції з поліпшеними екологічними характеристиками. Такими засобами можуть бути екологічна стандартизація, сертифікація та маркування згідно з національними стандартами, гармонізованими з міжнародними.

**Екологічне маркування** – система ідентифікації відповідності продукції певним екологічним критеріям, яка використовує екологічні маркування та декларації для інформування споживача про екологічні властивості та переваги продукції [13].

Загальна ціль екологічних маркувань та декларацій

- передавання інформації, яка не вводить в оману,
- сприяння розширенню попиту та пропозиції продукції, яка завдає меншої шкоди довкіллю,
- заохочення до безперервного поліпшення екологічного стану.

Можливості екологічної сертифікації показано на рис. 1.2.4.



Рисунок 1.2.4 – Можливості екологічної сертифікації [9]

В Україні прийнято стандарти щодо екологічного маркування та самодекларацій. Розвиток системи екологічної сертифікації та маркування мав на меті сприяти формуванню ринку продукції з поліпшеними екологічними характеристиками за встановленими критеріями оцінки.

## **Питання для самопідготовки**

1. Пріоритети екологічної політики України, основні заходи
2. Поясніть основні завдання екологічного аудиту
3. Розкажіть про систему екологічної стандартизації і сертифікації
4. Розкажіть про розділ проектної документації «Оцінка впливу на довкілля»
5. Вкажіть основні положення ЗУ «Про енергоефективність».

## 1.3 Нормативно-правова база державного регулювання енергетичної політики

### 1.3.1 Політика України у сфері енергетичної ефективності, енергоменеджменту та енергоаудиту

На рисунку 1.3.1 представлено основні засади державної політики у сфері забезпечення енергетичної ефективності будівель.



Рисунок 1.3.1– Основні засади державної політики [9]

Державне агентство з енергоефективності та енергозбереження України (Держенергоефективності) - центральний орган виконавчої влади, що відповідає за реалізацію державної політики у сфері енергоефективності, енергозбереження

та альтернативних видів палива в Україні з метою сприяння декарбонізації та зеленого переходу відповідно до принципів політики сталого розвитку ЄС. На сайті цієї організації у відповідних розділах знаходяться нормативно-правова база та велика кількість методичних документів, посібників, рекомендацій.

Україною підписано Договір про Енергетичне Співтовариство (2011); Угоду про асоціацію між Україною та ЄС (2014); Паризьку угоду (2016), Зелену Угоду ЄС (2019) та ін. документи. В рамках виконання Угоди про асоціацію з ЄС Україна також взяла на себе зобов'язання щодо імплементації директив ЄС:

- Директива 2006/32/ЄС про ефективність кінцевого використання енергії та енергосервіс;

- Директива 2010/30/EU про вказування обсягів споживання енергії продуктами за допомогою маркування;

- Директива 2010/31/EU про енергетичні характеристики будівлі (нова редакція - Directive (EU) 2024/1275 [1]);

- Директива 2012/27/ЄС про енергоефективність та інші.

Амбітні цілі, які поставлено в країнах ЄС:

- перетворити ЄС на перший кліматично нейтральний континент до 2050 року (усі 27 держав-членів ЄС взяли на себе це зобов'язання у липні 2021р. - Європейська Зелена Угода «Fit for 55»);

- сталий транспорт для всіх (на 55% скорочення викидів від авто до 2030р., «0» викиди від нових авто до 2035 р.);

- розробка довгострокових стратегій реконструкції, спрямованих на декарбонізацію національних будівель (з нульовими викидами) до 2050 року;

- з 2021 року всі нові будівлі є nZEB;

- 60% скорочення CO<sub>2</sub> до 2030 року порівняно з рівнем 2015 року (EU/2024/1275 Директива про енергетичну ефективність будівель);

- посилене впровадження сонячних технологій у всіх нових будівлях і існуючих нежитлових будівлях;

- викиди вуглецю розраховуються на весь життєвий цикл будівлі

Відповідно в законодавстві України і різних нормативних документах також передбачено кроки, які наблизатимуть державу до досягнення цілей ЄС (рис. 1.3.2). На виконання Директив ЄС були прийняті закони України «Про енергетичну ефективність будівель» (2017) та «Про енергоефективність» (2021). Україна взяла стратегічний курс на європейську інтеграцію, тому поступово проводить гармонізацію українських стандартів і будівельних норм до міжнародних.



Рисунок 1.3.2 – Імплементация Директив ЄС в Україні

*Джерело: навчальний курс «Енергоефективність для кліматичного лідерства» (GIZ, PAEW)*

Закон України «Про енергетичну ефективність» (2021) спрямований на посилення енергетичної безпеки, скорочення енергетичної бідності, сталий економічний розвиток, збереження первинних енергетичних ресурсів та скорочення викидів парникових газів. Основна ціль закону – стимулювання енергоефективності у всіх секторах економіки. Закон закладає фундамент для фінансування державних програм енергоефективності (рис.1.3.2).

Законом визначено:

- вимоги до проведення енергоаудиту (виділено три напрямки: будівлі/процеси/транспорт, див. рис. 1.3.3) та енергоменеджменту на підприємствах;
- критерії енергоефективності під час здійснення публічних закупівель;
- вимоги до екодизайну та енергомаркування
- стимулювання енергосервісу;
- вимоги щодо енергоаудиту для великих підприємств (раз в 4 роки);
- незалежний моніторинг витягів із звітів до енергоаудитів;
- запровадження інтелектуальних систем обліку;
- стимулювання енергоефективності в сфері передачі та розподілу енергії;
- поширення впровадження енергосервісних контрактів;
- не менше 1% видаткової частини бюджету направляти на видатки на програми з підвищення енергоефективності;
- цільовий показник щорічного скорочення споживання енергії -0,8 % річного обсягу енергії (рис.1.3.4).



Рисунок 1.3.3 – Види енергетичних аудитів та законодавча база

## Закон України «Про енергетичну ефективність»

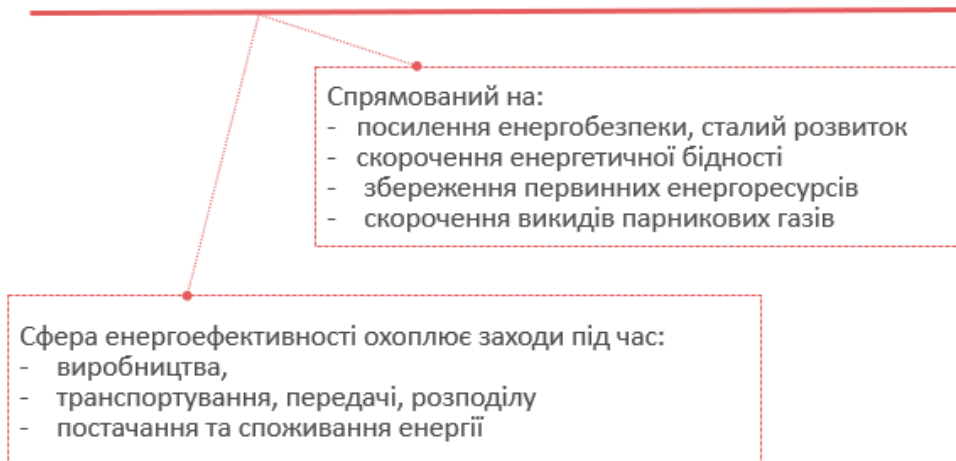


Рисунок 1.3.4 – Закон України «Про енергоефективність»

Згідно із прийнятим законом в Україні розробляються:

- національний план дій з енергоефективності,
- місцеві енергетичні плани (для територіальних громад)
- довгострокову Стратегію термомодернізації будівель,
- національна система моніторингу енергоефективності
- відкрита онлайн-платформа з енергоефективності.

Закон України «Про енергетичну ефективність будівель» (2017) спрямований на зменшення споживання енергії у будівлях (рис.1.3.5). Закон визначає правові, соціально-економічні та організаційні засади діяльності у сфері забезпечення енергетичної ефективності будівель і спрямований на зменшення споживання енергії у будівлях. Цей закон, окрім іншого, встановив мінімальні вимоги до енергетичної ефективності будівель, запровадив енергетичну сертифікацію житлових і громадських будівель, а також визначив основні джерела фінансування заходів із забезпечення (підвищення рівня) енергетичної ефективності будівель та шляхи державної підтримки таких заходів.

Цей Закон наближає Україну до появи будинків із нульовим споживанням енергоресурсів (NZEB), що відповідає міжнародним стандартам і дозволить

істотно економити на комунальних послугах. Законом введена обов'язкова енергетична сертифікація та визначення класів енергоефективності будівель.

В Україні були прийняті **професійні стандарти** в сфері енергоаудиту [17-19], що містять детальний опис трудових функцій; виступають основою для формування кваліфікації:

1. Професійний стандарт енергетичного аудитора будівель.
2. Професійний стандарт Енергетичний аудитор процесів.
3. Професійний стандарт Енергетичний аудитор транспорту.

Також прийнято професійний стандарт «Професіонал з енергетичного менеджменту» [20]. Професійні стандарти переглядаються кожні 5 років.

### Закон України «Про енергетичну ефективність будівель»

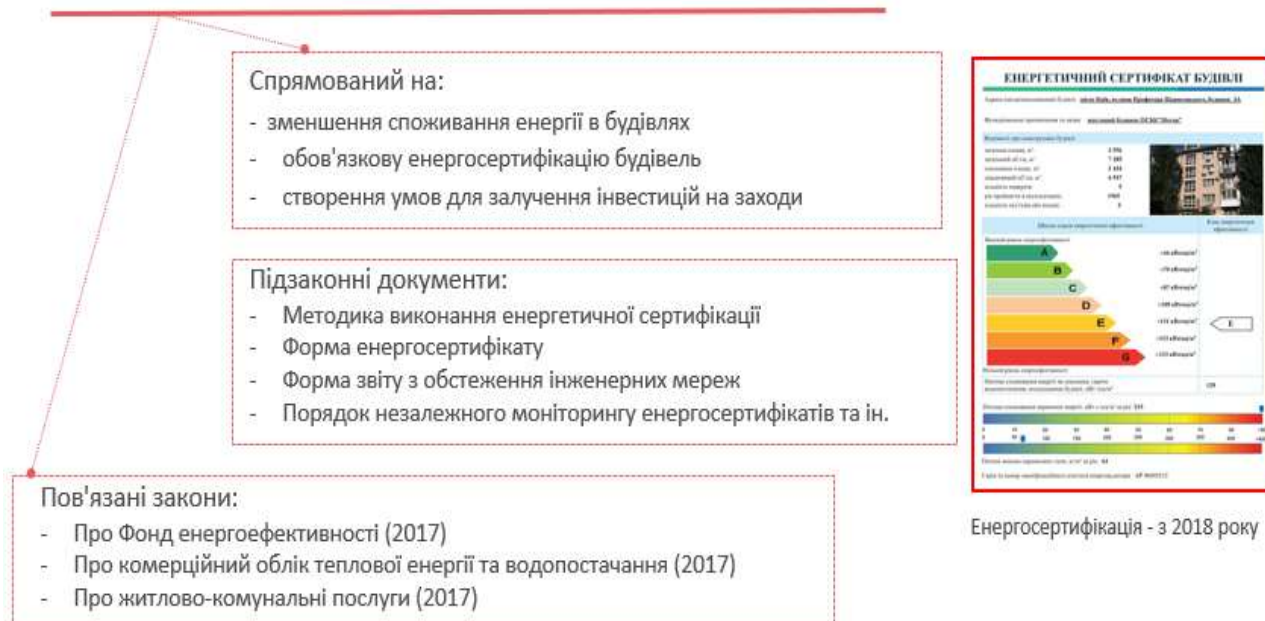


Рисунок 1.3.5 – Закон України «Про енергоефективність будівель»

Відомості щодо кваліфікованих фахівців зберігаються на сайті Національного агентства кваліфікацій (<https://data.nqa.gov.ua/certificate/>), професіональні аудитори та інженери-проектувальники, які розробляють відповідні частини проектної документації та розділ проектів «Енергоефективність», працюють через електронні кабінети Порталу

будівельної діяльності України (<https://e-construction.gov.ua>), там же зберігається перелік фахівців і інформація щодо чинності їх сертифікатів.

В Україні розроблений комплекс нормативних документів з енергоефективності, який охоплює біля 100 норм, стандартів та настанов з конструювання, випробування теплотехнічних показників, розрахунку та аудиту енергоефективних будівель, проектування інженерних систем.

Фахівець, що займається питаннями енергоефективності, повинен мати необхідні знання у таких сферах: електротехніка, теплотехніка, економіка, менеджмент, методи математичного аналізу, психологія, законодавча база, правові норми та ін.

На рис.1.3.6 показано ієрархію нормативного забезпечення енергоефективності, енергоменеджменту та енергоаудиту.



Рисунок 1.3.6 – Ієрархія нормативного забезпечення енергетичного енергоефективності, енергоменеджменту та енергоаудиту

Наведемо перелік основних стандартів з енергетичного аудиту:

- ДСТУ ISO 50002:2016 Енергетичні аудити. Вимоги та настанова щодо їх проведення (ISO 50002:2014, IDT);

- ДСТУ EN 16247-2:2015 Енергоаудит – Частина 2: Будівлі;
- ДСТУ Б В.2.2-39:2016 Методи та етапи проведення енергетичного аудиту будівель;
- ДСТУ 9190:2022 Енергетична ефективність будівель. Метод розрахунку споживання енергії на опалення, охолодження, вентиляцію, освітлення та гарячого водопостачання.

### **1.3.2 Структура тарифів, ціноутворення в енергетиці**

Тарифи на енергоносії є різні для різних міст, залежать від постачальника послуг. Законом України «Про теплопостачання» визначено, що тариф (ціна) на теплову енергію – грошовий вираз на виробництво, транспортування, постачання одиниці теплової енергії.

Одиниці виміру тарифів:

- електроенергія – грн/(кВт·год);
- теплова енергія на потреби опалення  
грн/Гкал – у разі, якщо встановлено лічильник,  
грн/м<sup>2</sup> – у разі, якщо лічильника немає;
- теплова енергія на потреби гарячого водопостачання – грн/м<sup>3</sup>;
- холодна вода – грн/м<sup>3</sup>.

Види споживачів, для яких встановлюється тариф та теплову енергію:

- населення,
- бюджетні заклади,
- релігійні будівлі,
- інші (в т.ч. підприємства)

В структурі тарифів на теплову енергію переважає складова витрат на паливо (рис. 1.3.7).



Рисунок 1.3.7 – Структура тарифу на теплову енергію

Під час розрахунків за води вартість включає витрати на водопостачання і водовідведення. Для можливості економії витрат за електроенергію населенням потрібно переобладнати будівлі багатозонними лічильниками (день/ніч).

Методика тарифоутворення включає витрати на виробництво, транспортування, постачання і розподіл енергоносія.

В структурі витрат домогосподарств переважають витрати на енергозабезпечення (рис.1.3.8).



Рисунок 1.3.8 – Структура витрат домогосподарств

Система обліку енергоресурсів та води дозволяє вести облік витрат, збирати інформацію про споживання, на підставі якої надалі відбуваються фінансові розрахунки. На підставі даних, отриманих від системи обліку, можна впроваджувати заходи по заощадженню енергоресурсів чи води.

Засіб обліку - прилад, технічний пристрій для обліку кількісних та/або якісних показників житлово-комунальної послуги, який має нормовані метрологічні характеристики. Вибір приладу залежить від виду енергоресурсу, технічних вимог та інших параметрів (рис 1.3.9). На вибір впливає:

- місце установки, види обліку енергоносіїв, методи передачі даних;
- характер обліку енергоносіїв: комерційний, технічний (на окремі структурні підрозділи, лінії, процеси, інженерні системи), поагрегатний (наприклад на ліфт, центральний кондиціонер, пелетний котел).

Засоби обліку води поділяються на:

- вузли комерційного обліку, які встановлюють на межі майнової (балансової) належності, яка, як правило, проходить по зрізу зовнішньої стіни і у точці підключення вводу до вуличної магістралі для приватного сектору;
- вузли розподільного обліку, що забезпечує індивідуальний облік.

Розрахунки між споживачами і постачальниками ресурсів повинні проводитися тільки по повіреним приладам обліку. Власники лічильників зобов'язані своєчасно подавати лічильники на періодичну повірку.

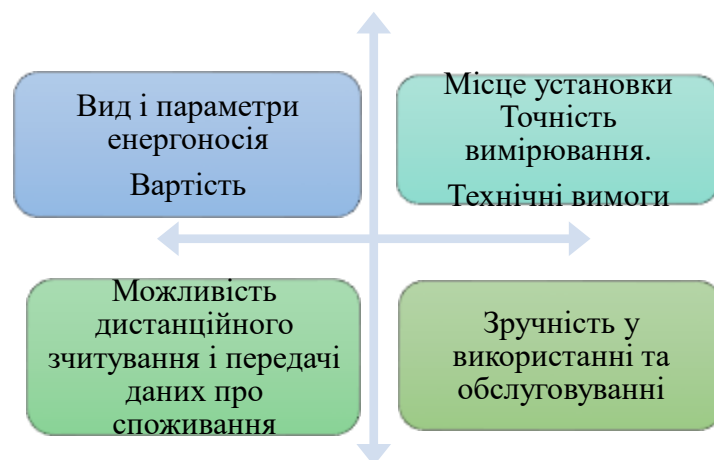


Рисунок 1.3.9 – Критерії вибору приладу комерційного обліку

### 1.3.3 Досвід реалізації енергоефективних проєктів в Україні.

#### Інструменти підтримки

Україна має успішний досвід реалізації енергоефективних проєктів як в житлово-комунальному, так і у виробничому секторах. На рис.1.3.10 показано різні інструменти фінансової підтримки такого типу проєктів.

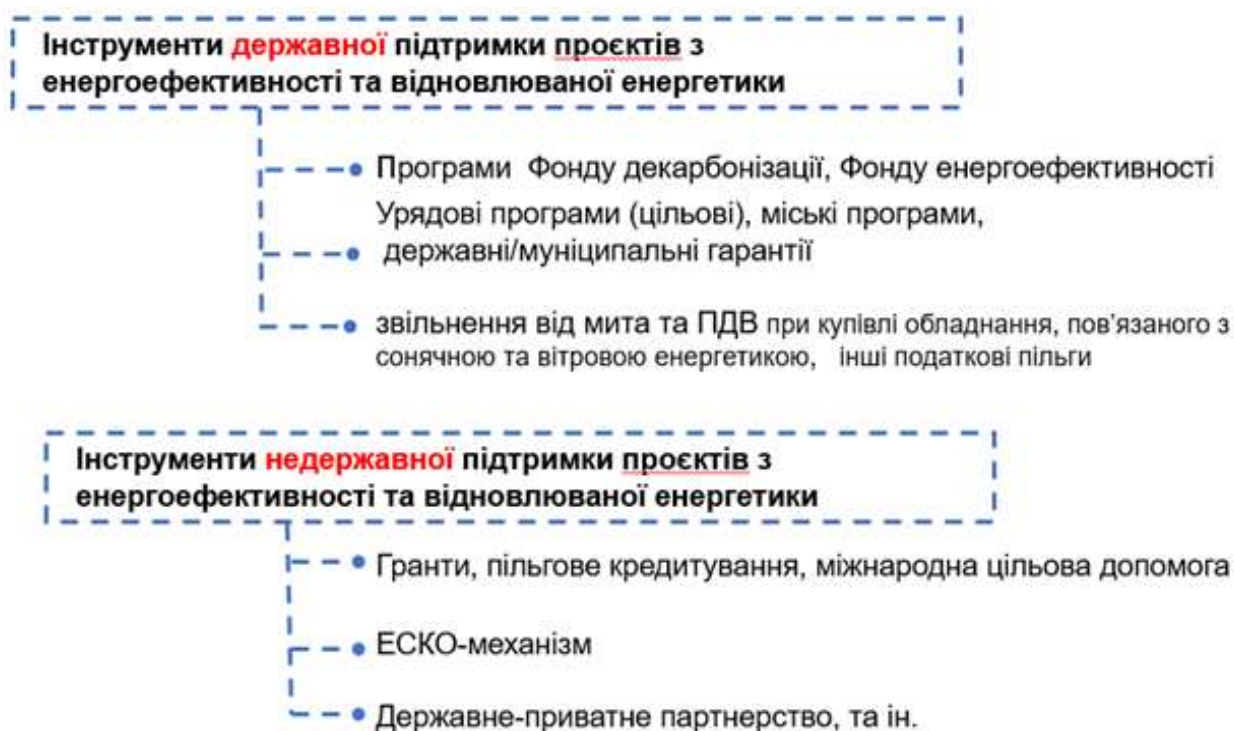


Рисунок 1.3.10 – Інструменти фінансової підтримки енергоефективності

В таблиці 1.3.1 показано порівняльний аналіз двох масштабних програм підтримки заходів з підвищення енергоефективності в житловому фонді, що були реалізовані в Україні.

На даний час існують:

- програми підтримки Фонду енергоефективності (рис.1.3.11),
- програми підтримки Фонду декарбонізації,
- грантові програми (платформа для залучення грантів:

<https://granty.org.ua/granty>).

Таблиця 1.3.1 – Порівняльний аналіз реалізованих програм підтримки заходів з підвищення енергоефективності в житловому фонді України

Назва показника	Теплі кредити	Програма IQ energy
Джерело фінансування	Державна програма, міжнародні і приватні інвестиції	Міжнародні і приватні інвестиції
Період	2014-2020	2016-2020
Цільова група	Фізичні особи (власники будинків, квартир), ОСББ, ЖБК	Власників індивідуальних будівель та ОСББ
Умови для участі	Впровадження енергоефективних заходів, обладнання, матеріалів, нетрадиційних джерел енергії	Енергоефективне обладнання та матеріали з переліку, вказаного на сайті програми
Загальна сума	1,1 млрд. грн	75 млн. євро.
Умови	30-70% тіла кредиту на обладнання	15-20% частини тіла кредиту
Обмеження	14000 грн/особу	верхня межа 3000 є/ особу



Рисунок 1.3.11 – Програми підтримки Фонду енергоефективності

## Питання для самопідготовки

1. Вкажіть основні засади державної політики у сфері забезпечення енергетичної ефективності будівель
2. Вкажіть основні амбітні цілі, що поставлені в країнах ЄС щодо енергоефективності.
3. Основні положення ЗУ «Про енергоефективність».
4. Як регулюється сфера енергетичного аудиту в Україні?
5. Які професійні стандарти стосовно енергоаудиту та енергоменеджменту прийняті в Україні? Основні вимоги до фахівців.
6. Вкажіть, що ви знаєте стосовно тарифоутворення в сфері енергетики? Комерційний і технічний облік – в чому різниця?
7. Вкажіть основні інструменти фінансової підтримки (державні і недержавні) для проєктів підвищення енергоефективності.
8. Які програми Фонду енергоефективності ви знаєте?

## 1.4 Сталий розвиток і зелене будівництво

### 1.4.1 Завдання та принципи зеленого будівництва.

**Зелене будівництво** - це практика будівництва і експлуатації будівель, метою якої є зниження рівня споживання енергетичних і матеріальних ресурсів протягом всього життєвого циклу будівлі (рис.1.1.9) від вибору ділянки до проектування, будівництва, експлуатації, ремонту і зносу для зменшення негативного впливу будівель на довкілля [9]. Перші енергоефективні будівлі з'явилися у середині 70-х років ХХ століття, у той же час почали формуватися принципи зеленого будівництва.

Вартість життєвого циклу формується з собівартості будівлі, вартості експлуатації та обслуговування будівлі і вартості завершення циклу, який полягає в реновації будинку або розбиранні та утилізації його конструкцій. Аналізуванню LCC має бути охоплено всі основні елементи, наприклад, несучі огорожувальні конструкції, інженерні системи будівлі, матеріали оздоблення, засоби кріплення та арматуру, а також усі оцінені витрати, пов'язані з альтернативними варіантами.

Причини розвитку зеленого будівництва вказані на рис.1.4.1.

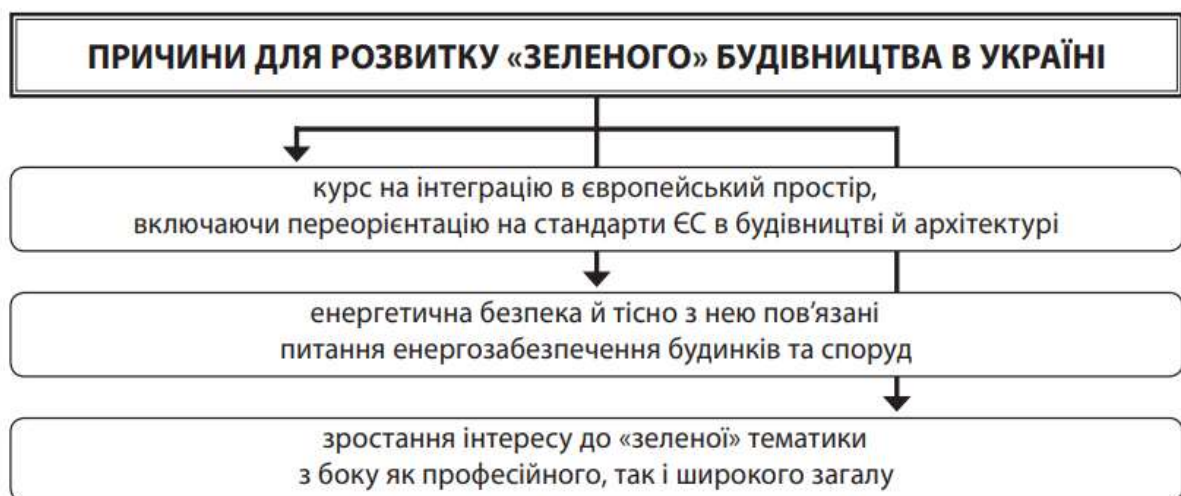


Рисунок 1.4.1 – Причини розвитку зеленого будівництва [22]

### Основні завдання зеленого будівництва [9]:

- підвищення ефективності використання природних ресурсів;
- зменшення викиду в атмосферу газів, що є причиною утворення парникового ефекту;
- збільшення частки використання альтернативних джерел енергії;
- зменшення негативного впливу (за увесь життєвий цикл будівлі) на здоров'я людини під час перебування в житловому будинку;
- зниження навантажень на енергетичні системи;
- скорочення кількості утворення твердих побутових відходів.

Принципи зеленого будівництва представлені на рис.1.4.2 [9].



Рисунок 1.4.2 – Принципи зеленого будівництва [9]

### 1.4.2 Типи зелених будівель

Виділяють такі основні типи будівель, що відповідають концепції зеленого житлового будівництва [9]:

1. **Енергоефективна будівля з близьким до нульового рівнем споживання енергії.** (Near zero energy building) – будівля, рівень енергетичної ефективності якої перевищує рівень, встановлений мінімальними нормативними вимогами, та технічні (інженерні) системи якої задовольняє побутові потреби людини та створює оптимальні мікрокліматичні умови для її перебування та/або проживання у приміщеннях такої будівлі в результаті використання відновлюваних джерел енергії (включаючи обладнання, яке функціонує з використанням відновлюваних джерел енергії та розміщене в межах будівлі, прибудованих до неї приміщеннях, окремих будівлях та на прибудинковій території).

2. **Пасивна будівля** – це стандарт будівництва, який є водночас енергоефективним, комфортним, доступним та екологічним. Заснований інститутом Passivhaus у Дармштадті, Німеччина, у 1996 році, пасивний будинок був однією з перших концепцій будівництва будинків з низьким споживанням енергії і на сьогодні є провідним стандартом у будівництві. Концепція будівництва зосереджена на найкращому використанні «пасивних» факторів у будівлі, таких як сонячна інсоляція, затінок і вентиляція та відновлювальних джерел енергії, а не активних систем опалення та охолодження, таких як кондиціонери і центральне опалення. У поєднанні з дуже високим рівнем ізоляції стін це дозволяє пасивному будинку споживати на 90 % менше енергії, ніж звичайному житловому будинку. Головною перевагою пасивного будинку є те, що в ньому постійно циркулює чисте і тепле свіже повітря, стіни і підлога також постійно залишаються теплими.

3. **Біокліматична архітектура** передбачає створення будівлі, при формуванні якої враховується клімат регіону і забезпечуються необхідні комфортні умови існування з мінімальним споживанням енергії і використанням наявних екологічно чистих джерел енергії.

4. **Інтелектуальна або розумна будівля** (smart home, digital house) – це будівля, в котрій оптимізовані потоки світла і тепла в приміщеннях і конструкціях на основі програмування або штучного інтелекту. Часто вони

мають якісні системи програмного забезпечення та операційну multi-room - систему, за допомогою якої можливо поєднати функціонально між собою усі електроприлади будівлі та керувати ними централізовано.

5. **Будівля високих технологій (хай-тек будівля)** – будівля з ультрасучасними рішеннями в архітектурі з точки зору конструкцій і матеріалів.

6. **Здорова будівля** (в якій забезпечуються принципи здорової будівлі). Здорова будівля визначається як інноваційно спроектована споруда з використанням екологічних методів будівництва, стійких технологій та природних елементів дизайну.

7. **Життєпідтримуюча будівля з нульовим показником відходів життєдіяльності і з нульовим показником енерговитрат.**

8. **Еколоутек** – це будівля, при будівництві якої застосовуються природні місцеві матеріали такі як дерево, глина, солома та інше.

9. **Екофутуризм.** Абсолютно новий напрямок при будівництві будівель, головна ідея якого полягає в тому, що нові штучні речовини будуть неотруйними і стануть складовими частинами безвідходних економічних циклів. Частина елементів будинку після настання його фізичного і морального зносу повернеться до ґрунту та розчиниться в ньому, а іншу можливо повторно включити до виробничих ланцюгів.

**Дев'ять принципів здорової будівлі [23]:**

1) **Вентиляція.** Необхідно дотримуватись норм вентиляції зовнішнього повітря, щоб контролювати джерела неприємних запахів, хімічних речовин та вуглекислого газу. Фільтрувати зовнішнє та рециркуляційне повітря з мінімальною ефективністю видалення не менше 75 %. Проводити регулярне технічне обслуговування.

2) **Якість повітря.** Необхідно обирати приладдя, канцелярські товари, меблі та будівельні матеріали з низьким рівнем викидів хімічних речовин, щоб обмежити джерела летючих та напівлетючих органічних сполук. Перевіряти наявність таких забруднювачів, як свинець, ПХБ та азбест. Підтримувати рівень вологості 30 – 60 %. Проводити щорічне тестування якості повітря.

3) **Якість води.** Необхідно дотримуватись норм та стандартів якості питної води. Регулярно перевіряти якість води, за необхідності встановити систему очищення для видалення домішок і мікробів. Запобігати застою води в трубах.

4) **Тепловий комфорт.** Проводити регулярне технічне обслуговування та контролювати температуру і вологість у режимі реального часу.

5) **Пил і шкідливі організми.** Необхідно використовувати високоефективні пилососи з фільтром і регулярно очищати поверхні, щоб обмежити накопичення пилу і бруду, які є джерелом хімічних речовин, алергенів та металів. Також слід розробити комплексний план боротьби зі шкідниками та зосередитися на профілактичних заходах, таких як герметизація входних отворів, запобігання накопиченню вологи та прибирання сміття.

6) **Освітлення.** Необхідно протягом дня забезпечити якомога більше денного світла та/або освітлення високої інтенсивності, збагаченого синім кольором, зберігаючи при цьому візуальний комфорт та уникаючи відблисків. А перед сном - максимально зменшити інтенсивність світла і використовуйте світло зі зниженим вмістом синього кольору.

7) **Шум.** Необхідно встановити звукоізоляцію від вуличного шуму, контролювати джерела шуму в приміщенні (наприклад, офісне обладнання, вентилятори). Забезпечити приміщення для зон відпочинку (до 35 дБ).

8) **Вологість.** Необхідно проводити регулярні перевірки покрівлі, сантехніки, обладнання, щоб виявити джерела утворення вологи, плісняви.

9) **Безпека та захист.** Необхідно дотримуватись стандартів пожежної безпеки та моніторингу рівня чадного газу. Забезпечити належний рівень освітлення. Контролювати точки евакуації та зовнішній периметр. (відеоспостереження).

### 1.4.3 Аналіз міжнародних систем добровільної сертифікації

Найпопулярнішими системами *незалежної добровільної сертифікації* екологічної ефективності будівель є [23]:

- британська BREEAM (Building Research Establishment's Environmental Assessment Method),
- американська LEED (Leadership Energy Environment Design),
- німецька DGNB (Deutsche Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen).

Системи оцінювання бальні і рейтингові. В основу розроблення міжнародних стандартів BREEAM, LEED, DGNB закладено наступні цілі [24, 9]:

- незалежна оцінка екологічних практик і реалізація екологічних вимог;
- балансування цілей енергоефективності з показниками якості будівництва, здорового та комфортного середовища;
- формування критеріїв і вимог, що перевищують законодавчі стандарти, які могли б стати рушіями модернізації будівельного сектору;
- зменшення впливу техногенного середовища на природу;
- надання впізнаваного бренду для будівель, зрозумілого широкому колу інвесторів, орендарів і кінцевих користувачів;
- заохочення попиту на екологічні будівлі та технології.

### Сертифікат BREEAM

Метод оцінювання BREEAM полягає в розрахунку вартості таких складових, як матеріально-технічне забезпечення, розробка, будівництво та введення будівлі в експлуатацію згідно встановлених цілей. Оцінка визначається за критеріями (рис. 1.4.3) з ваговими коефіцієнтами.



Рисунок 1.4.3 – Категорії для сертифікації за стандартом BREEAM [9]

## Сертифікат LEED

LEED сприяє комплексному підходу до сталого розвитку будівель, програма сертифікації проводиться по 9 категоріях (рис.1.4.4). Система LEED орієнтована на енергоефективність, інновації та соціальні аспекти.

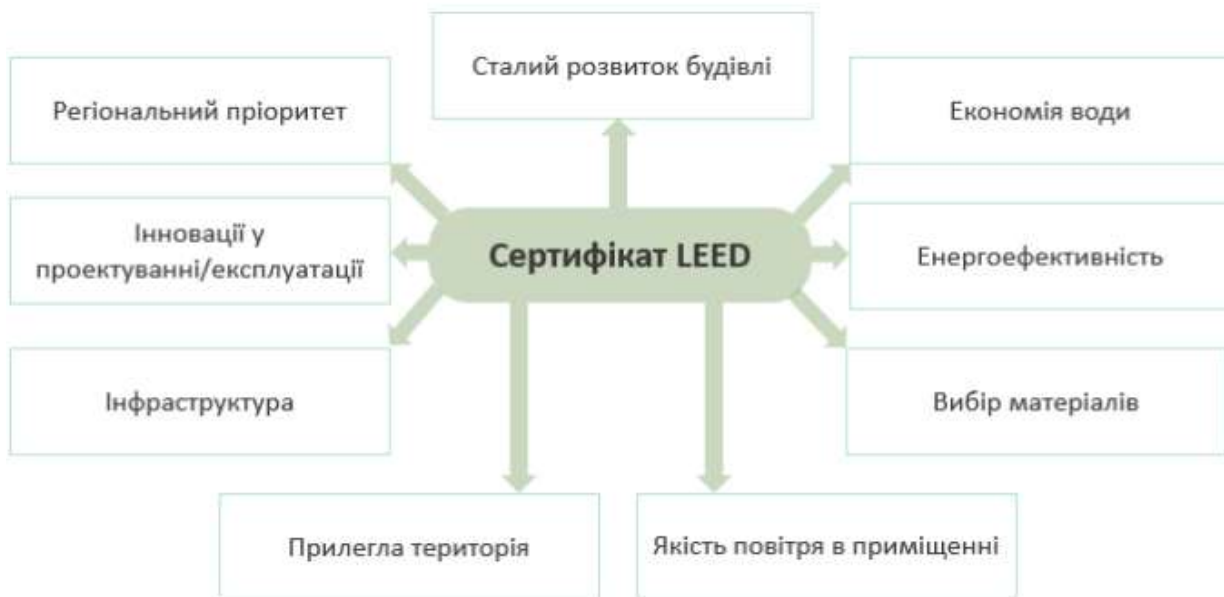


Рисунок 1.4.4 – Категорії для сертифікації будівлі за стандартом LEED [9]

## Сертифікат DGNB

Система DGNB оцінює загальну ефективність будівельних проектів і навіть цілих районів. В системі сертифікації DGNB використовуються інструменти оцінки життєвого циклу (LCA, 50 років) в процесі проектування для вимірювання впливу життєвого циклу будівельних елементів на довкілля.

При сертифікації будівель обов'язково передбачається оцінка таких заходів і технологій як: освітлення, механічна вентиляція з утилізацією теплоти, покрівля, повітряні і підземні теплові насоси, водозберігаюче сантехнічне обладнання та інші види енергозберігаючих технологій. Оцінка проводиться за критеріями, згрупованими в шість основних розділів (рис. 1.4.5).



Рисунок 1.4.5– Категорії для сертифікації за стандартом DGNB [9]

### **Основні відмінності міжнародної сертифікації**

Основні відмінності рейтингових систем BREEAM, LEED і DGNB полягають у визначенні стратегічних цілей даних систем. LEED фокусується на ефективності використання наявних джерел енергії. BREEAM орієнтується на використання поновлюваних джерел енергії, утилізації та розташування об'єкта. Стратегічна мета DGNB – концентрація на максимальному життєвому циклі будівлі, на якості опрацювання проекту [9].

### **Приклади сертифікованих за стандартами будівель в Україні**

Історія зеленої сертифікації почалася із 2013 року. Поступово в Україні стає все більше проектів, які отримали зелену сертифікацію. Офіс компанії Shell у столичному БФК «Торонто-Київ» став першим об'єктом у нашій країні, який отримав такий рейтинг, а саме LEED Gold (2013). Щоправда, сертифікацію на рівні LEED Gold пройшов саме офіс Shell, хоча сам бізнес-центр не є зеленою будівлею. Другою стала будівля Посольства США, що розташована в Києві, – у 2014 році вона здобула LEED Silver.

Ще через рік, у 2015, продуктивний супермаркет Villa на вулиці Ахматової, 49 у Києві було сертифіковано за стандартом DGNB з оцінкою Silver. Ще один сертифікований по LEED Silver об'єкт розташований на вул. Сікорського, 4 - NOX Ukraine.

Сертифікацію BREEAM у 2016 році пройшов бізнес-центр «Астарта», який знаходиться в Києві, отриманий рівень Pass (41,9 % виконання вимог сертифікаційної системи). Іншим прикладом є багатофункціональний бізнеспарк «Оптима-плаза» у Львові.

При проєктуванні або реконструкції існуючих будівель доцільно застосовувати енергетичне моделювання. Наприклад, програмний продукт DesignBuilder дозволяє проводити динамічне моделювання енергоспоживання на потреби опалення, вентиляції, кондиціювання з виконанням 3D моделі будівель з складною конфігурацією. В результаті визначається величина питомого енергоспоживання будівлі кВт-год/м<sup>2</sup> (а у випадку реконструкції - до та після заходів) – метою подальшого вибору конструктивних і інженерних рішень.

#### **1.4.4 Обов’язкова енергетична сертифікація будівель в Україні**

З прийняттям Закону України «Про енергетичну ефективність будівель» у 2017 р. вперше в Україні було впроваджено енергетичну сертифікацію будівель.

**Сертифікація енергетичної ефективності** - вид енергетичного аудиту будівель, під час якого здійснюється аналіз використання енергії в будівлі, інформації про характеристики огорожувальних конструкцій та інженерних систем, оцінюється відповідність енергетичної ефективності встановленим мінімальним вимогам до енергетичної ефективності будівель та надаються рекомендації щодо підвищення рівня енергетичної ефективності будівлі, що враховують місцеві кліматичні умови, є технічно та економічно обґрунтованими;

**Енергетичний сертифікат** - електронний документ встановленої форми, в якому зазначено показники та клас енергетичної ефективності будівлі, наведено сформовані у встановленому законодавством порядку рекомендації щодо його підвищення. Законом «Про енергоефективність будівель» введена обов’язкова енергетична сертифікація (рис.1.4.6).



Рисунок 1.4.6 – Енергетична сертифікація будівель в Україні

Сертифікація здійснюється на договірних засадах за домовленістю сторін на замовлення та за рахунок власника (співвласників) будівлі.

У разі якщо термомодернізація здійснюється за рахунок коштів державної підтримки шляхом реконструкції або капітального ремонту, сертифікація здійснюється під час здачі будівель в експлуатацію.

*Вимоги до обов'язкової сертифікації не поширюються на:*

- 1) індивідуальні (садибні) житлові будинки, садові, дачні будинки (крім випадків отримання державної підтримки на термомодернізацію);
- 2) будівлі, які є об'єктами культурної спадщини;
- 3) окремо розташовані будівлі з опалюваною площею менше 50 м<sup>2</sup>;
- 4) будівлі промислового та сільськогосподарського призначення, об'єкти енергетики, транспорту, зв'язку та оборони, склади;
- 5) будівлі, призначені для проведення богослужінь та релігійних заходів релігійними організаціями.

Енергетична ефективність будівель визначається відповідно до методики ДСТУ 9190:2022, що розроблена з урахуванням вимог актів законодавства ЄС, а також інших нормативних документів. Під час проведення розрахунку класу

енергетичної ефективності будівель використовується програмне забезпечення. Норми споживання енергії (опалення та охолодження) визначено в кВт-год/м<sup>2</sup> – для житлових будівель; кВт-год/м<sup>3</sup> – для громадських будівель різних типів. Нормування: по енергоспоживанню будівлі, що включає енергопотребу на підтримання умов мікроклімату, а також втрати в інженерних мережах (в ЄС- по кінцевому споживанню на джерелі). Термін дії енергосертифікату будівлі – 10 років. Зовнішній вигляд сертифікату показано на рис. 1.4.7.

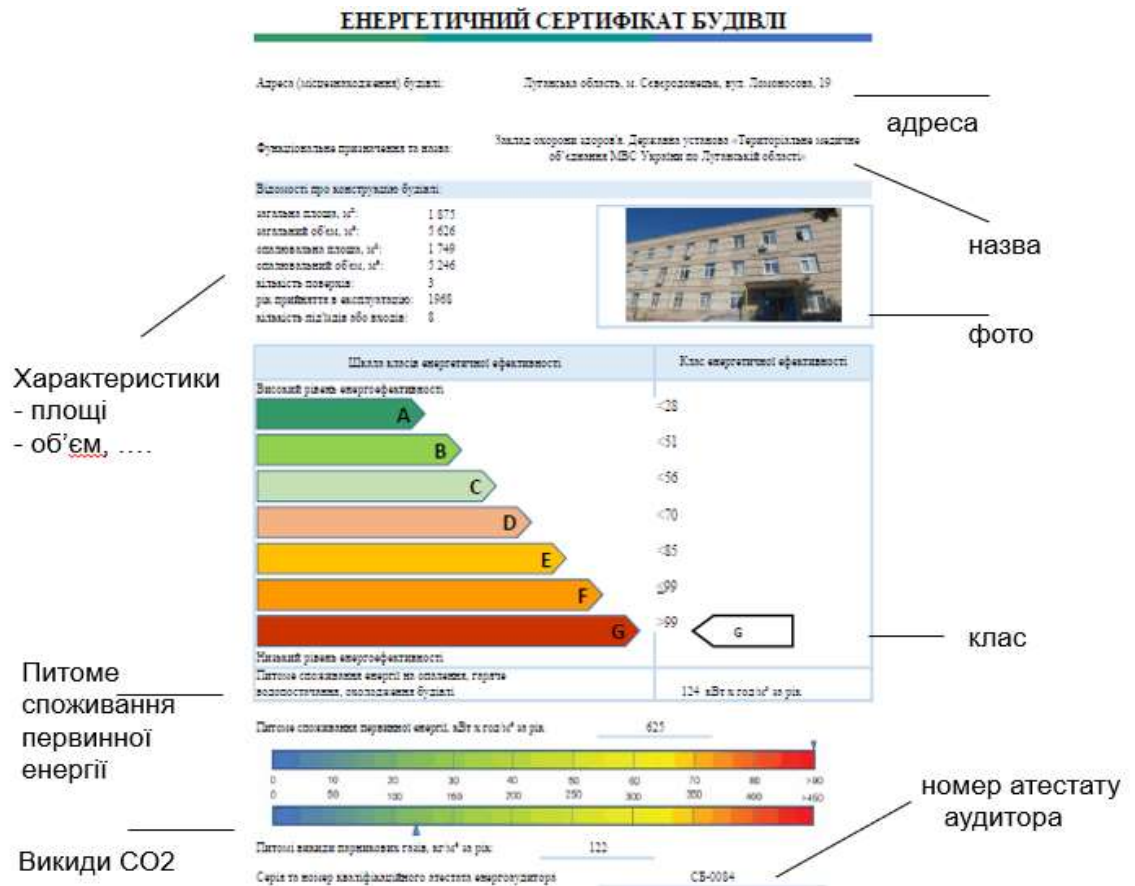


Рисунок 1.4.7 – Зовнішній вигляд енергосертифікату будівлі

### 1.4.5 Державна політика у сфері збільшення кількості будівель з близьким до нульового рівнем споживання енергії

Директива ЄС про енергетичну ефективність будівель (EPBD) включає загальне визначення будівлі з майже нульовим споживанням енергії (NZEB). Основні вимоги для нових будівель:

- дуже висока енергетична ефективність будівлі;
- дуже низька кількість енергії, необхідної будівлі;
- числовий показник первинної енергії в кВт·год/м<sup>2</sup>·рік;
- дуже значна частка відновлюваних джерел енергії (ВДЕ).

Закон «Про енергоефективність» наближає Україну до появи NZEB будинків, що відповідає міжнародним стандартам. Нормативне забезпечення щодо збільшення кількості таких будівель висвітлено на рис.1.4.8.

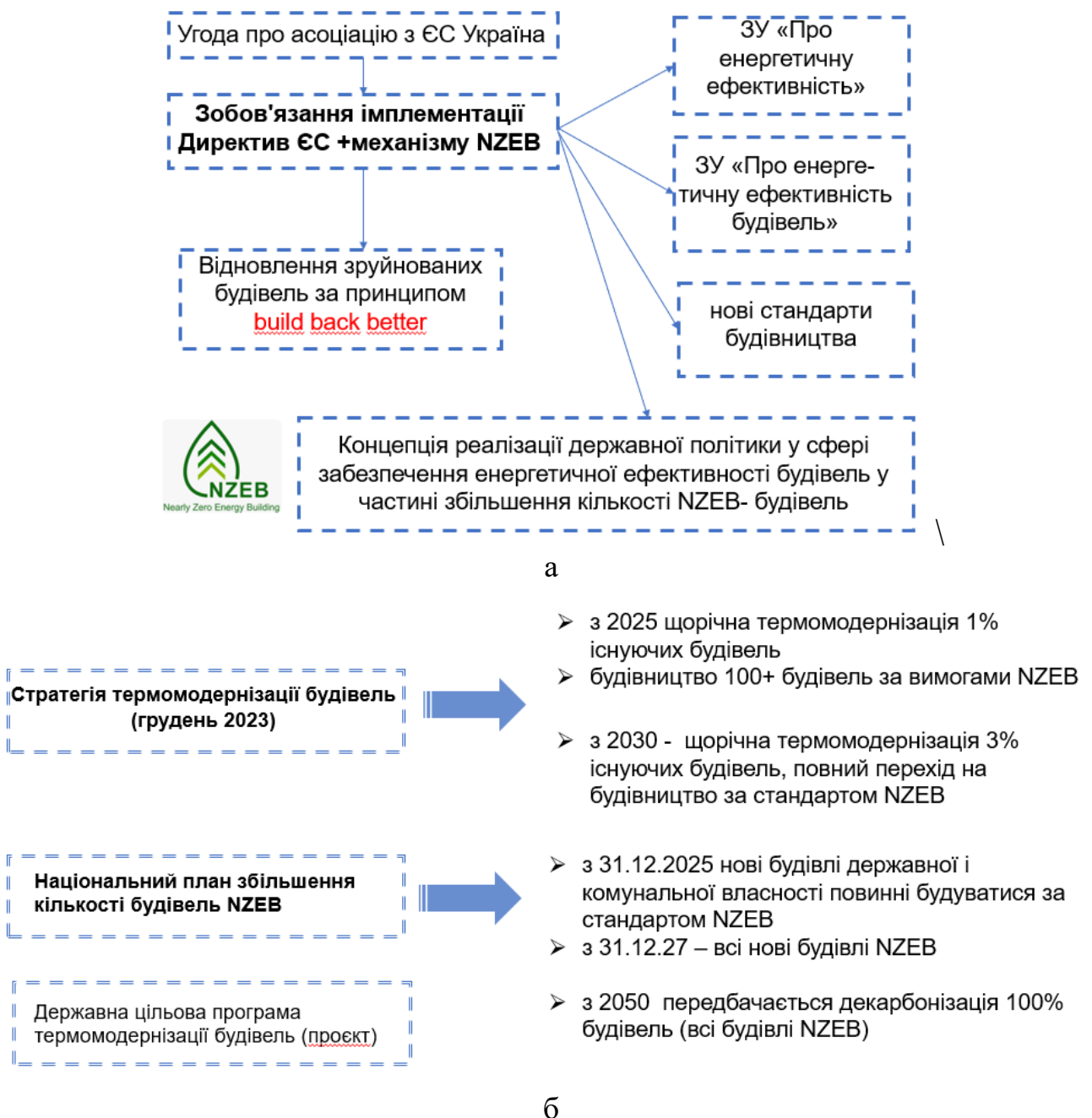


Рисунок 1.4.8 – Нормативне забезпечення щодо NZEB будівель

За ЗУ «Про енергетичну ефективність будівель» визначено термін:

*будівля з близьким до нульового рівнем споживання енергії* - будівля з рівнем енергетичної ефективності, що перевищує встановлені мінімальні вимоги, в якій для формування належних умов проживання та/або життєдіяльності людей використовується енергія із значною часткою енергії, виробленої з відновлюваних джерел енергії.

Стратегія термомодернізації будівель, затверджена у грудні 2023р., передбачає з 2025 р. щорічну термомодернізацію 1% існуючих будівель та будівництво 100+ будівель за вимогами NZEB. З 2030 р. – щорічну термомодернізацію 3% існуючих будівель та повний перехід на будівництво за стандартом NZEB. Національний план збільшення кількості будівель NZEB: з 31.12.2025 нові будівлі державної і комунальної власності повинні будуватися за стандартом NZEB, з 31.12.27 – всі нові будівлі NZEB. А з 2050р. передбачається декарбонізація 100% будівель (всі будівлі NZEB) [9].

В Україні розроблено вимоги до будівель, які визначають низку показників та параметрів, за якими буде перевірятись відповідність будівлі стандарту NZEB (скорочення від англ. "nearly zero-energy building").

NZEB – симбіоз трьох складових: енергоефективна оболонка, інжиніринг (інженерні мережі та НВДЕ), автоматизація та управління.

Наказ Мінрегіону для NZEB-будівель в Україні визначає вимоги щодо: показника споживання первинної енергії, частки енергії, виробленої з ВДЕ, класу енергоефективності, теплотехнічних характеристик огорожень та теплопровідних включень, герметичності оболонки будівлі.

В результаті війни, що триває, Україна зазнала величезної шкоди для економіки та суспільного добробуту з точки зору соціальної інфраструктури. Після перемоги у війні Україна має шанс відбудувати будівлі за новими принципами зеленого будівництва.

Бар'єри на шляху впровадження NZEB-будівель в Україні див. на рис. 1.4.9.

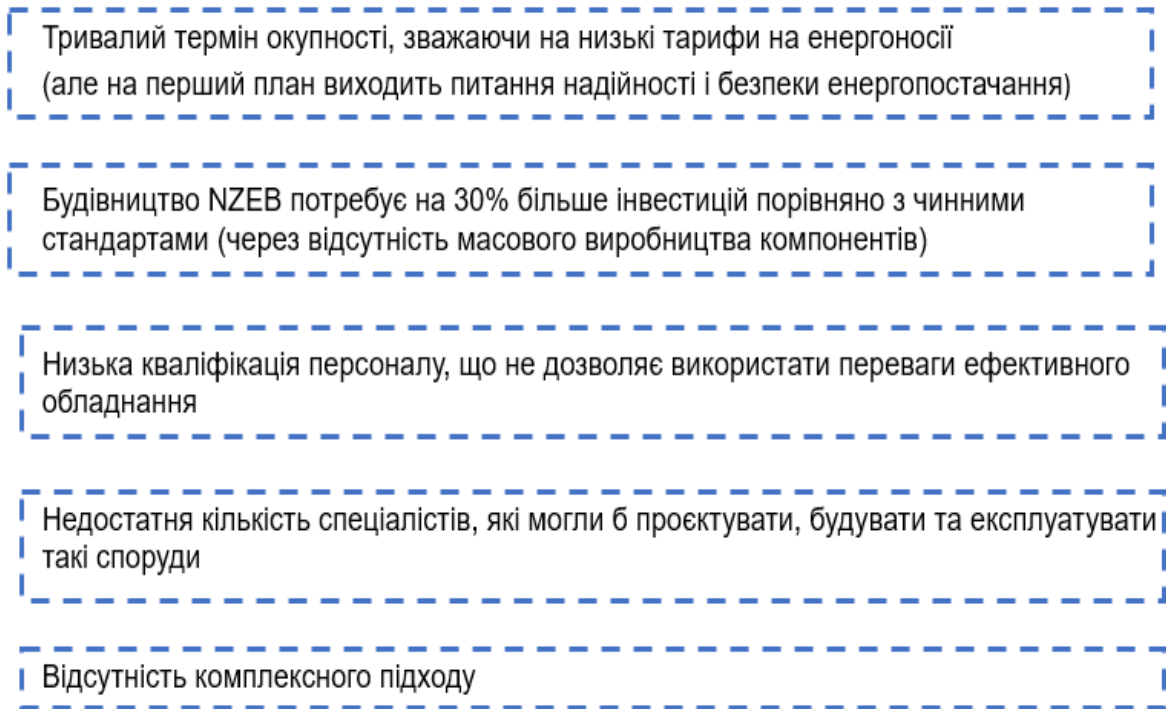


Рисунок 1.4.9 – Бар’єри на шляху будівництва NZEB-будівель

### Питання для самопідготовки

1. Поясніть терміни «зелене будівництво» та «життєвий цикл» будівлі.
2. Основні завдання та принципи зеленого будівництва.
3. Які типи зелених будівель ви знаєте? Опишіть три з них.
4. Вкажіть дев’ять принципів будівництва «здорової будівлі».
5. Які міжнародні системи добровільної сертифікації ви знаєте. Поясніть.
6. Що означає термін «енергетична сертифікація будівель» в Україні?  
Нормативне забезпечення енергосертифікації.
7. Для яких типів будівель енергетична сертифікація є обов’язковою?
8. На які будівлі не поширюються вимоги до обов’язкової сертифікації?
9. Опишіть форму енергетичного сертифікату будівлі.
10. Нормативне забезпечення щодо NZEB будівель в Україні.
11. Що означає термін будівля з близьким до нульового рівнем споживання енергії згідно із ЗУ «Про енергоефективність будівель»? Які до них вимоги?
12. Бар’єри на шляху впровадження NZEB-будівель в Україні.

## **РОЗДІЛ 2 ПРОЄКТУВАННЯ ТА РЕКОНСТРУКЦІЯ БУДІВЕЛЬНОГО ФОНДУ З УРАХУВАННЯМ ВИМОГ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ**

Тема 2.1. Енергозбереження будівель і теплові баланси

Тема 2.2. Інженерні системи будівель та заходи з підвищення енергоефективності

Тема 2.3. Енергетичний менеджмент та ефективна експлуатація будівель

Тема 2.4. Проєктування та реконструкція з урахуванням вимог енергоефективності та охорони довкілля

### **2.1 Енергозбереження будівель і теплові баланси**

#### **2.1.1 Основи будівельної фізики. Тепловий баланс будівлі**

**Будівля** - різновид наземної споруди, пов'язаної фундаментом із землею, що складається з несучих та огороджувальних конструкцій, які утворюють приміщення, інженерних систем та в якій використовується енергія з метою створення належних умов проживання та/або життєдіяльності людей. Витрати енергії будівлею пов'язані з впливом цілої низки факторів [73]:

- кліматичний район розташування будівлі;
- нормативні параметри мікроклімату;
- призначення будівлі (потреби в енергії);
- режим експлуатації будівлі та кількість людей;
- теплотехнічні характеристики огороджувальних конструкцій;
- стан та ефективність інженерних систем будівлі.

Системи опалення/кондиціонування житлових і громадських будівель проєктують з урахуванням теплового балансу між тепловтратами та теплонадходженнями (рис. 2.1.1) для підтримання внутрішньої температури в розрахунковому режимі, враховується [73]:

- а) *втрати* теплоти через огороджувальні конструкції;

б) *витрати* теплоти на нагрівання зовнішнього повітря, що потрапляє у приміщення за рахунок інфільтрації або шляхом організованого припливу для вентиляції приміщень;

в) *надходженням теплоти*, що регулярно надходить від: електроприладів, приладів освітлення, обладнання, трубопроводів, людей та інших джерел.

При проектуванні теплоізоляційної оболонки будівлі дотримуються наступних вимог: теплотехнічних; світлотехнічних, інсоляційних, акустичних. Тепловтрати кожного приміщення є вихідними даними до вибору потужності опалювальних приладів цього приміщення, а через розрахунок сумарних тепловтрат визначається теплова потужність джерела теплової енергії [73].

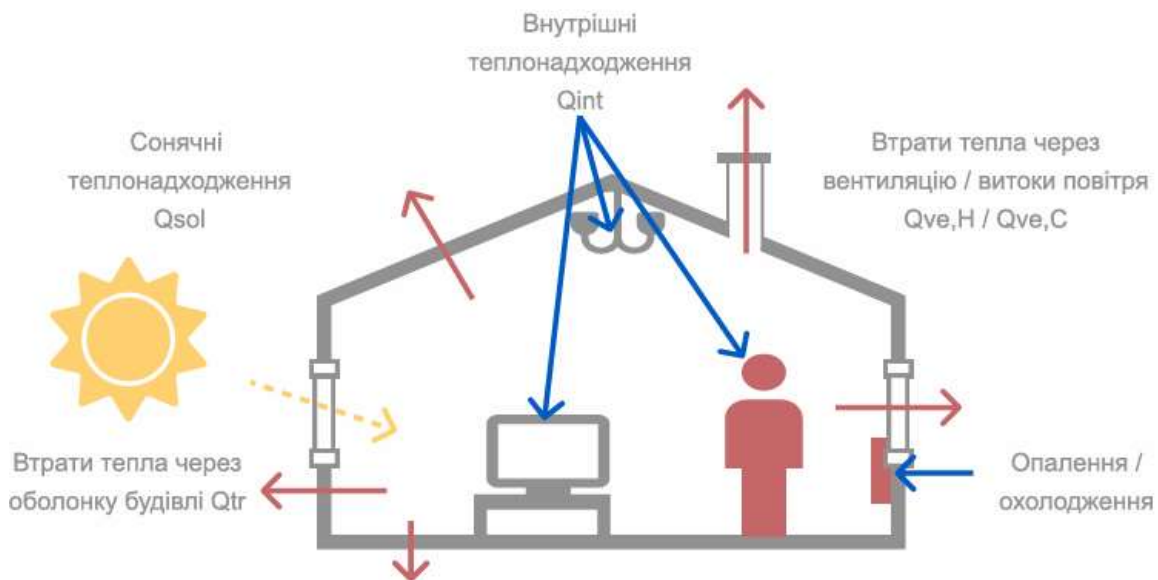


Рисунок 2.1.1 – Енергобаланс будівлі

(за матеріалами тренінгу TEAD для енергоаудиторів будівель)

Втрати теплоти через внутрішні огорожувальні конструкції приміщень потрібно враховувати, якщо температура повітря в них відрізняється на  $4^{\circ}\text{C}$  та більше (п.5.1 ДБН В.2.6-31:2021 [25]). Розрахунок тепловтрат приміщень полягає у визначенні тепловтрат через прозорі та непрозорі огорожувальні конструкції будівлі, яке виконується для кожного приміщення будівлі, згідно вимог [29]. Далі сумуються тепловтрати усіх приміщень, для визначення тепловтрат будівлі [73].

В Україні прийнято національну методикау ДСТУ 9190:2022 [36] для визначення річної енергопотреби та енергоспоживання будівлі [кВт·год/рік], що враховує всі складові енергобалансу, зокрема [73]:

- витрати на опалення, вентиляцію, охолодження, ГВП, освітлення,
- витрати на попередній підігрів та ін.,
- теплові надходження від людей, обладнання і освітлення.

За значенням питомого енергоспоживання на потреби опалення та охолодження визначається клас енергоефективності (рис.2.1.2). Ці дані також вказують в розділі проєктної документації «Енергоефективність».

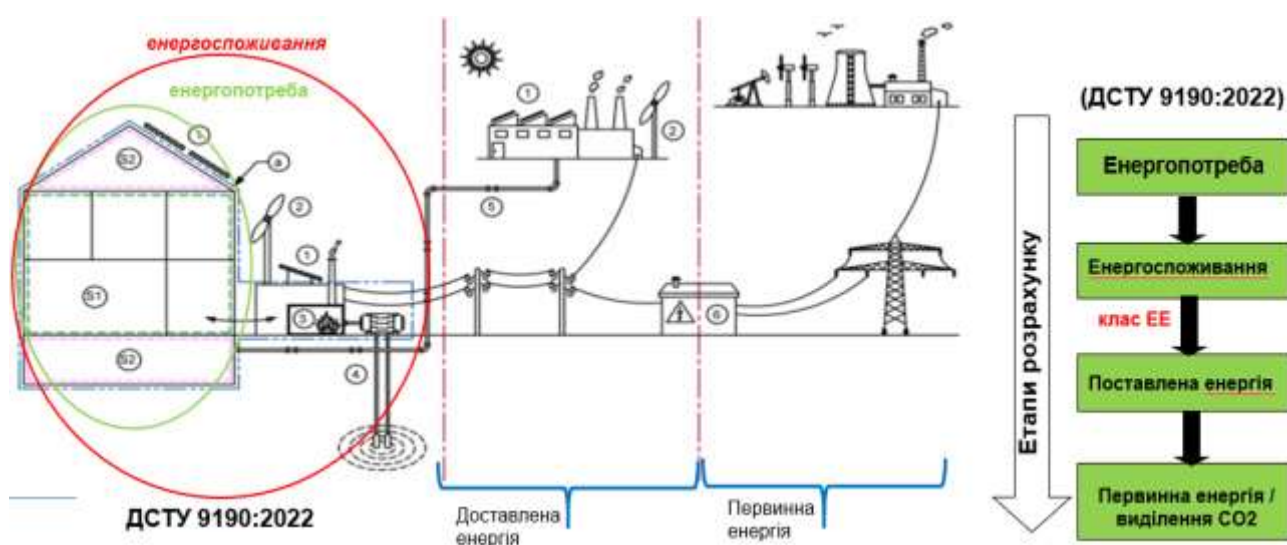


Рисунок 2.1.2 – Енергопотреба та енергоспоживання будівель [73]

(за матеріалами ЦПЕМ НН ІЕЕ для енергоаудиторів будівель)

## 2.1.2 Мікроклімат приміщень та розрахункові умови

**Мікроклімат приміщення** – умови внутрішнього середовища, що впливають на тепловий обмін людини з оточенням шляхом конвекції, кондукції, теплового випромінювання та випаровування вологи; ці умови визначаються поєднанням температури, відносної вологості та швидкості руху повітря, температури оточуючих поверхонь та інтенсивного теплового опромінення [25]. Умови мікроклімату розрізняють таким чином: оптимальні, підвищені,

допустимі. Життя сучасної людини неможливе без певного рівня комфортності, на що впливає багато параметрів (рис.1.2.3).



Рисунок 2.1.3 – Мікроклімат приміщень і відчуття комфортності

### Температура зовнішнього повітря

Стандарт ДСТУ-Н Б В.1.1-27:2010 [33] установлює кліматичні параметри, що використовують при проектуванні будинків та споруд, систем опалення, вентиляції, кондиціонування, водозабезпечення, а також при плануванні та забудові поселень. Згідно з ДБН В.2.5-67:2013 [29], як проєкту зовнішню температуру приймають температуру зовнішнього повітря для найхолоднішої п'ятиденки за колонкою 18 табл.2 ДСТУ-Н [33], див. табл.2.1.1.

Таблиця 2.1.1 – Температура зовнішнього повітря (відповідно до [33])

Область, місто	Середня місячна температура повітря середня добова амплітуда температури °С												Температура повітря, °С				Період із середньою добовою температурою повітря								
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	холодного періоду		теплого періоду		≤ 8 °С		≤ 10 °С		≥ 21 °С				
													найхолодніша доба забезпеченість	найхолодніша п'ятиденка забезпеченість	найжаркіша доба забезпеченість 0,95	найжаркіша п'ятиденка забезпеченість 0,99	тривалість, ліб	середня температура, °С	тривалість, ліб	середня температура, °С	тривалість, ліб	середня температура, °С			
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26
Вінницька область	-5,1	-3,8	0,5	8,1	14,2	17,2	18,7	18,0	13,3	7,6	1,8	-2,9	7,3	-29	-26	-25	-21	27	23	182	-0,2	202	0,6	—	—
Вінниця	6,2	6,1	7,1	9,7	11,2	10,9	10,8	11,2	10,6	8,7	5,5	5,0													

Примітка: в таблиці вище в якості прикладу показано м. Вінницю, а дані зовнішньої температури для інших міст наведено в табл.2 [33]

## Температура внутрішнього повітря

Вимоги до умов мікроклімату для окремих приміщень будівель різного призначення описано у відповідних будівельних нормах та стандарті ДСТУ Б EN 15251:2011 [26], а розрахункові показники внутрішнього повітря житлових, громадських будівель для теплотехнічних розрахунків наведено в ДБН В.2.6-31:2021 [25]. Розрізняють розрахункові параметри внутрішнього повітря для двох періодів року – теплого та холодного. Розрізняють допустимі та оптимальні умови експлуатації, їх приймають згідно рекомендацій [5] та санітарних норм.

При розрахунку теплового навантаження за методикою EN 12831 [37], замість температури повітря використовують результуючу температуру, що дорівнює середньому арифметичному значень температур внутрішнього повітря та середньої радіаційної в приміщенні (рис.2.1.4). Для визначення внутрішньої розрахункової температури на опалення можна керуватися табл. 2.1.2 [73].

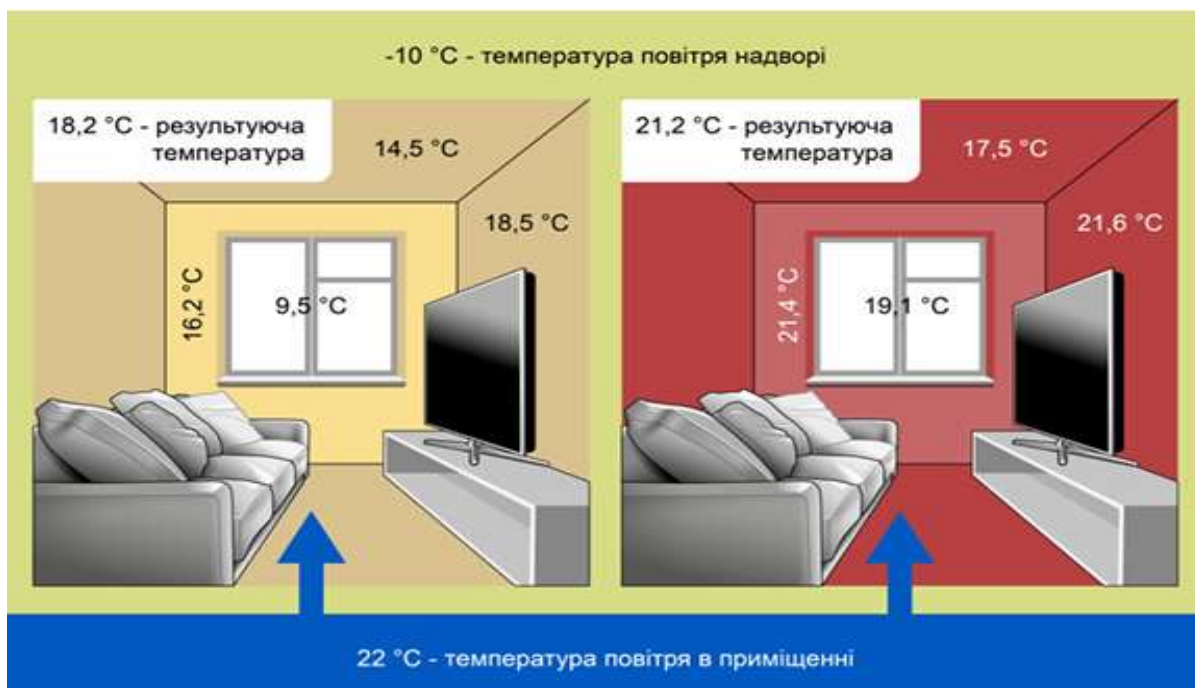


Рисунок 2.1.4 – Результуюча температура:

- а) неутеплене приміщення
- б) утеплене приміщення [73]

Таблиця 2.1.2 – Внутрішня розрахункова температура [37, 73]

Тип будівлі/приміщення	Температура
Офіс, конференц-зала, аудиторія	20
Кафетерій, ресторан	20
Класна кімната, дитяча кімната	20
Магазин	16
Житлова кімната	20
Ванна кімната	24
Церква	15
Музей/Галерея	16

### 2.1.3 Визначення теплового навантаження системи опалення

Згідно з п.6.3.4 ДБН В.2.5-67:2013 [29] теплове навантаження системи опалення визначається згідно з ДСТУ Б EN 12831-1:2017 [37]. Запровадження такої норми дозволило гармонізувати українську базу з нормами ЄС та впровадити європейські норми у вітчизняну практику проектування. Крім того, з'явилася можливість застосування для розрахунків спеціалізованих програм (KAN OZC, Allklima, MagiCAD Room, Audytor OZC та ін.). На стандарті EN 12831-1 ґрунтуються національні стандарти країн-членів ЄС [73].

Розрахунок опалювального навантаження слугує для визначення потреби в енергії для опалення будівлі до заданих температур в приміщеннях, а на її основі розраховують джерела теплової енергії та площа опалювальних приладів, опалювальних панелей тощо [73]. Стандарт EN 12831 [37] розрізняє поняття «повні проєктні тепловтрати» та «проєктне теплове навантаження» (рис.2.1.5). Різниця полягає в тому, що «проєктне теплове навантаження», окрім повних проєктних втрат теплоти, враховує також додаткове збільшення теплової потужності, що необхідне для компенсації наслідків зменшення продуктивності або перерви в роботі системи опалення (нічний/неробочий час) [73].

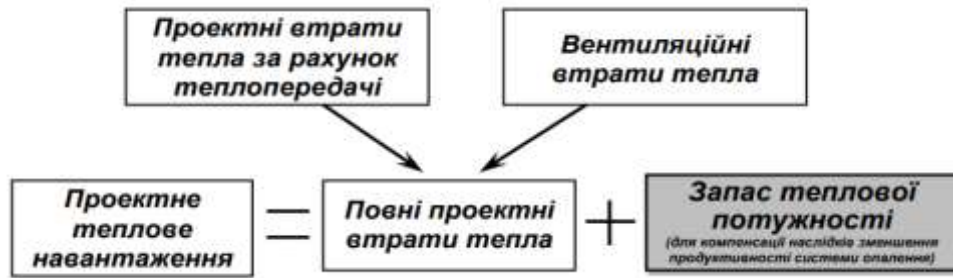


Рисунок 2.1.5 – Проектне теплове навантаження [73]

Конструктивні елементи будівель наведено на рис. 2.1.6.

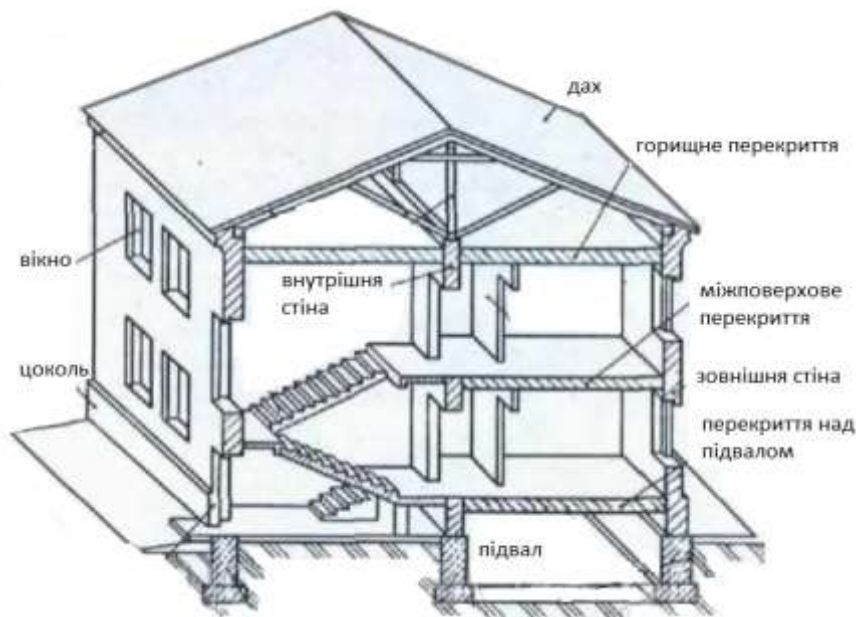


Рисунок 2.1.6 – Конструктивні елементи будівель [73]

### Загальний алгоритм розрахунку [73]

Проектне теплове навантаження для цілого будинку розраховується так:

$$\Phi_{HL} = \Sigma\Phi_{T,i} + \Sigma\Phi_{V,i} + \Sigma\Phi_{RH,i}, \text{ Вт} \quad (2.1.1)$$

де

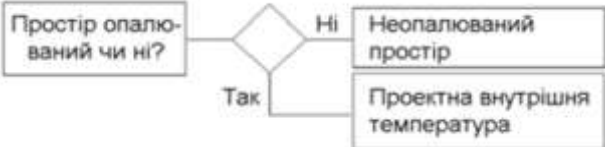
$\Sigma\Phi_{T,i}$  – проектні втрати теплоти опалювального простору за рахунок теплопередачі:, Вт;

$\Sigma\Phi_{V,i}$  – вентиляційні витрати теплоти опалювального простору, Вт;

$\Sigma\Phi_{RH,i}$  – сума запасів потужності опалювального простору для компенсації ефектів зниження нагрівання, Вт.

Алгоритм розрахунку проєктного теплового навантаження для опалювального простору наведено в таблиці 2.1.3 [38, 73].

Таблиця 2.1.3 – Алгоритм розрахунку теплового навантаження

Крок а)	Визначення основних даних: - проєктної зовнішньої температури; - середньої річної зовнішньої температури	Кліматичні дані
Крок б)	Визначення статусу кожного простору в будинку:  <pre> graph LR     A[Простір опалюваний чи ні?] -- Так --&gt; B[Проектна внутрішня температура]     A -- Ні --&gt; C[Неопалюваний простір]             </pre>	Статус кожного простору та проєктна внутрішня температура кожного опалюваного простору
Крок с)	Визначення основних даних : розмірів; термічних характеристик усіх елементів будинку для всіх опалюваних та неопалюваних просторів	Будівельні дані
Крок d)	Розрахунок проєктних втрат тепла за рахунок теплопередачі	Для втрат тепла через: оболонку будівлі; ґрунт; неопалювані і суміжні простори
Крок е)	Розрахунок проєктних вентиляційних втрат   тепла : (Коефіцієнт проєктних вентиляційних втрат тепла) x (Проектна різниця температур)	Розрахунок тепловтрат будинку
Крок f)	Розрахунок повних проєктних втрат тепла :   (Проектні втрати тепла за рахунок теплопередачі) + (Проектні вентиляційні втрати тепла)	Розрахунок тепловтрат будинку
Крок g)	Розрахунок запасу теплової потужності для компенсації наслідків пониження продуктивності системи опалення	Врахування періодичного опалення
Крок h)	Розрахунок проєктного теплового   навантаження : (Повні проєктні втрати тепла) + (Запас теплової потужності)	Розрахунок проєктного теплового навантаження

## Проектні втрати теплоти за рахунок теплопередачі [73]

Проектні втрати теплоти опалювального простору за рахунок теплопередачі (див.рис.2.1.7):

$$\Phi_{T,i} = (H_{T,ie} + H_{T,iue} + H_{T,ig} + H_{T,ij}) \cdot (\theta_{int,i} - \theta_e), \text{ Вт}, \quad (2.1.2)$$

де  $H_{T,ie}$  – коефіцієнт втрат тепла за рахунок теплопередачі з опалюваного простору ( $i$ ) до навколишнього середовища ( $e$ ) через оболонку будівлі, Вт/К;

$H_{T,iue}$  – коефіцієнт втрат тепла - теплопередача з опалюваного простору ( $i$ ) до навколишнього середовища ( $e$ ) через неопалювані простори ( $u$ ), Вт/К;

$H_{T,ig}$  – коефіцієнт втрат тепла за рахунок теплопередачі з опалюваного простору ( $i$ ) до ґрунту ( $g$ ) у сталих умовах, Вт/К;

$H_{T,ij}$  – коефіцієнт втрат тепла за рахунок теплопередачі з опалюваного простору ( $i$ ) до суміжного простору ( $j$ ) за різниці температур  $>3^\circ\text{C}$ , Вт/К;

$\theta_{int,i}$  – проектна внутрішня температура опалюваного простору ( $i$ ),  $^\circ\text{C}$ ;

$\theta_e$  – проектна зовнішня температура,  $^\circ\text{C}$ .

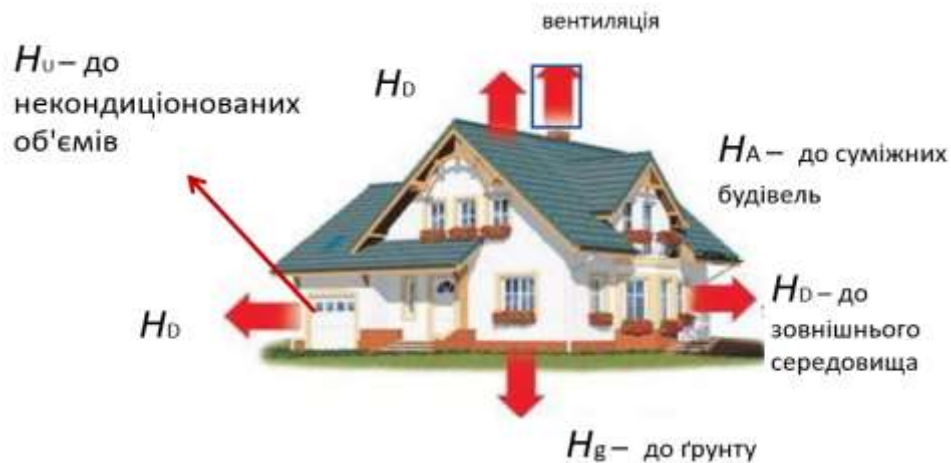


Рисунок 2.1.7 – Втрати теплоти за рахунок теплопередачі огорожень [73]

Підвищені тепловтрати мають такі приміщення:

- розташовані на першому поверсі (додатково втрати через підлогу);
- розташовані на останньому поверсі (додатково втрати через стелю);
- кутові приміщення (додатково втрати через дві та більше зовнішніх стіни);

- приміщення, де внутрішні стіни межують із нежитловими приміщеннями (сходові клітини, ліфт, тощо).

### 2.1.3 Характеристики огорожувальних конструкцій

Для підвищення енергоефективності існуючого будівельного фонду потрібно здійснювати утеплення за «правилом олівця» (без містків холоду, за суцільним контуром, див. рис.2.1.8), а також впроваджувати сучасні інженерні рішення щодо обладнання і систем [73].



Рисунок 2.1.8 – Утеплення за «правилом олівця» [73]

Опір теплопередачі огорожень  $R$ , [ $\text{m}^2 \cdot \text{K} / \text{Вт}$ ] – це величина, що нормується. Згідно із ДБН В.2.6-31:2022 [25] територія України поділена на дві температурні зони (див. рис.2.1.9), для яких наводиться значення допустимого опору теплопередачі для огорожень житлових та громадських будинків (табл.2.1.4), а також для виробничих будівель.



Рисунок 2.1.9 – Карта-схема температурних зон України [25]

Таблиця 2.1.4 – Мінімально допустиме значення приведенного опору теплопередачі огорожень житлових, громадських будівель, (м<sup>2</sup>·К)/Вт [3]

№	Вид огорожувальної конструкції	Значення $R_{qmin}$ , для темпер. зони	
		I	II
1	Зовнішні стінові огорожувальні конструкції	4,00	3,50
2	Суміщені покриття, що межують з зовнішнім повітрям	7,00	6,00
3	Покриття опалювальних горищ(технічних поверхів),мансард, перекриття неопалювальних горищ	6,00	5,50
4	Перекриття, що межують із зовнішнім повітрям, та над неопалювальними підвалами	5,00	4,00
5	Світлопрозорі огорожувальні конструкції	0,90	0,70
6	Зенітні ліхтарі	0,80	0,70
7	Зовнішні двері	0,70	0,60

### Опір теплопередачі для однорідних огорожень

Непрозорі огорожувальні конструкції поділяються на термічно однорідні та неоднорідні. Якщо непрозора огорожувальна конструкція чи непрозора частина огорожувальної конструкції є багат шаровою конструкцією (2.1.10), що складена з однорідних (за теплофізичними характеристиками) шарів, то така конструкція називається термічно однорідною. Термічно однорідною є конструкція, що не містить у своєму об'ємі теплопровідних включень.

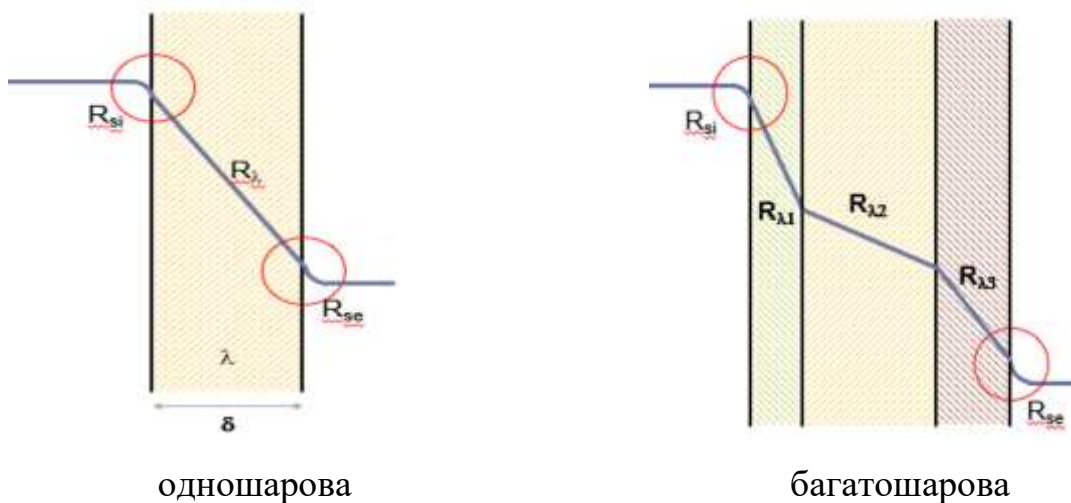


Рисунок 2.1.10 – Термічно однорідна огорожувальна конструкція:

Згідно з ДСТУ 9191:2022 [28] опір теплопередачі термічно однорідної непрозорої огорожувальної конструкції розраховують за формулою:

$$R_{\Sigma} = R_{si} + \sum_{i=1}^n R_i + R_{se} = \frac{1}{h_{si}} + \sum_{i=1}^n \frac{d_i}{\lambda_i} + \frac{1}{h_{se}}, \quad (2.1.3)$$

де

$h_{si}$ ,  $h_{se}$  – коефіцієнти тепловіддачі внутрішньої і зовнішньої поверхонь огорожувальної конструкції, Вт/(м<sup>2</sup>·К), див.табл.2.1.5;

$R_i$  –тепловий опір і-го шару конструкції, (м<sup>2</sup>·К)/Вт;

$d_i$  – товщина і-го шару конструкції, м;

$\lambda_i$  – коефіцієнт теплопровідності матеріалу і-го шару, Вт/(м·К);

$n$  – кількість шарів огорожувальної конструкції.

У разі, якщо в складі конструкції містяться повітряні прошарки, тепловий опір замкнених повітряних прошарків (як горизонтальних, так і вертикальних) обирається за додатком в ДСТУ 9191:2022 [28]. У повітряних прошарках теплопередача триває, в основному, не за рахунок теплопровідності, а завдяки конвекції та випромінюванню.

Коефіцієнт теплопровідності шарів матеріалів зовнішньої стіни визначається або за протоколами випробувань відповідних матеріалів шарів, або за дод. А ДСТУ 9191:2022 [28] (параметри Б для нормального режиму експлуатації [25]), див.табл.2.1.6.

Теплотехнічний розрахунок полягає у визначені товщини утеплювача в огороженні. Розглянемо стіну, на яку наноситься тепла ізоляція. Товщину та коефіцієнт теплопровідності існуючих шарів визначають заделегідь. За умов дотримання мінімальних вимог  $R_{\Sigma пр} = R_{q \min}$ , за допомогою рівняння (2.1.1) знаходять товщину утеплювача. Надалі призначають товщину, не меншу за отриману за розрахунком та кратну можливим розмірам утеплювача.

Таблиця 2.1.5 – Розрахункові значення коефіцієнтів тепловіддачі внутрішньої  $h_{si}$  та зовнішньої  $h_{se}$  поверхонь огорожень [28]

№	Тип огорожувальної конструкції		Коефіцієнт тепло-віддачі, Вт/(м <sup>2</sup> ·К)	
			$h_{si}$	$h_{se}$
1	Вертикальні непрозорі огорожувальні конструкції (зовнішні стіни)	З опорядженням штукатурками	8,7	23
		З вентиляльованими повітряними прошарками	8,7	12
2	Те саме (зовнішні двері, ворота)	непрозорі	8,7	23
3	Вертикальні світлопрозорі конструкції (вікна, двері балконні, світлопрозорі двері, фасади, вітражі)	огорожувальні	8,0	23
4	Горизонтальні світлопрозорі огорожувальні конструкції (зенітні ліхтарі, покриття атриумів, оранжерей)		9,9	23
5	Горизонтальні непрозорі огорожувальні конструкції за теплового потоку знизу догори	Плоскі(суміщені) покриття	10,0	23
		Горищні перекриття	10,0	6
6	Горизонтальні непрозорі огорожувальні конструкції за теплового потоку зверху донизу	Перекриття над неопалюваними підвалами та техпідпіллями, що не вентилуються зовнішнім повітрям	5,9	6
		Перекриття над неопалюваними підвалами зі світловими прорізами в стінах	5,9	12
		Перекриття над неопалюваними підвалами, що межують із зовнішнім повітрям	5,9	17
		Перекриття, що межують із зовнішнім повітрям (єркери, проїзди)	5,9	23

Таблиця 2.1.6 – Значення розрахункових теплофізичних характеристик (зовнішній вигляд таблиці відповідно до ДСТУ [28])

Ч.ч.	Назва матеріалу	Характеристика в сухому стані			Розрахунковий вміст вологи за масою за умов експлуатації w, %		Розрахункові характеристики за умов експлуатації				
		густина $\rho_0$ , кг/м <sup>3</sup>	теплоємність C, кДж/(кг · К)	декларативна теплопровідність $\lambda_{0,0}$ , Вт/(м · К)	А	Б	теплопровідність $\lambda_{\text{пр}}$ , Вт/(м · К)		коефіцієнт теплозасвоєння $\alpha$ , Вт/(м <sup>2</sup> · К)		паропронійність $\delta$ мг/(м · год · Па)
							А	Б	А	Б	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
<b>1 ТЕПЛОІЗОЛЯЦІЙНІ МАТЕРІАЛИ</b>											
<b>1.1 Волокнисті матеріали</b>											
1	Вироби теплоізоляційні з мінеральної вати на основі базальтового волокна	30	0,84	0,039	0,5	1,0	0,046	0,050	0,29	0,31	0,55
		40	0,84	0,039	0,5	1,0	0,046	0,049	0,34	0,35	0,53
		50	0,84	0,038	0,5	1,0	0,044	0,048	0,37	0,39	0,52
		75	0,84	0,037	0,5	1,0	0,043	0,047	0,45	0,48	0,50
		100	0,84	0,038	0,5	1,0	0,044	0,048	0,53	0,56	0,47
		125	0,84	0,038	0,5	1,0	0,045	0,049	0,59	0,63	0,43
		150	0,84	0,039	0,5	1,0	0,048	0,050	0,67	0,69	0,38
		175	0,84	0,039	0,5	1,0	0,049	0,052	0,73	0,76	0,35
		200	0,84	0,040	0,5	1,0	0,050	0,053	0,79	0,83	0,31
		225	0,84	0,040	0,5	1,0	0,050	0,054	0,84	0,88	0,30
2	Вироби теплоізоляційні з мінеральної вати на основі сіяного штапельного волокна	10	0,84	0,044	1	3	0,055	0,057	0,19	0,20	0,70
		15	0,84	0,040	1	3	0,050	0,052	0,22	0,23	0,65
		20	0,84	0,037	1	3	0,047	0,050	0,25	0,27	0,60
		35	0,84	0,035	1	3	0,044	0,047	0,31	0,34	0,53
		70	0,84	0,032	1	3	0,042	0,045	0,43	0,47	0,45

Примітка: продовження таблиці – див. за дод. А ДСТУ 9191:2022 [28]

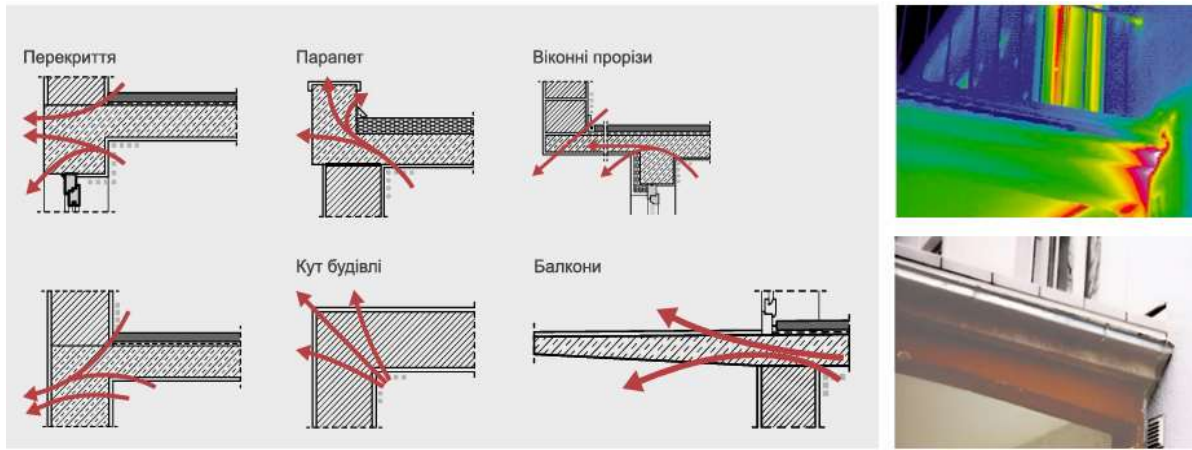
### Опір теплопередачі для термічно неоднорідної конструкції з урахуванням теплопровідних включень (містків холоду)

Теплопровідне включення – елемент огорожувальної конструкції, розташований в її об'ємі паралельно напрямку теплового потоку, який має термічний опір, менший від термічного опору основного поля більше ніж на 20%.

Теплопровідні включення можуть бути лінійні і точкові (рис.2.1.11):

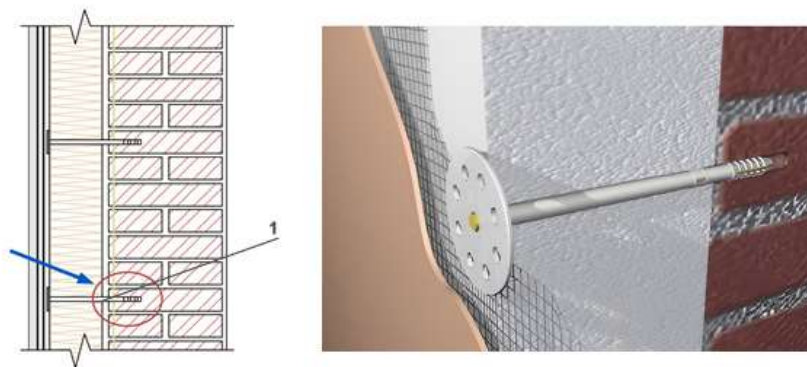
- **лінійні:** вузол примикання вікна до стіни, примикання плити перекриття до стіни, кути стін, парапети на даху;

- **точкові:** кронштейн, дюбель.



а

б



в

Рисунок 2.1.11 – Теплопровідні включення лінійні (а, б) та точкові (в) [73]

Якщо непрозора огорожувальна конструкція термічно неоднорідна, то визначається її приведений опір теплопередачі  $R_{\Sigma пр}$ ,  $[m^2 \cdot K / W]$ , за формулою [28]:

$$R_{\Sigma пр} = \frac{A_{\Sigma}}{\sum_i \left( \frac{A_i}{R_{\Sigma i}} \right) + \sum_m (l_m \cdot \Psi_m) + \sum_i (N_i \cdot \chi_i)}, \quad (2.1.4)$$

де

$A_{\Sigma}$  – загальна площа огорожувальної конструкції, обчислена за внутрішнім виміром із додаванням площ внутрішніх укосів прорізів та відніманням площ прорізів,  $m^2$ ;

$A_i$  – площа  $i$ -ої термічно однорідної частини непрозорої конструкції,  $m^2$ ;

$\Psi_m$  – лінійний коефіцієнт теплопередачі  $m$ -го лінійного теплопровідного включення,  $W / (m \cdot K)$ , розраховують за тримірним температурним полем з

використанням спеціалізованого програмного забезпечення (наприклад, Term, Design Space, NormCad) або приймають згідно з дод. Г ДСТУ 9191 [28];

$l_m$  – лінійний розмір  $m$ -го лінійного теплопровідного включення, м;

$\chi_j$  – точковий коефіцієнт теплопередачі  $j$ -го точкового теплопровідного включення, Вт/К, розраховують або приймають згідно з дод. Д ДСТУ 9191 [28];

$N_j$  – загальна кількість  $j$ -их точкових теплопровідних включень, що розташовані на загальній площі огорожувальної конструкції без урахування площ внутрішніх укосів прорізів, шт;

$R_{\Sigma i}$  – опір теплопередачі  $i$ -ої термічно однорідної конструкції,  $\text{м}^2 \cdot \text{К}/\text{Вт}$ .

#### **2.1.4 Вимоги до теплової ізоляції огорожень**

Вибір теплоізоляційного матеріалу здійснюють для таких типів непрозорих огорожувальних конструкцій будівлі [25, 28]:

- заглиблених конструкцій будівлі, цокольних конструкцій;
- підлог на ґрунті;
- зовнішніх стін;
- перекриттів (цокольних, міжповерхових, горищних) та покриттів;
- конструкцій, що розділяють приміщення з різницею температури  $>4$  °С.

Визначальними під час вибору теплоізоляційного матеріалу є наступні фізико-технічні показники:

- гранична температура застосування;
- вологість та густина;
- водопоглинання та паропроникність;
- морозостійкість;
- група горючості;
- міцність на стиск/границя міцності при стиску;
- стисливість та правильність геометричної форми;

- границя міцності при зсуві та границя міцності при розтягу у напрямку, перпендикулярному до поверхні;
- розрахунковий коефіцієнт теплопровідності;
- термін ефективної експлуатації.

При проектуванні теплоізоляційної оболонки будинку теплоізоляційні матеріали слід розташовувати з зовнішньої сторони огороження. В якості теплоізоляційних матеріалів: мінеральна вата (скловата), плити з кам'яної (базальтової) вати, пінополістирол і екструдований пінополістирол, пінополіуретан, піноізол, ековата, піноскло, та інші матеріали.

Контроль якості проведення робіт може бути здійснено за допомогою:

1) тесту будівлі на герметичність - Blower Door Test (аеродвері) або визначення повітропроникності огорожувальних конструкцій в натурних умовах - здійснюється перед здачею нових будівель в експлуатацію або при проведенні енергоаудиту;

2) тепловізійної зйомки – метод дистанційного вимірювання полів температури. Особливості експериментального дослідження:

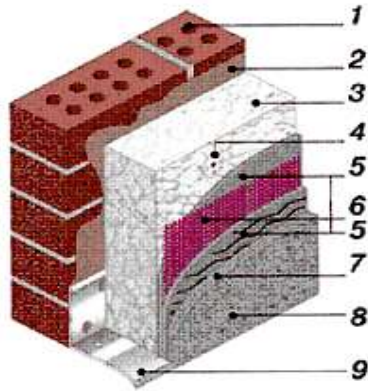
- наявність різниці температур на поверхні 15-20 градусів;
- відсутність прямих сонячних променів, інших теплових впливів;
- виміри температур в кутах та на внутрішній поверхні огорожень.

3) контрольної «вирізки» частини ізолюваного фасаду (верифікація).

## **2.1.5 Технології утеплення**

### **1. Метод скріпленої теплової ізоляції**

Метод полягає у прикріпленні теплоізоляційних плит до стіни спеціальним клеєм і дюбелями, захистом їхньої поверхні полімерцементними композиціями, армованою склосіткою і нанесенні шару декоративної штукатурки. Плити монтуються так, щоб між ними практично не було проміжків. У результаті утворюється суцільна й рівномірна тепла оболонка без містків холоду [32].



1. Будівельна основа (стіна)
2. Суміш для приклеювання плит
3. Утеплювач (товщина 100 мм)
4. Дюбель
5. Клеєва суміш
6. Армуюча сітка із скловолокна
7. Ґрунтовка
8. Декоративний шар
9. Цокольний профіль

Рисунок 2.1.12 – Метод скріпленої теплоізоляції [32]

## 2. Використання методу вентилязованого фасаду

Метод дає можливість створити більш довговічну конструкцію. Вентильований фасад складається з конструкції кріплення захисного декоративного облицювання (металевого або алюмінієвого), утеплювача, вітрозахисної плівки, фасадного облицювання. Прощарок, що залишається між теплоізоляцією і облицюванням, забезпечує вільний рух повітря. Це дозволяє стіні постійно знаходитись у сухому стані, унеможлиблює утворення конденсату і вологи. Найбільш поширеними є алюмінієві композитні панелі, керамограніт, фіброцементні панелі, металевий або вініловий сайдинг [32].

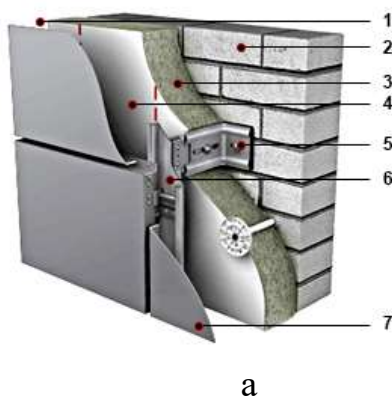


Рисунок 2.1.13 – Утеплення стін за методом "вентильованого фасаду" [32]

а – принципова схема: 1– стіна; 2 – плитний утеплювач; 3 – вітрозахисна плівка; 4 – металева під-конструкція; 5 – анкерні кріплення теплоізоляції; 6 – повітряний прощарок; 7 – захисне декоративне лицювання;

б – загальний вигляд утепленого фасаду з опорядженням із панелей

Вимоги та рекомендації щодо монтажу теплової ізоляції огорожень наведено у відповідних ДБН. Напруження, які виникають в результаті дії сил виривання вітру значно послаблюють клейове з'єднання між утеплювачем і основою. Ці напруження є особливо великими в кутових зонах, для висотних будівель або будівель, що розташовані у вітрових зонах. Тому рекомендується застосування механічні кріплення для протидії силам виривання. Рекомендується дюбельовання термоізоляційних плит і по краях (10 шт/м<sup>2</sup>) і по середині (6÷8 шт/м<sup>2</sup>), приклад улаштування показано на рис. 2.1.14 Важливо забезпечити водовідведення з покрівлі для запобігання замокання фасаду.

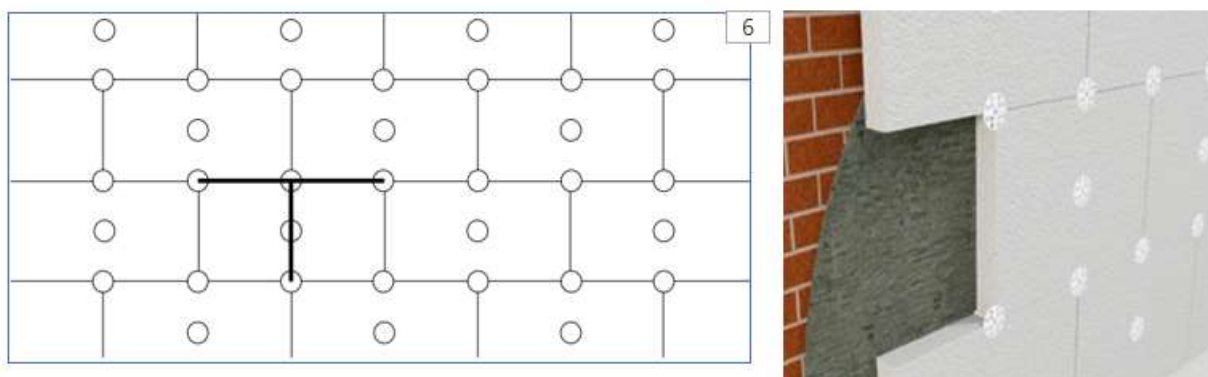


Рисунок 2.1.14– Улаштування механічних кріплень теплоізоляції

Технології утеплення різних огорожень показано на рис 2.1.15-2.1.20 [32].

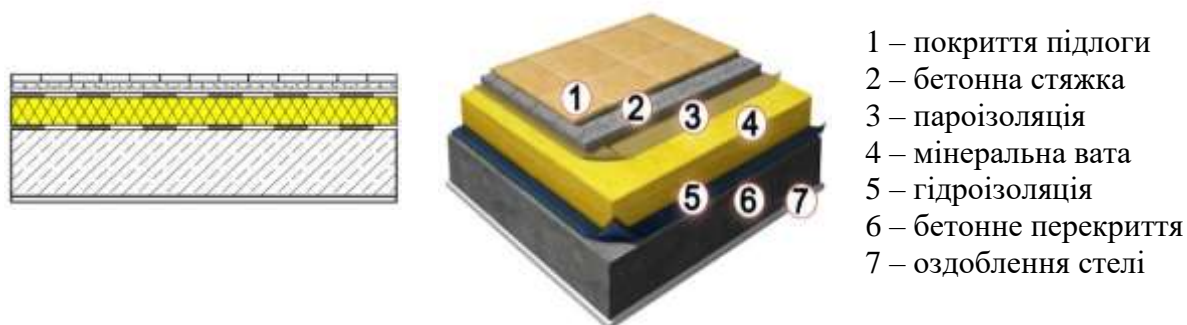
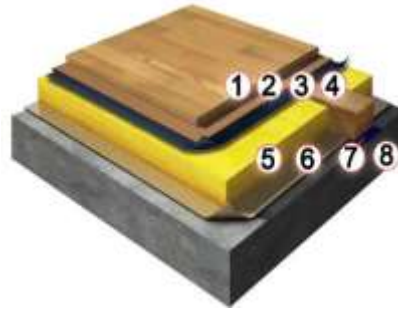
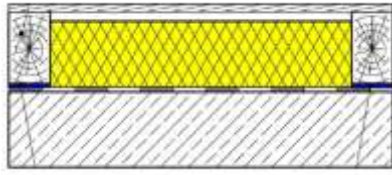
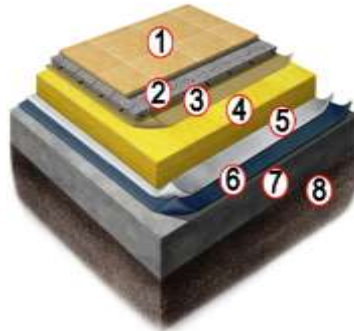
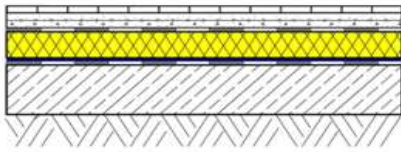


Рисунок 2.1.15 – Утеплення підлоги по бетонному перекриттю [32]



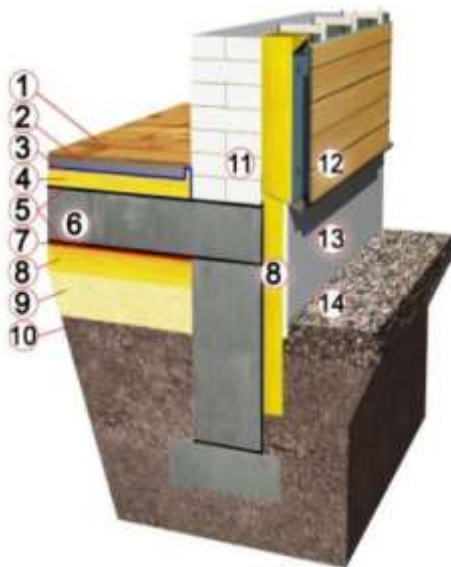
- 1 – настил з дошок
- 2 – підложка
- 3 – гідроізоляція
- 4 – лага
- 5 – мінеральна вата
- 6 – пароізоляція
- 7 – пружна звукоізоляційна прокладка
- 8 – плита перекриття

Рисунок 2.1.16 – Утеплення підлоги по лагах [32]



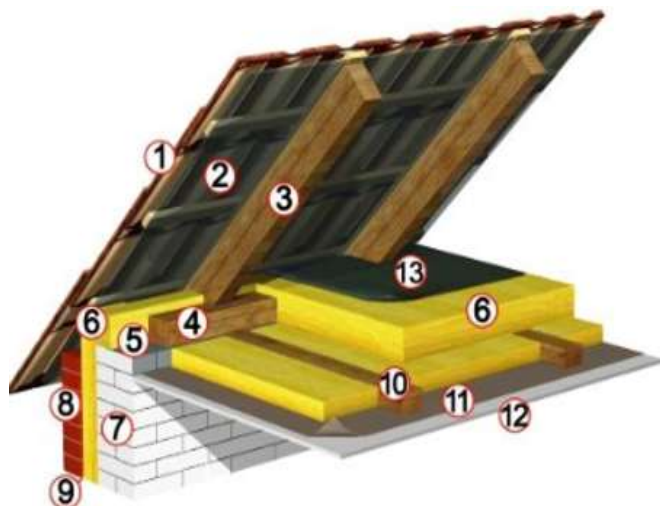
- 1 - покриття підлоги
- 2 – армована стяжка
- 3 – пароізоляція
- 4 – мінеральна вата
- 5 – геотекстиль
- 6- гідроізоляція
- 7 – бетонна плита
- 8 – ґрунт

Рисунок 2.1.17 – Утеплення підлоги по ґрунту [32]



- 1 – покриття підлоги
- 2 – стяжка
- 3 – гідроізоляція
- 4 – теплова ізоляція
- 5 – гідроізоляція
- 6 – бетонна основа
- 7 – геотекстиль
- 8 – утеплювач (пінополістирол)
- 9 - підстилаючий шар
- 10- ґрунт
- 11 – несуча стіна
- 12- облицювання
- 13 - декоративна штукатурка
- 14 - гравій

Рисунок 2.1.18 – Утеплення підлоги фундаменту [32]



- 1 – покриття покрівлі
- 2 – гідроізоляція
- 3 – стропила
- 4 - мауерлат
- 5- гідроізоляція
- 6 – теплова ізоляція
- 7 – несуча стіна
- 8 – цегла облицювальна
- 9 – вентиляційний зазор
- 10 – балки
- 11 – обробка стелі
- 12 – гідробар'єр

Рисунок 2.1.19– Утеплення горищного перекриття по лагам [32]



- 1– покриття покрівлі
- 2 – обрешітка
- 3 – гідроізоляція
- 4 – теплова ізоляція
- 5 – стропила
- 6 – пароізоляція
- 7 – обробка стелі

Рисунок 2.1.20 – Утеплення скатної покрівлі [32]

### 2.1.6 NZEB – будівництво: енергоефективні рішення

Прийнятим наказом Мінрегіону для NZEB-будівель визначено вимоги для світлопрозорих огорожувальних конструкцій (в т.ч. необхідність затінення), вимоги щодо утеплення теплопровідних включень, а також прийнята мінімальна товщина утеплювача:

- 100 мм для підлог по ґрунту,
- 200 мм для зовнішніх стін,
- 300 мм для покриття опалювальних горищ (техповерхів, мансард),
- 400 мм для суміщених покриттів.

Серед основних речей, що повинні відпрацьовуватися, слід відзначити [39]:

1) Облаштування відкосів навколо вікон та дверей, зокрема облаштування так званого виносного монтажу (рис.2.1.21);



Рис.2.1.21 – Облаштування відкосів при «виносному монтажу» вікон [39]

- 2) Забезпечення якісних примикань між даховими конструкціями та стінами;
- 3) Виконання «теплых» відмосток та примикань між цоколем та стінами;
- 4) Облаштування терморозривів для конструкцій, що виступають за межі основної теплоізоляційної оболонки (балкони, ганки тощо).

Загалом можна відзначити, що в більшості випадків важливо дотримуватися вже наявних вимог до виконання таких робіт, що зможе суттєво наблизити до досягненню вимог з енергоефективності.

## Питання для самопідготовки

1. Розкрийте термін «будівля». Які фактори впливають на витрати енергії?
2. Вкажіть основні складові енергетичного балансу будівлі. Коли враховують тепловтрати через внутрішні огороження?
3. Вкажіть складові енергобалансу за методикою ДСТУ 9190:2022 для визначення енергопотреби будівлі.
4. Умови мікроклімату: визначення. Параметри, що визначають комфортність в приміщеннях.
5. Як обирається внутрішня та зовнішня розрахункові температури будівель при проектуванні і реконструкції?
6. Стисло опишіть методику визначення теплового навантаження.
7. Опір теплопередачі однорідних огорожень.
8. Опір теплопередачі неоднорідних огорожень. Місткі холоду.
9. Нормування опору теплопередачі в Україні.
10. Вимоги до теплової ізоляції огорожень.
11. опишіть кілька методів контролю якості проведених робіт з теплоізоляції огорожувальних конструкцій.
12. опишіть кілька технологій утеплення огорожень будівлі.
13. опишіть основні рекомендації щодо енергоефективного будівництва за стандартом NZEB (стосовно огорожувальних конструкцій).

## **2.2 Інженерні системи будівель та заходи з підвищення енергоефективності**

### **2.2.1 Загальні положення**

Життя сучасної людини неможливе без певного рівня комфортності приміщень. Будь-яку сучасну будівлю не можна розглядати без інженерних систем забезпечення мікроклімату (теплопостачання, опалення, вентиляція, кондиціонування) та комунально-побутових потреб (водопостачання, водовідведення, електро- та газопостачання). Крім того, розгляд деяких питань роботи інженерних систем окремо, без комплексного аналізу, не може вирішити проблеми якісного забезпечення комфортних умов. Наприклад, зниження температури гарячої води в котлах - з одного боку це зменшує витрату палива, а з іншого - зменшує температурний напір в опалювальних приладах, що потребує збільшення їхньої площі, тобто збільшення капітальних витрат [40].

Використання відновлювальних і нетрадиційних джерел енергії не є доцільним в старих будівлях, в яких теплотехнічні характеристики значно нижчі нормативних, переріз кабелів електромереж недостатній, а встановлене інженерне обладнання не є енергоефективним. Саме тому в нормативних документах йде взаємозв'язка класів енергоефективності будівлі, інженерних систем та обладнання, що споживає енергію [29].

Для підвищення енергоефективності потрібно здійснювати утеплення будівель за «правилом олівця», а також впроваджувати сучасні інженерні рішення щодо обладнання і систем (рис.2.2.1).

Енергетичні показники, що визначають при виготовленні енергосертифікату будівлі за діючим стандартом [36] (гармонізованим з нормами ЄС) та які наводяться в розділі проекту «Енергоефективність» показані на рис.2.2.2. В нових будівлях варто застосовувати сучасні технології для інженерних систем. Для існуючих будівель розрізняються наступні групи заходів для підвищення енергоефективності [73]:

- безвитратні (наприклад усунення витоків/втрат, належне технічне/сервісне обслуговування та експлуатація; планові ремонти);
- низьковитратні (наприклад: впровадження систем автоматики та регулювання, встановлення ефективнішого обладнання; встановлення автономних пристроїв управління; навчання персоналу/споживачів; контроль і оперативне планування енергоспоживання, заміна обладнання/модернізація);
- високовитратні, наприклад: заміна енергоємних установок; встановлення комплексних систем управління; когенерація; рекуперація теплоти, модернізація системи опалення та вентиляції, модернізація освітлення, використання НВДЕ.

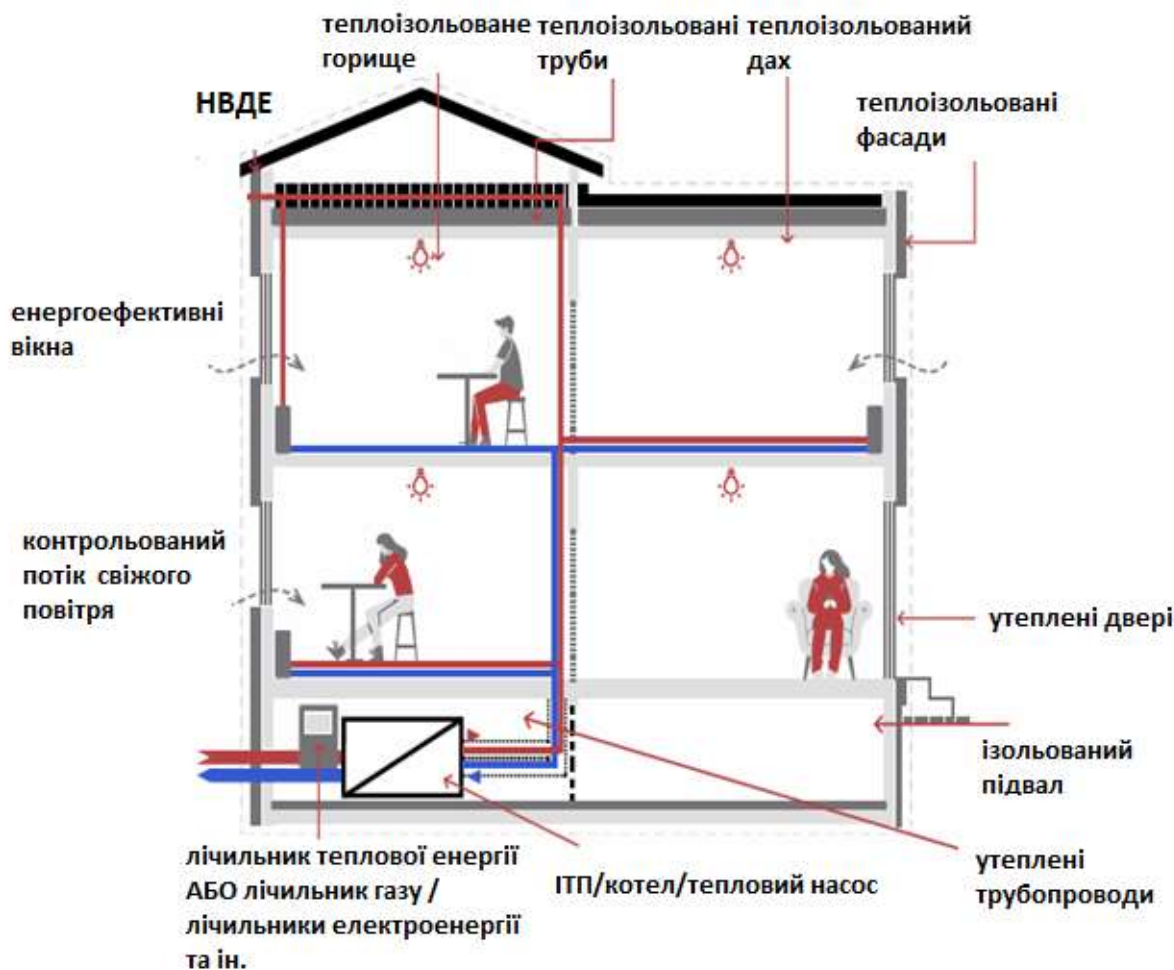


Рисунок 2.2.1 – Модель енергоефективної будівлі



Рисунок 2.2.2 – Енергетичні показники інженерних систем, що враховує методика розрахунку при виготовленні енергетичного сертифікату будівлі [73]

### 2.2.2 Ефективні рішення для систем опалення

**Система опалення** – це сукупність конструктивних елементів пов’язаних між собою, призначених для одержання, перенесення і передавання теплової енергії в приміщення будівлі, яка обігривається.

Розрахунок джерела теплової енергії, площа приладів, опалювальних приладів, панелей відбувається після розрахунку теплового навантаження. До систем опалення висуваються наступні вимоги [73]:

- санітарно-гігієнічні;
- економічні;
- архітектурно-будівельні;
- виробничо-монтажні;
- експлуатаційні.

Система опалення будинку, приєднаного до теплової мережі, складається з вузла приготування теплоносія, трубопроводів, віток і опалювальних приладів.

При водяному опаленні нагріта вода, яка циркулює в системі, охолоджується в опалювальних приладах і повертається до джерела тепла (наприклад, теплового пункту) для подальшого нагрівання.

В існуючих серійних будівлях системи опалення неефективні, відсутня можливість місцевого регулювання.

**Класифікація систем водяного опалення** досить різноманітна [73], що викликано багатоваріантністю принципів схем, технічних і функціональних характеристик, які залежать як від технічних можливостей цих систем, так і від об'єктів, де ці системи застосовуються.

1. За температурою теплоносія в системі опалення розрізняють:

- низькотемпературні системи, в яких температура гарячої води  $<70^{\circ}\text{C}$ ;
- високотемпературні системи, в яких температура гарячої води  $70-100^{\circ}\text{C}$ .

2. Системи водяного опалення за способом створення циркуляції води поділяються на:

- системи з природною циркуляцією (гравітаційні)
- системи з механічним спонуканням циркуляції води (насосні).

3. В залежності від схеми з'єднання труб з опалювальними приладами:

- однотрубні,
- двотрубні.

4. За положенням труб:

- вертикальні,
- горизонтальні.

5. В залежності від місця прокладання магістральних трубопроводів розрізняють системи з верхнім розведенням, нижнім розведенням і комбінованим розведенням магістральних трубопроводів.

При новому будівництві і під час модернізації систем водяного опалення застосовують балансування систем (регулювання витрати стояків), що дозволяє вирівняти розподіл теплоносія по будівлі і запобігти перетопам і недотопам окремих приміщень (рис. 2.2.3).

При проведенні заходів потрібно залучати кваліфікованих спеціалістів, враховувати необхідність заміни запірної арматури і утеплення трубопроводів в неопалювальних приміщеннях.

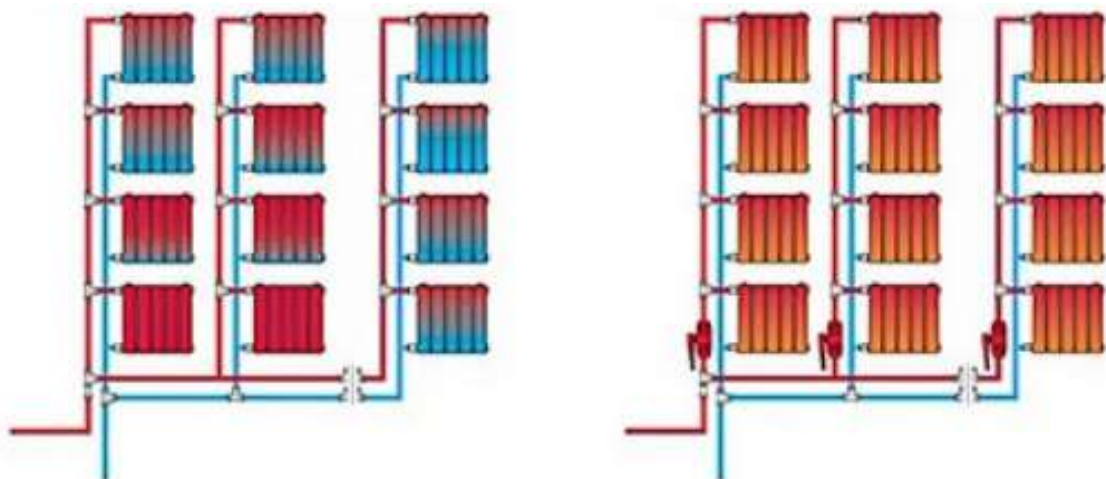
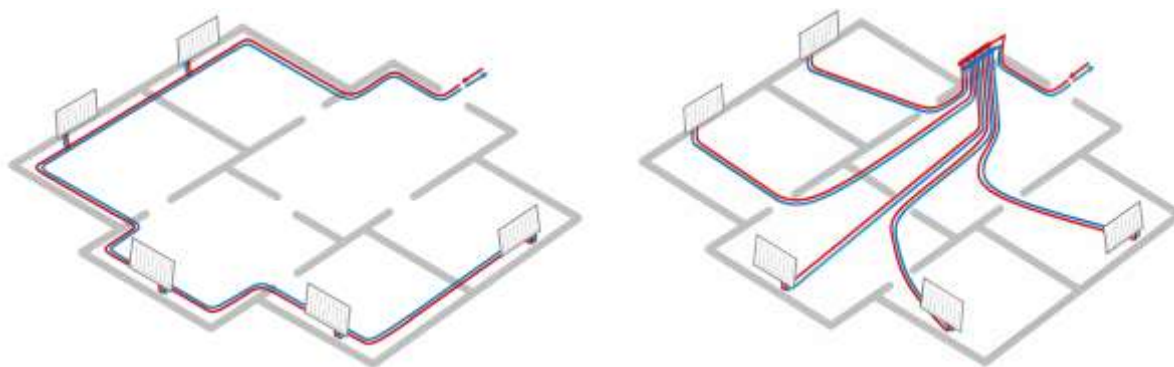


Рисунок 2.2.3 – Вертикальна система опалення будівель:

а – без балансування, б – з балансуванням

Сучасні багатоквартирні будівлі проєктуються із поквартирними системи опалення (рис.2.2.4), що обладнуються вузлом обліку із балансувальними клапанами, спускною арматурою, фільтрами. Вузол обліку і керування повинен розташовуватись поза квартирою на сходовій клітці для безперешкодного доступу служби експлуатації. Підключення квартир: до 100 м<sup>2</sup> – по периметру, понад 100 м<sup>2</sup> - через проміжну квартирну розподільну шафу. Нижче на рисунку 2.2.3 показано приклади підключення (тупикова і променева схеми).



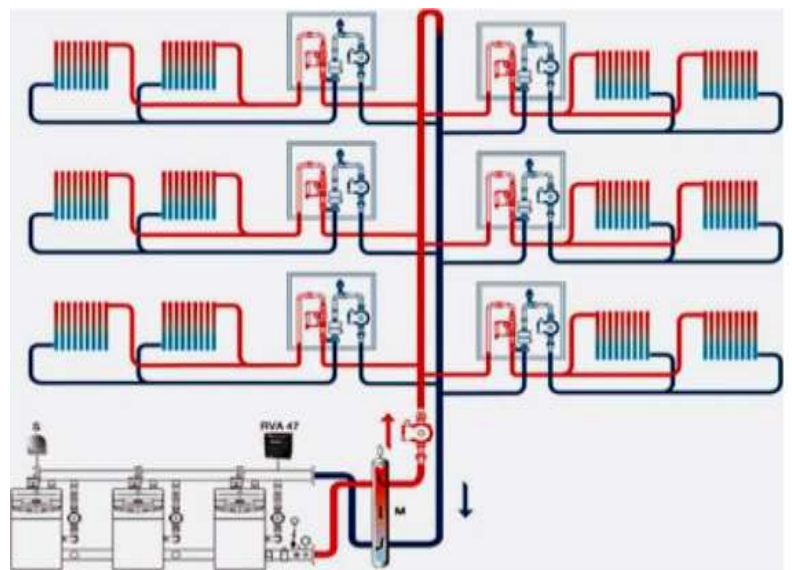
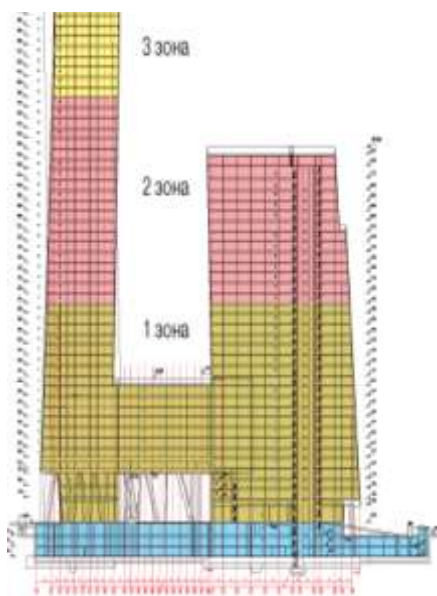
а - тупикова

б - променева

Рисунок 2.2.3 – Приклад схем водяного опалення [73]

Тупикова схема (рис. 2.2.3а) характеризується прокладанням трубопроводів вздовж стін в товщі підлоги або над її поверхнею послідовно від одного опалювального приладу до наступного (може бути застосована розбивка на окремі зони через розподільник). Кожний опалювальний прилад має бути оснащений клапаном терморегулятора з функцією попереднього налаштування пропускної здатності. Регулювання температури повітря в приміщеннях здійснюють встановленими термостатичними головками. В променевій схемі (рис. 2.2.3б) кожний прилад підключають до розподільника окремою парою труб, схема зручна з точки зору монтажу та гідравлічної ув'язки системи.

За сучасними вимогами висотні при проектуванні висотних будівель передбачено зонування системи опалення з виділенням окремого контуру для верхніх поверхів (з окремим насосом, див. рис.2.2.4).



а – висотні будівлі

б – квартирні теплові пункти [73]

Рисунок 2.2.4 – Проектування системи опалення сучасних будівель

Головною ознакою розвитку систем водяного опалення в Україні є автоматизація режимів на рівні споживача. Одним з головних пристроїв для забезпечення теплового комфорту став радіаторний терморегулятор, що підтримує задану температуру повітря у приміщенні шляхом кількісного

регулювання теплоносія. Автоматичний радіаторний терморегулятор складається з клапана терморегулятора та термостатичної головки (рис. 2.2.5). Термостатичні клапани бувають для однотрубних і двотрубних систем опалення.



Рисунок 2.2.5 – Типи термостатичних головок [73]

Розташування радіаторів зі стандартними терморегуляторами та підключення до трубопроводної мережі повинні забезпечити [73]:

- відсутність впливу сонячних променів на термоголовку;
- відстань від підвіконня не менше 200 мм та відсутність інших конструкцій безпосередньо над радіатором;
- горизонтальне положення термостатичної головки;
- відсутність перед радіатором штор, захисної панелі, декоративної решітки.

Схеми установки термоголовки представлені на рисунку 2.2.6.



Рисунок 2.2.6 – Схеми установки термоголовки [73]

**Опалювальні прилади** призначені для передачі теплової енергії від теплоносія до повітря та огорожувальних конструкцій. Існують два основних види передачі теплової енергії: конвективний, який полягає в нагріванні повітря та радіаційний (випромінюванням), при якому енергія передається за допомогою електромагнітних хвиль. Співвідношення способів тепловіддачі залежить від типу приладів (див. рис.2.2.7) [73].



Чавунні радіатори



Сталеві трубні радіатори



Сталеві панельні радіатори



Сталеві секційні радіатори



Алюмінієві радіатори



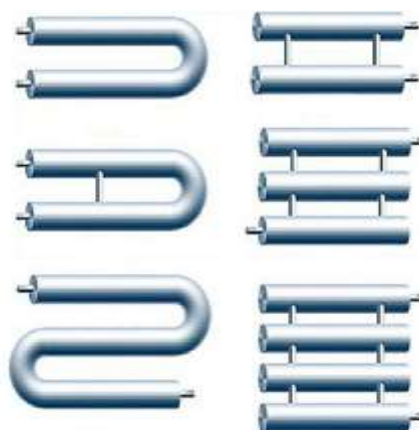
Біметалеві радіатори



Мідно-алюмінієві радіатори



Сталеві конвектори



Гладкотрубні опалювальні прилади

Рисунок 2.2.7 – Типи опалювальних приладів

*Чавунні радіатори* відрізняються значною тепловою потужністю на одиницю довжини приладу (компактністю) і стійкістю проти корозії (довговічністю). Головний їх недолік – велика теплова інерційність, що знижує енергоощадний ефект, особливо при використанні терморегуляторів.

Основним недоліком *сталевих радіаторів* є схильність до внутрішньої корозії, оскільки товщина стінки становить приблизно 1,2...1,5 мм. Рекомендовано застосування в системах з підготовленою водою з високою якістю теплоносія. У них відносно невелика площа нагрівальної поверхні.

*Сталеві конвектори* не підходять для обігріву високих приміщень, оскільки перегрівають верхню зону, а біля підлоги відчутне недогрівання. Порівняно з радіаторами, сприяють перенесенню пилоподібних частинок (і тому в ряді країн ЄС не рекомендовано їх використання). Основними перевагами є простота виготовлення, мала металоємність і водоемність, а, отже, мала інерційність. Вони прості та надійні в експлуатації, мають привабливий дизайн.

*Гладкотрубні радіатори* застосовують для опалення виробничих приміщень, паркінгів, де існує підвищена вірогідність механічного пошкодження. Їх різновид – рушникосушарки.

*Алюмінієві радіатори* добре піддаються регулюванню (терморегулятори), але є складність видалення пилу з внутрішньої поверхні. Вони можуть зазнавати кислотної корозії, спричиненої домішками солей жорсткості в теплоносії.

*Біметалеві радіатори* не вимагають спеціальної підготовки води, мають корпус без гострих кутів, температура на поверхні в 2 рази нижче, ніж усередині (тому рекомендовано для дитячих садків і медзакладів). Недолік- вартість.

*Мідно-алюмінієві радіатори* за всіма показниками вважаються одними з найкращих. Складаються з теплообмінника та навісних декоративних панелей, мають високу стійкість до корозії; недолік-вартість.

*Внутрішньопідлоговий конвектор* (рис.2.2.8а) - опалювальний прилад, який встановлюється в підлогу для обігріву повітря в приміщенні. Їх основним

завданням є створення теплової завіси – перешкоди, яка не дозволяє холодному повітрю, що накопичується біля скління, проникати вглиб приміщення.

В системах *панельно-променевого палення* (рис.2.2.8б) нагрівальними поверхнями є стіни, стеля, підлога або панелі приставного чи підвісного типу, які штучно обігріваються. Вимоги до таких систем: крок укладки, демпферні шви, дотримання рекомендованих температур на поверхні.



Внутрішньопідлоговий конвектор

Системи панельно-променевого опалення

Рисунок 2.2.8 – Способи облаштування систем опалення будівель [73]

Типова панель підлогового опалення (рис.2.2.9) складається з шарів:

- шар теплоізоляції, що лежить безпосередньо на конструкції перекриття;
- шар захисної гідроізоляції;
- шар, що розподіляє тепло у вигляді мокрої або сухої стяжки;
- шар підлогового покриття.

Спосіб укладання гріючих труб залежить від типу приміщення (його призначення, форми), розташування зовнішніх стін, вікон, конструкції підлоги, а також обраної техніки кріплення труб.

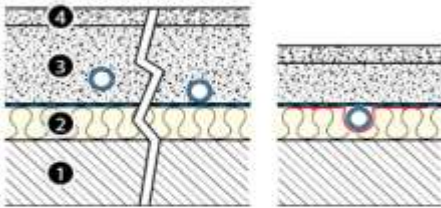
Використовуються два основні способи укладання:

- у вигляді спіралі
- у вигляді меандру.

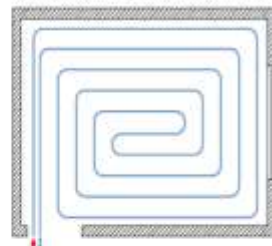
## Системи підлогового опалення

## Способи укладки системи підлогового опалення

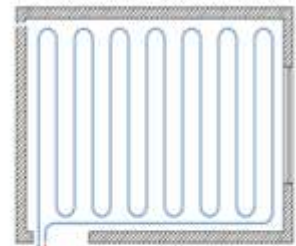
Модель системи підлогового опалення



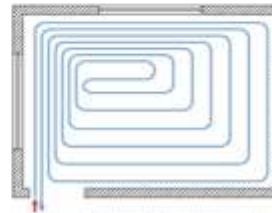
- 1 – покриття
- 2 – шар теплоізоляції
- 3 – шар стяжки
- 4 – шар підлогового опалення



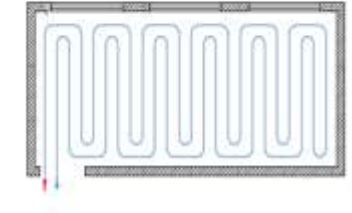
У вигляді спіралі



У вигляді меандру



У вигляді спіралі (равлика) з  
граничною зоною



Здвоєний меандр

Рисунок 2.2.9 – Способи облаштування систем підлогового опалення [73]

В системах панельно-променевого опалення подача теплоносія в систему може здійснюватися безпосередньо з низькотемпературних джерел тепла: конденсаційні котли, теплові насоси тощо (рис.2.2.10а). Це можуть бути як системи «теплі підлоги» чи «теплі стіни» так і звичайні опалювальні прилади (конвектори та радіатори) збільшеної площі. У випадку сумісної роботи з радіаторним опаленням з високими температурними параметрами, подача здійснюється шляхом встановлення пристрою, що знижує температуру теплоносія (наприклад, змішувальні системи), див.рис.2.2.10 б.

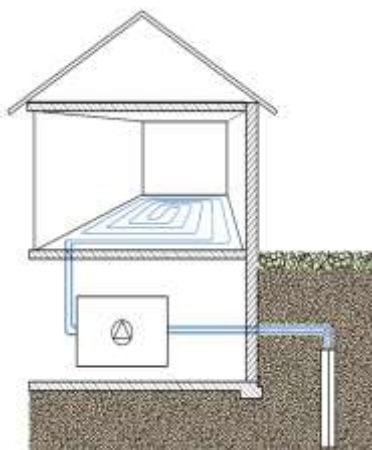


Рисунок 2.2.10 – Низькотемпературні системи опалення [73]:

а – система опалення з тепловим насосом, б – змішана система

Електроопалення – це спосіб обігріву приміщень за допомогою електричної енергії. Воно може бути реалізоване за допомогою різних пристроїв, таких як конвектори, інфрачервоні обігрівачі, електрокабелі (в стінах і підлозі), панелі та ін. (рис.2.2.11). Джерелом енергії може бути електрокотел з приєднаною водяною системою опалення (доцільно встановлювати баки-акумулятори для використання тарифу день/ніч на електроенергію для населення). Пріоритетним режимом є приготування води на потреби гарячого водопостачання (ГВП) [73].

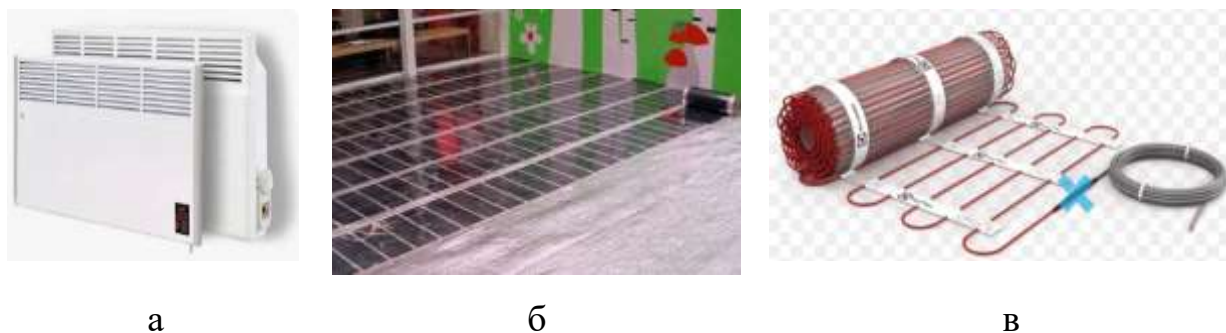


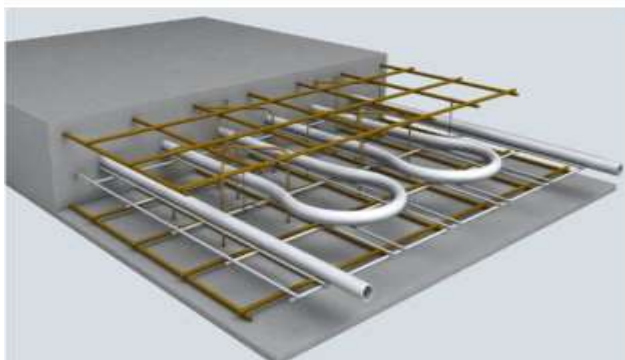
Рисунок 2.2.11 – Елементи електричної системи опалення [73]:  
а – електричні прилади опалення, б – плівкова підлога; в – кабельна підлога

Системи регулювання мікроклімату по окремим приміщенням традиційно виконуються за рахунок регуляторів прямої дії, але можуть бути замінені на електронні системи, що мають значно більші можливості щодо підтримки оптимального мікроклімату, а також можуть інтегруватися в системи «розумного будинку». В інженерних системах повинно бути передбачено утеплення труб, арматури, теплообмінників в неопалювальних приміщеннях [73].

**Система термоактивних будівельних конструкцій TABS** дозволяє перетворити саму будівельну конструкцію на систему, яка забезпечує опалення або охолодження, що дозволяє будівлі функціонувати як тепловий акумулятор. Під час будівництва в бетонних перекриттях будівлі (і за потреби в стінах) прокладають поліетиленові труби, які використовуються для обігріву та

охолодження будинку. Основне завдання інженерії у таких проектах полягає у забезпеченні оптимальної температури будівельних конструкцій. Переваги [73]:

- відсутність протягів, циркуляції повітря та пилу, що впливає на здоров'я;
- саморегуляція інтенсивності випромінення (чим менша різниця температур між поверхнею та повітрям, тим менша інтенсивність);
- повністю невидима система, що не потребує обслуговування;
- система, зважаючи на низькі параметри подачі (27-29 °С опалення, 16-19°С охолодження), може працювати з ВДЕ, такими як теплові насоси.



- 1 – перекриття
- 2 – армування перекриття
- 3 – монтажна сітка
- 4 – нагрівальні труби
- 5 – кронштейни для кріплення труб до сітки

Рисунок 2.2.12 – Система термоактивних будівельних конструкцій TABS [73]

### 2.2.3 Індивідуальні теплові пункти

**Індивідуальний тепловий пункт (ІТП)** - комплекс обладнання, який забезпечує приєднання до магістральної теплової мережі та керування режимами теплоспоживання, трансформацію теплової енергії, регулювання параметрів теплоносія і його розподіл.

*Схема приєднання системи опалення до централізованих мереж:*

- залежна (безпосередньо до зовнішніх мереж), див.рис.2.2.13;
- незалежна (через теплообмінник).

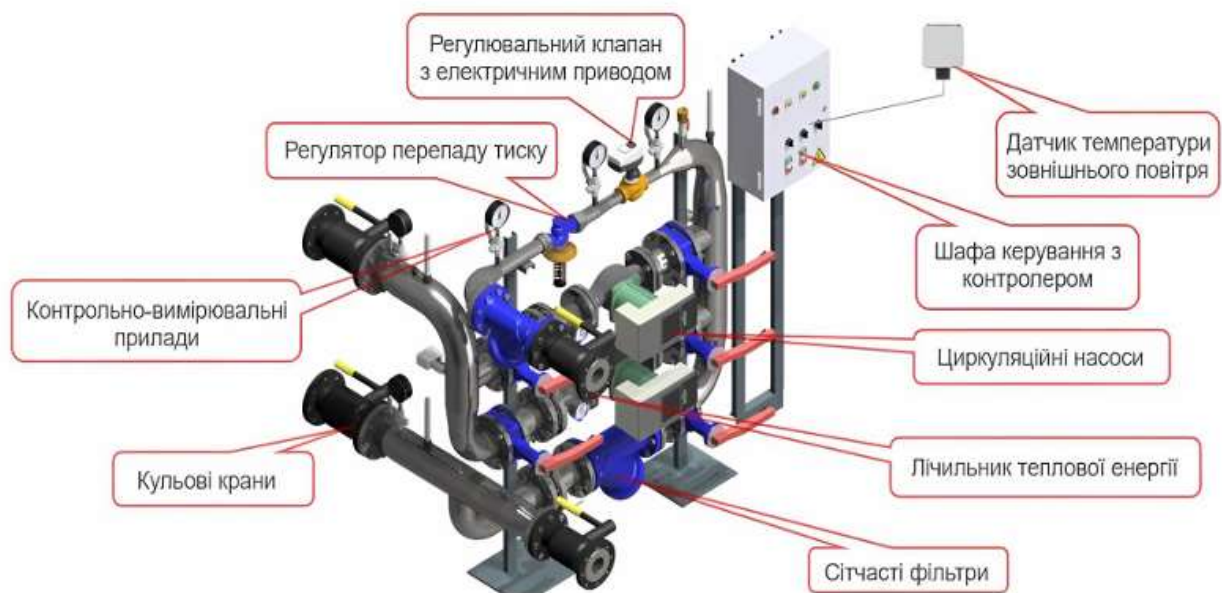


Рисунок 2.2.13 – Комплектація ІТП (залежна схема) [73]

Регулятор теплового потоку за погодними умовами, що є в складі ІТП, сприймає сигнали від таких датчиків:

- температури зовнішнього повітря;
- температури теплоносія на вході в систему;
- температури внутрішнього повітря;
- температури зворотного теплоносія;
- швидкості вітру (опційно) тощо.

#### 2.2.4 Системи вентиляції

Вентиляція призначена для подавання свіжого повітря, видалення шкідливих виділень, таких як: надлишок теплоти, вологи, шкідливі пари, гази, пил. Крім того, системи вентиляції повинні забезпечити нормовані рівні шуму і вібрації від обладнання систем, вибухопожежобезпеку та охорону атмосферного повітря від викидів шкідливих речовин. Сучасні енергоефективні будівлі, наприклад пасивні будівлі, або NZEB будівлі мають бути герметичними для забезпечення вимог, а це призводить до проблеми недостатньої кількості повітря.

Підтримання якості повітря в приміщеннях – це додаткові витрати, адже чим вищий рівень обміну повітря, тим більше ми за це мусимо платити. Проте згідно будівельних норм потрібно забезпечувати санітарно-гігієнічні вимоги до повітря та нормативну кратність повітрообміну, яку потрібно забезпечувати [73].

Природній повітрообмін включає:

- потік через нещільності у світлопрозорих прорізах, елементах фасаду;
- потік крізь дефлектори, вентиляційні отвори та ін.;
- потік, що забезпечується шляхом провітрювання.

### **Класифікація систем вентиляції**

Залежно від способу, що викликає рух повітря, системи вентиляції поділяються на: природні (гравітаційні) та системи з механічним спонуканням.

За призначенням системи вентиляції поділяються на:

- припливні, що подають повітря у приміщення;
- витяжні, які видаляють повітря з приміщень;
- змішані.

По зоні обслуговування системи вентиляції поділяються на:

- на загальнообмінні (подають/видаляють повітря з усього об'єму);
- місцеві (локальні).

По конструктивному виконанню системи вентиляції поділяються на:

- каналні;
- безканалні.

Перевагами механічної вентиляції порівняно з природною є [44]:

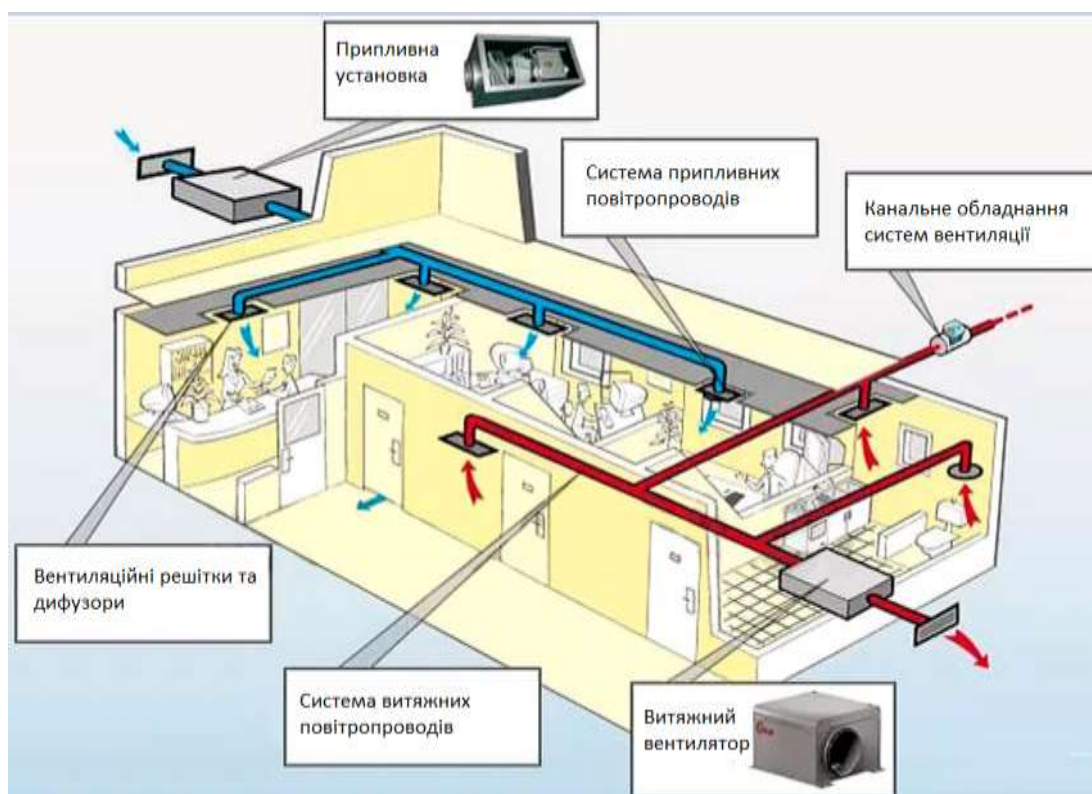
- повітрообмін, який здійснюється незалежно від зовнішніх умов;
- забезпечення подачі повітря у заданій кількості до зони обслуговування;
- можливість очищення від пилу та тепловологісна обробка повітря до заданих параметрів перед його подачею до приміщення.

Суттєвий недолік механічної вентиляції - великі капітальні й експлуатаційні витрати. Остання обставина й визначила практику, що склалася: намагатися вирішити поставлені завдання найперше засобами природної вентиляції [44].

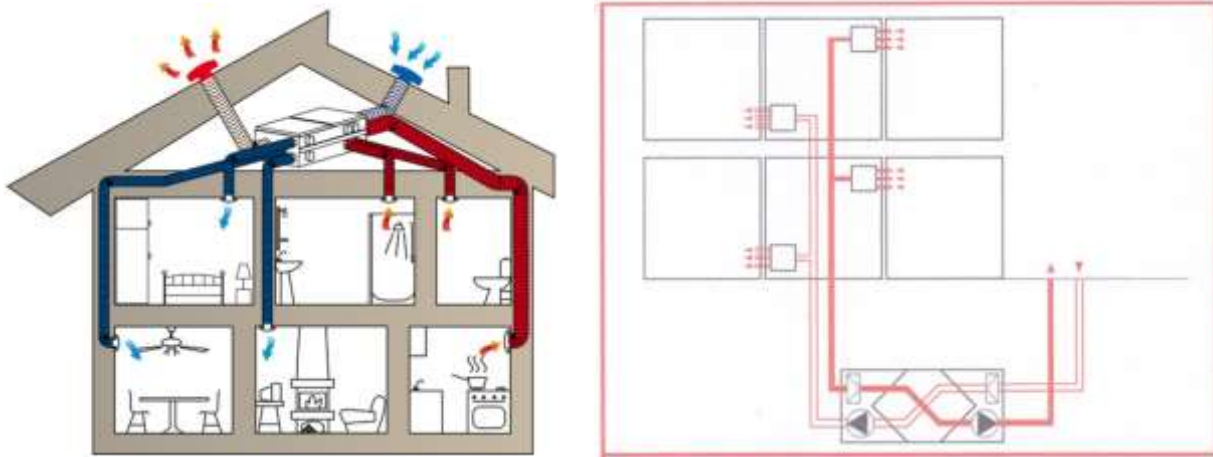
В рекуператорі (теплообмінник повітря-повітря) нагрітий вихідний потік повітря нагріває вхідний, це знижує витрату енергії на нагрівання повітря і зменшує розмір повітрянагрівача, спрощує монтаж. Встановлюють в офісах, громадських, торгових, навчальних та адміністративних установах.

Основні типи систем механічної вентиляції:

- припливна;
- витяжна;
- припливно-витяжна (рис. 2.2.14 а);
- з рекуперацією (рис. 2.2.14 б);
- протидимна;
- виробнича (технологічна);
- з охолодженням;
- із зволоженням та осушенням.



а



б

Рисунок 2.2.14 – Припливно-витяжна система вентиляції [73]

а) без рекуперації [45], б) з рекуперацією (загальний вигляд і план) [46]

Найбільш поширеними технологіями рекуперації та повторного використання теплових скидів є теплообмінники і теплові насоси.

Кімнатний рекуператор повітря (2.2.15) – це теплообмінник, через поверхню якого здійснюється теплообмін: вуличне повітря нагрівається, а кімнатне – охолоджується. В літній сезон рекуператор запобігає проникненню нагрітого повітря всередину приміщення, а в холодний - зберігає енергію [46].



Рисунок 2.2.15 – Побутовий кімнатний рекуператор [46]

**Загальнообмінні системи** найчастіше використовуються саме при експлуатації громадських об'єктів, тоді як **місцеві** більш поширені в приміщеннях спеціального призначення, наприклад, в лікарнях.

Використання **централізованих систем вентиляції** з пластинчатими або роторними рекуператорами, що безпосередньо підігрівають припливне повітря. Такі системи ефективні при новому будівництві з огляду на можливість прокладання вентиляційних каналів, але не дуже підходять для реконструкції існуючих будівель. **Помірно децентралізовані системи вентиляції** на одне або декілька приміщень з пластинчатими рекуператорами. Такі системи дозволяють гнучко керувати потребами в свіжому повітрі і в більшості випадків можуть бути вбудовані в існуючі будівлі (див.рис.2.2.16).

Системи з утилізацією теплової енергії на базі теплових насосів найбільше підходять для будівель, де створюються передумови для утилізації тепла витяжного повітря навіть з так званих «брудних зон», а також для багатоповерхових будинків, де можна ефективно утилізувати тепло витяжного повітря практично без перекладання комунікацій та направляти його для потреб опалення та гарячого водопостачання.

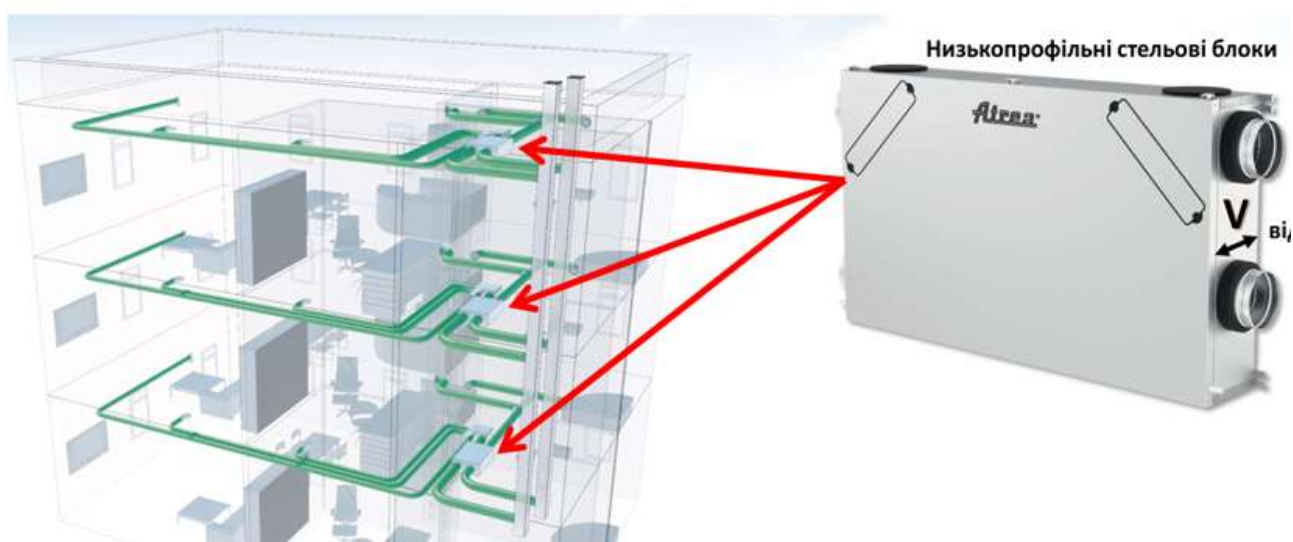


Рисунок 2.2.15 – Помірно децентралізована система вентиляції [73]

## 2.2.5 Системи кондиціонування

**Кондиціонування повітря** - автоматична підтримка в зачинених приміщеннях усіх або окремих параметрів повітря (температури, відносної вологості, швидкості руху, чистоти) з метою забезпечення, головним чином, оптимальних мікрокліматичних умов.

При проєктуванні енергоефективних та розумних будівель в першу чергу доцільно використовувати *системи затінення і пасивного охолодження*, що мінімізували б потреби в кондиціонуванні. Такі системи можуть бути як стаціонарними (архітектурні елементи на фасадах зі значною інсоляцією) так і рухомі (ролети, маркізи). Також доцільно проєктувати системи з утилізацією скидної теплоти для інших потреб будівлі, в першу чергу гарячого водопостачання (ГВП) [73].

**Місцеві кондиціонери** використовуються для побутових та напівпромислових об'єктів, а також можуть бути автономні та неавтономні.

В *автономних кондиціонерах* вироблення холоду та охолодження повітря здійснюється у самому кондиціонері, у неавтономних – холод виробляється централізовано, потім охолоджуюча рідина надходить до місцевого кондиціонера.

В Україні кондиціонери поставляються компаніями: Panasonic; Samsung; Daikin; LG «Electronic»; Mitsubishi; Delongi; Akira і т. і. До основних типів таких кондиціонерів відносяться моноблочні і так звані спліт-систем. Моноблочні автономні кондиціонери можуть бути віконні та підлогові. В них все перелічене вище обладнання міститься у одному блоці [73].

В *неавтономних системах* кондиціонування повітря є окрема холодильна станція (*чилер*), де охолоджується вода (або водно-спиртовий розчин). Чилер зазвичай розташовується на даху будівлі. Охолоджена вода розподіляється серед місцевих повітроохолоджувачів (фанкойлів), які встановлюються усередині приміщень. Фанкойли (теплообмінник вода-повітря) можуть встановлюватися на підлозі, навішуватися на стіні або стелі, розташовуватися у підшивній стелі..

Фанкойли можуть працювати або тільки на охолодження повітря (двотрубна система), або і на охолодження і на нагрівання повітря (чотиритрубна система) [73].

**Мультизональна система** – універсальна система кондиціонування приміщень з великими площами, яка здатна одночасно працювати на нагрівання та охолодження (рис.2.2.16).

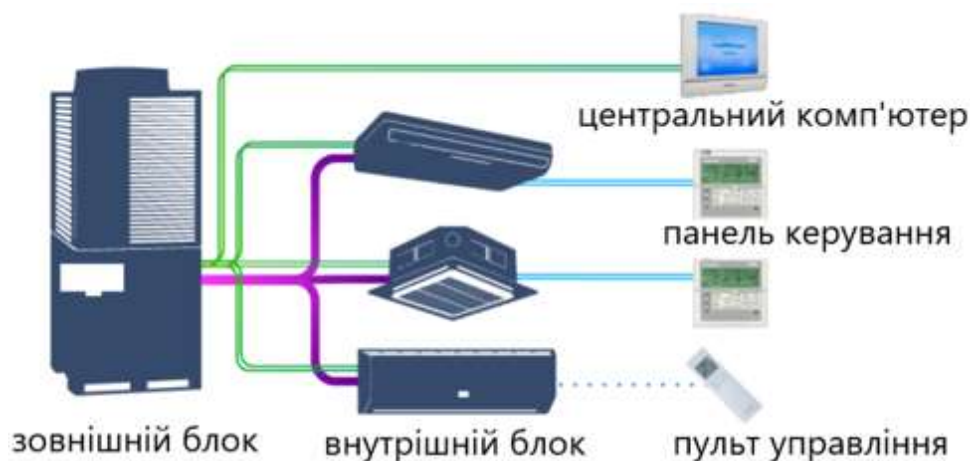


Рисунок 2.2.16 – Мультизональні системи кондиціонування [73]

Системи VRV і VRF забезпечують власникам значну економію електроенергії, коштів і площ.

Системи VRV і VRF повністю автоматизовані і не потребують утримання обслуговуючого персоналу і розраховані на експлуатацію протягом 30 років [73].

Типи мультизональних VRV і VRF систем:

- 2-х трубні (працюють одночасно на охолодження і на нагрівання, оскільки у внутрішній блок одночасно подається або нагрітий, або охолоджений холодоагент);

- 3-х трубні (режим охолодження і нагріву регулюється окремо; один блок може охолоджувати, в той час як інший буде працювати на обігрів).

## 2.2.6 Системи освітлення

Основні показники штучних джерел світла:

- енергетичні: світловіддача лампи, лм/Вт;
- світлотехнічні: світловий (ефективний потік випромінювання лампи, лм;
- електричні: номінальна (активна) потужність лампи, Вт; номінальна напруга лампи, В;
- експлуатаційні:
  - корисний термін служби – середня тривалість роботи до моменту зміни одного з параметрів до величини, більшої за граничну;
  - повний термін служби – час роботи лампи до виходу її з ладу;
  - періодичність чищення лампи, періодичність заміни ламп.

Проект системи освітлення має світлотехнічний та електротехнічний розділи. Зміст розділів і основні аспекти показано на рис. 2.2.17.

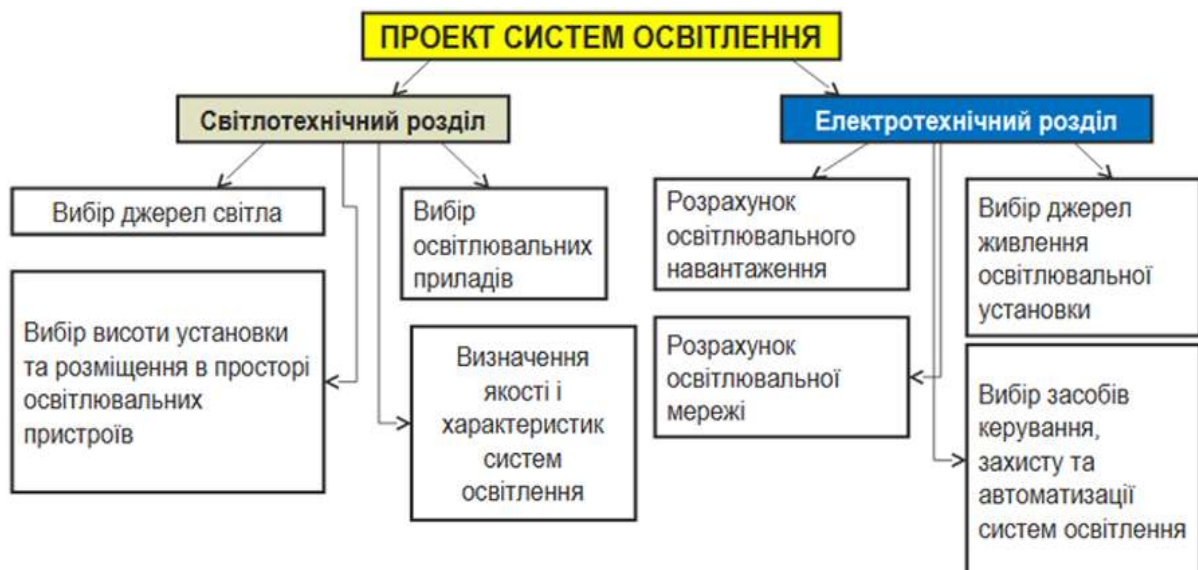


Рисунок 2.2.17 – Склад проекту системи освітлення

Джерело: матеріали ЦПЕМ НН ІЕЕ, курс «Енергоаудит будівель»

Типи штучних джерел світла показано на рис.2.2.18.

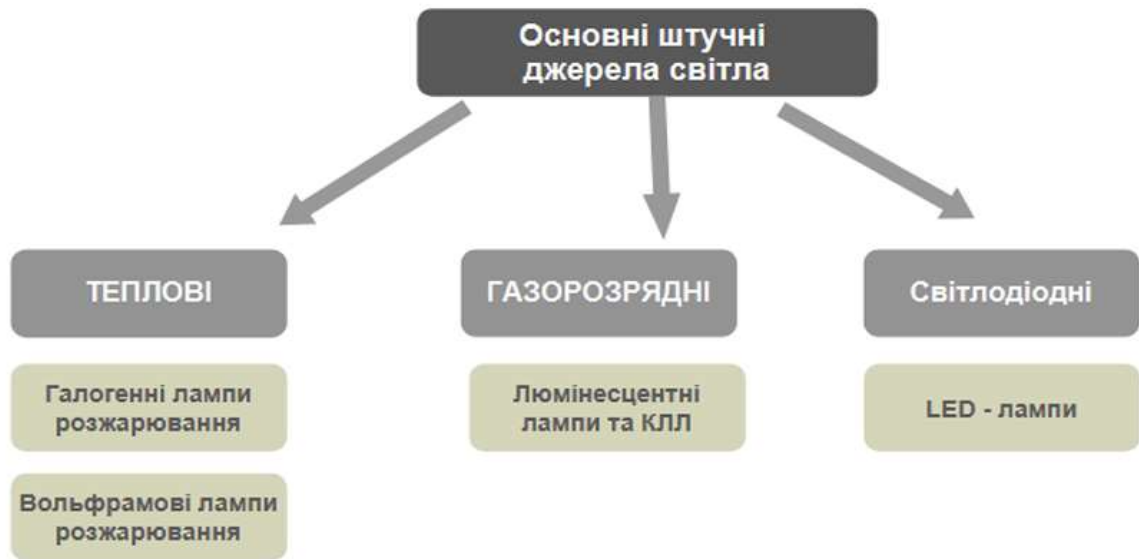


Рисунок 2.2.18 – Типи штучних джерел світла

*Джерело: матеріали ЦПЕМ НН ІЕЕ, курс «Енергоаудит будівель»*

При виборі ламп враховують такі параметри:

- необхідна яскравість (інтенсивність освітлення);
- умови експлуатації (температуру, вологість, тощо);
- естетичність, дизайн світильників;
- колірна температура (здатність передавати кольори освітлювальних об'єктів);
- термін служби (виходячи із щодобового і річного напруцювання);
- частота комутації (кількість операцій вкл./відкл. в день);
- час пуску і прогріву лампи (проміжок часу, за який лампа досягає максимальної яскравості);
- можливість світлорегулювання;
- розмір, сумісний із наявними світильниками (цоколь);
- розсіяне або точкове освітлення, висота монтажу (високо/низько);
- безпека, простота обслуговування;
- повна вартість (інвестиції і експлуатаційні затрати).

Рекомендовані заходи з енергозбереження в системах освітлення, які можуть бути рекомендовані для будівель, наведено на рис. 2.2.19.



Рисунок 2.2.19 – Заходи з енергозбереження в освітленні

Джерело: матеріали ЦПЕМ НН ІЕЕ, курс «Енергоаудит будівель»

### 2.2.7 Розумний будинок

«Розумний будинок» - комплексне системне рішення щодо автоматизації управління пристроями в будинку, а також на прилеглий території (рис.2.2.20).

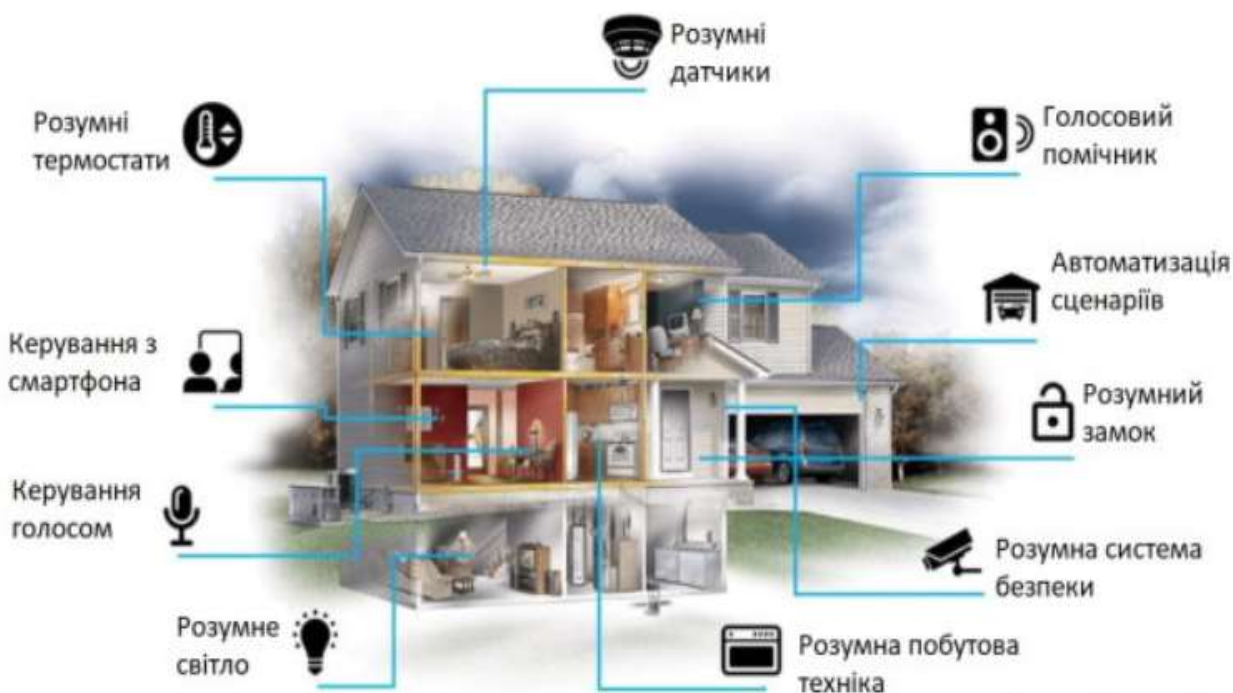


Рисунок 2.2.20 – Розумний будинок [49]

**Концепція розумного будинку** полягає у реалізації принципів:

- підвищення безпеки відеоспостереження (протипожежні датчики, сигналізація, система антизламу, датчики диму, газу, води)
- підняття комфорту життя: мікроклімат (підтримання необхідних параметрів і забезпечення охолодження, опалення, осушення, зволоження, рівень освітлення); розваги (автоматичні вимикачі, музика, кіно і т.і).
- оптимізація ресурсоспоживання.

Розумний дім– це будинок, що обладнано сучасними технологічними пристроями. Вони дають змогу автоматизувати більшість аспектів нашого життя. Переваг такої інновації дуже багато [48]:

- ефективність використання ресурсів. автоматизація дозволяє оптимізувати споживання енергії та води, що веде до зменшення витрат. Крім того, сучасні технології більш безпечні та продумані;

- комфорт: автоматизація багато рутинних задач;

- зручність керування всіма системами будинку з використанням лише невеликого смартфона, планшета або голосових команд;

- Safety First: системи безпеки розумного будинку, такі як відеоспостереження, протипожежні датчики, сигналізації дозволяють контролювати ситуацію тоді, коли власників немає вдома;

- підвищена ліквідність такої оселі під час продажу: впровадження технологій розумного будинку може підвищити вартість нерухомості, оскільки вона вже оснащена сучасним обладнанням.

Серед недоліків розумного будинку можна виділити:

- необхідність значних фінансових вкладень в обладнання.
- не виключені збої в роботі системи під впливом негативних факторів, перепадів електропостачання та інших параметрів;
- ймовірний витік даних, які закладені в систему.

## Питання для самопідготовки

1. Назвіть приклади безвитратних, низько- та високовитратних заходів з підвищення енергоефективності в існуючих будівлях.
2. Енергетичні показники яких інженерних систем розраховуються при виготовленні енергетичного сертифікату будівлі?
3. Які вимоги висуваються до систем опалення будівель? Як підбирається площа нагрівальних приладів (послідовність дій)?
4. Наведіть класифікацію систем опалення.
5. Вкажіть основні аспекти проєктування систем опалення сучасних будівель (схеми, особливості).
6. Місцеве регулювання теплового потоку: радіаторні терморегулятори. Склад, принцип дії, вимоги до встановлення.
7. Вкажіть типи опалювальних приладів, переваги і недоліки.
8. Вкажіть типи підлогового опалення і вимоги при облаштуванні.
9. Як може бути реалізовано електроопалення в приватному будинку?
10. Система термоактивних будівельних конструкцій TABS.
11. Що означає ІТП? Схеми приєднання до центрального теплопостачання і основні елементи.
12. Наведіть визначення і класифікацію систем вентиляції.
13. Приклади механічних систем вентиляції.
14. Особливості облаштування систем кондиціонування в будівлях
15. Основні показники штучних джерел світла.
16. Склад проєкту системи освітлення будівлі.
17. Які параметри враховують при виборі ламп?
18. Порекомендуйте заходи з енергозбереження в освітленні будівлі.
19. Що таке «розумний будинок» на вашу думку? Основна концепція?
20. Вкажіть переваги і недоліки «розумного будинку».

## 2.3 Енергетичний менеджмент та ефективна експлуатація будівель

### 2.3.1 Енергоменеджмент: загальні аспекти

Однією з важливих властивостей енергії, як ресурсу, є те, що організація-споживач енергії може керувати та контролювати ефективність використання цієї енергії. Організації повинні рухатися до більш ефективного використання енергії та отримання енергії з більш стійких джерел. Їм потрібно застосовувати вдосконалені практики управління енергією. Майже не існує компаній, які не можуть суттєво скоротити енерговитрати, впроваджуючи невеликі зміни у використанні енергії. Для досягнення бажаних результатів у сфері енергоефективності не достатньо лише впроваджувати відповідні заходи, а потрібно також систематично здійснювати управління енергоспоживанням, основна задача якого - зниження витрат на енергоресурси при їх споживанні за необхідної (достатньої) кількості та якості. З цією метою в міжнародній практиці на будь-якому виробничому чи комерційному об'єкті створюється системи енергоменеджменту (СЕНМ), основною метою функціонування якої є систематичне, цілеспрямоване підвищення енергетичної ефективності господарювання при одночасному раціональному використанні всіх інших ресурсів та виконанні всіх вимог сталого розвитку [50].

У 2011 році прийнято стандарт ISO 50001:2011 року (E) «Energy management systems - Requirements with guidance for use». Мета - надати можливість організаціям розробити системи, необхідні для поліпшення енергетичної результативності, включаючи енергетичну ефективність, використання і споживання енергії. Стандарт був призначений для компаній будь-якого типу.

*Енергоменеджмент* - це сфера діяльності, яка пов'язана з управлінням енерго- ресурсоспоживання, ефективний інструмент постійного підвищення енергоефективності. Основним інструментом процесу постійного поліпшення, який найшов своє відображення в світових стандартах з енергоменеджменту, є **цикл PDCA** – це безперервний процес удосконалювання діяльності, наданий у

вигляді циклічної послідовності чотирьох етапів Plan (планування), Do (виконання), Check (перевірка), Act (дії) – цикл Демінга-Шухарта.

Відповідно до постанови КМУ №1460 від 23.12.2025 Служба енергоменеджменту (СЕНМ) створюється в усіх органах *державної влади*, в установах, організаціях, комунальних підприємствах. Згідно ЗУ «Про енергоефективність» *на підприємствах* потрібно проводити енергоаудит 1 раз на 4 роки, або здійснювати сертифікацію СЕНМ за міжнародним стандартом ISO 50001 «Система енергетичного менеджменту».

*Ключові елементи для впровадження успішної СЕНМ (рис. 2.3.1):*

- енергетична політика з чіткими цілями;
- правильно сформульовані та поставлені завдання та обов'язки;
- достатня кількість ресурсів для підтримки системи менеджменту;
- регулярна документація та обмін інформацією щодо досягнутого прогресу завдяки енергетичному менеджменту;

- участь всіх зацікавлених сторін та роз'яснювальна робота серед співробітників та мешканців міста, робота з громадськістю;

- мобілізація різних видів діяльності (залучення стейкхолдерів).

Надзвичайно важливим є також реалізація пілотних проєктів, на яких відпрацьовується механізми впровадження енергоефективних проєктів (виступають в якості зразка для наслідування і масштабування).

Обов'язкові етапи для ефективного функціонування СЕНМ:

- розробка енергетичної політики і програми енергозбереження;
- розробка програми (проєкту) впровадження СЕНМ;
- формування служби енергоменеджменту (ресурси, повноваження);
- проведення енергоаудитів;
- впровадження комплексу енергетичного моніторингу;
- створення комплексу внутрішніх стандартів;
- розробка програм мотивації, інформування персоналу;
- навчання персоналу в сфері енергозбереження;
- проведення сертифікації СЕНМ.



Рисунок 2.3.1 – Діяльність у сфері енергоменеджменту за ISO 50001

Побудова СЕНМ повинна включати різні складові (див рис.2.3.2).



Рисунок 2.3.2 – Основні складові СЕНМ

Процес впровадження енергоефективних проєктів має кілька етапів (рис.2.3.3), і на кожному з них свою роль відіграють енергоменеджери:

- входять до складу груп реалізації проєктів,
- беруть участь у плануванні енергетичних цілей та завдань для їх досягнення; створюють базу даних по об'єктах;
- проводять енергетичний моніторинг, аналіз і оперативний контроль;
- встановлюють базовий рівень енергоспоживання;
- проводять навчання щодо підвищення обізнаності та кваліфікації персоналу; навчаються на тренінгах самостійно;
- здійснюють документування і систематизацію інформації;
- беруть участь у створенні технічних завдань на послуги з проєктування та енергоаудиту; здійсненні закупівель обладнання, енергоресурсів;
- проводять внутрішній аудит відповідності вимогам ISO 50001;
- створюють звітність і доповідають з вищому керівництву.



Рисунок 2.3.4 - Етапи впровадження енергоефективних проєктів

Джерело: матеріали тренінгу для територіальних громад «Основи проєктного менеджменту при впровадженні проєктів підвищення енергоефективності в громадах», GIZ

Таким чином, впровадження енергоефективних проєктів відбувається відповідно до вимог циклу цикл PDCA (рис.2.3.5, на рисунку зображено лише деякі з завдань, що виконуються в рамках певного етапу).



Рисунок 2.3.4 - Впровадження енергоефективних проєктів відповідно до циклу PDCA

*Джерело: матеріали тренінгу для енергоаудиторів будівель, TEAD*

### 2.3.2 Базовий рівень енергоспоживання будівель

Існують різні підходи до визначення базового рівня:

- за фактичними даними енергоспоживання;
- за фактичними даними, приведеними до стандартних погодних умов;
- розрахунковий метод.

Наведемо нижче два визначення базового рівня в будівлях, що наведено в нормативно-правових документах України.

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

**базове енергоспоживання (base line)** – це кількість енергії, яку споживає будівля в розрахункових умовах внутрішнього мікроклімату в будівлі та зовнішнього середовища при проєктних характеристиках функціонування відповідних інженерних систем будівлі.

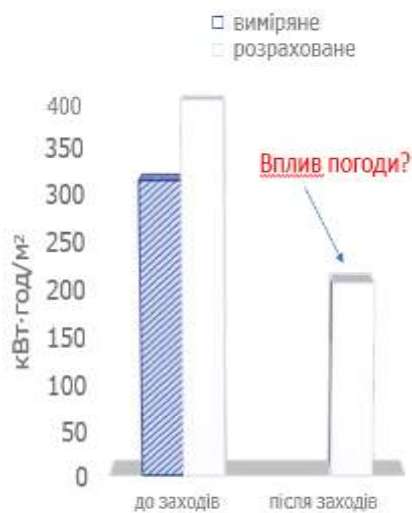
Закон України «Про запровадження нових інвестиційних можливостей, гарантування прав та законних інтересів суб'єктів підприємницької діяльності для проведення масштабної енергомодернізації» (Закон «Про ЕСКО»):

**базовий рівень енергоспоживання** - усереднене значення фактичного річного споживання енергоресурсів, згідно показів приладів комерційного обліку за три роки, що передують року, в якому здійснюється публічна закупівля енергосервісу.

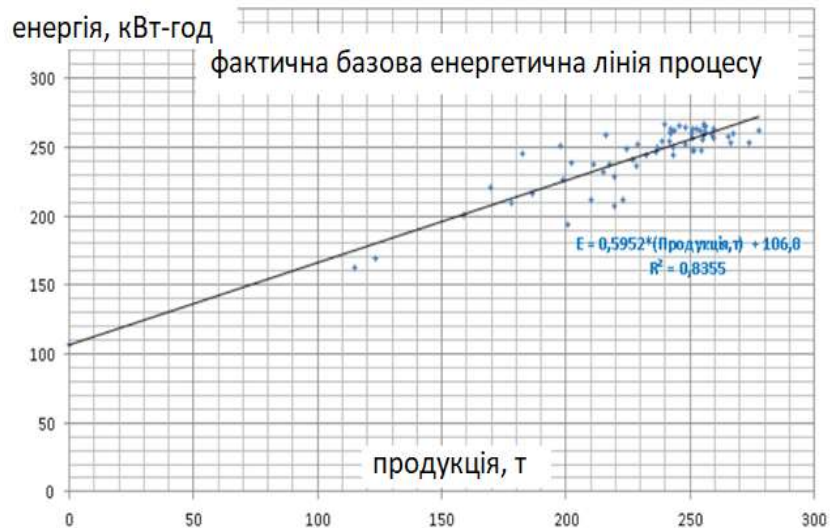
Фактори, що враховуються при визначенні базового рівня в будівлях (рис.2.3.6а):

- температура внутрішнього повітря (важливо для теплової енергії);
- повітрообмін;
- час роботи обладнання в інженерних системах;
- одночасну потужність (освітлення та інше обладнання);
- відсутність роботи системи до початку впровадження (наприклад, відсутнє гаряче водопостачання (ГВП), не працювала вентиляція);
- нехарактерні періоди (аварія, відключення через військові дії, карантин).

Основний метод визначення базового рівня енергоспоживання (промисловість, підприємства і організації) – регресійний аналіз (рис.2.3.6). Виконується аналіз технологічних процесів, відбувається побудова енергобалансів, вивчаються режими роботи, враховуються характеристики обладнання, кількість споживачів, обсяг продукції/послуг, а потім будуються регресійні залежності з аналізом найбільш впливових факторів на споживання.



а



б

Рисунок 2.3.6 – Визначення базового рівня: а – будівлі, б – процеси

### 2.3.3 Енергетичний аудит

**Енергетичний аудит** – систематизований аналіз використання та споживання енергії у визначених межах, з метою визначення рекомендованих заходів, їх кількісного вираження та підготовки звіту про можливості підвищення рівня енергоефективності. Міжнародний стандарт ISO 50002 розраховує три типи енергоаудиту: експрес-аудит, детальний аудит, комплексний аудит інвестиційного класу. Рівень деталізації, тривалість енергоаудиту та його вартість визначається видом аудиту. Виконують енергоаудит лише сертифіковані фахівці, в Україні відкрита база даних енергетичних аудиторів (про це детальніше було сказано в розділі 1 даного курсу).

Об'єктами енергоаудиту промислового підприємства можуть бути:

- окремі підрозділи
- технологічні процеси основних і допоміжних виробництв
- суттєві (енергоємні) споживачі ПЕР
- системи енергозабезпечення
- будівлі та споруди
- система обліку та контролю використання ПЕР

- система енергетичного менеджменту тощо

Об'єктами енергоаудиту згідно EN 16247-1 можуть бути: будівля, устаткування, система, процес, транспортний засіб, послуга.

Мета і завдання проведення енергоаудиту:

- визначення джерел нераціональних втрат енергії
- визначення потенціалу енергозбереження та розробка заходів
- оптимізація енергобалансів та підвищення рівня енергоефективності
- заощадження коштів на оплату енергоресурсів
- визначення рівня класу енергетичної ефективності і виготовлення енергосертифікату будівлі (якщо це входить в техзавдання на аудит);
- покращення мікроклімату та теплового комфорту;
- скорочення емісії CO<sub>2</sub>.

Результат роботи енергоаудитора – підготовлений звіт, який містить:

- опис існуючої ситуації, процесів, діяльності;
- аналіз режимів роботи, побудова енергобалансів, експериментальні виміри за допомогою приладового забезпечення (тепловізори та ін.);
- визначення найбільш проблемних місць і розробка пропозицій щодо покращення ситуації;
- рекомендовані заходи, які технічно та економічно обґрунтовані;
- можливі додаткові розділи: календарний план впровадження, інструкції з обслуговування обладнання, навчання персоналу, тощо.

В Україні буде створено базу даних витягів зі звітів з енергоаудиту підприємств, моніторинг здійснює ДАЕЕ. База даних енергетичних сертифікатів будівель розташовано на Порталі будівельної діяльності, енергетичні аудитори будівель завантажують дані через електронні кабінети.

Наявність звіту з енергоаудиту часто є необхідною умовою для отримання фінансування на впровадження заходів з підвищення енергоефективності. Наприклад, для участі в програмі «Енергодім» Фонду енергоефективності ОСББ повинно завантажити на сайт фонду Форму опису проєкту (по суті, це звіт з енергоаудиту) та енергетичний сертифікат будівлі, що описує існуючий стан. А

після реалізації проєкту для отримання чергового грошового траншу потрібно виготовити ще один енергетичний сертифікат реконструйованої будівлі.

Що дає енергоаудит:

- аналіз існуючого стану, «слабкі місця», баланс потоків та витрат;
- можливість залучення фінансування за інвестиційними програмами;
- перелік конкретних заходів (як організаційних, так і технічних);
- фінансова оцінка доцільності, пріоритетність впровадження заходів;
- енергетичний сертифікат будівлі (офісна, громадська, житлова);
- можливість планування витрат, енергомоніторинг;
- систематизовані статистичні дані для інших звітів, наприклад для формування наступних заявок на фінансування за іншими програмами;
- база даних для прийняття рішень.

Термін дії звіту з енергоаудиту – 3-5 років (залежно від інвестора), термін дії енергетичного сертифікату будівлі – 10 років.

### ***Енергоаудит та енергоменеджмент - в чому відмінність?***

Енергетичний аудит – це разова процедура, метою якої є оцінка резервів економії паливно-енергетичних ресурсів (ПЕР) та розробка найбільш технічно та економічно доцільних заходів щодо підвищення ефективності. Енергетичний аудит використовується як один із інструментів енергоменеджменту.

Енергетичний менеджмент – це постійна діяльність, що включає сукупність управлінських прийомів для стимуляції збільшення енергоефективності.

### **2.3.4 Енергомоніторинг і енергетичні баланси**

**Енергетичний моніторинг** – створення інформаційної бази даних енерго- та ресурсоспоживання для:

- документування даних в структурованому вигляді,
- отримання картини про енергетичні потоки (знання, скільки енергії використовується в різних підрозділах/ частинах),
- своєчасного реагування на істотні зміни,

- здійснення ефективних заходів на основі постійного контролю.

*Моніторинг передбачає:*

- збір і накопичення статистичної інформації (створення інформаційної бази даних для подальшого прийняття рішень енергоменеджера);

- поточний аналіз та виявлення «слабких місць»; планування витрат;

- виявлення помилок, аварійних ситуацій;

- мотивацію персоналу щодо ефективного енерговикористання.

*Контроль передбачає:* перевірку якості (достовірності) даних і дотримання встановленого рівня витрат / параметрів / графіків; дотримання лімітів, діагностика стану обладнання і реагування на аварійні ситуації, звітування.

На рис. 2.3.7 показана ET-крива (енергія-температура) як один із інструментів роботи енергоменеджера, коли у разі виходу за межі інтервалу і наявності значних відхилень від запланованого рівня витрат потрібна негайна реакція для оцінювання ситуації.

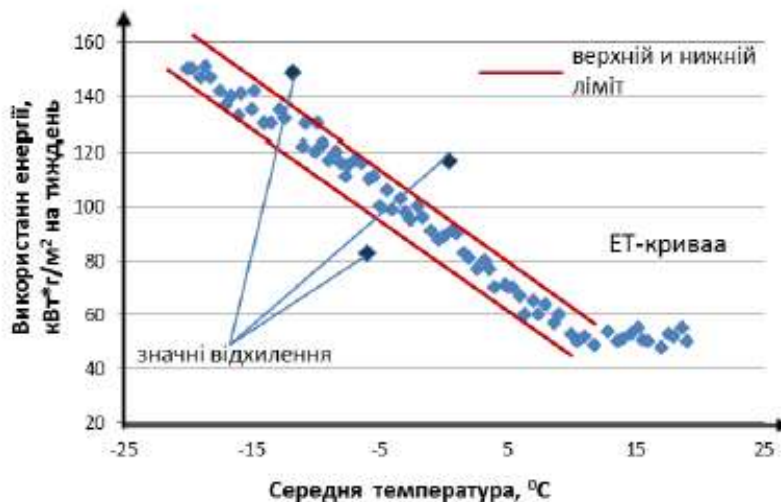


Рисунок 2.3.7 – Інструмент роботи енергоменеджера (ET-крива)

Системи управління енергоспоживанням повинні забезпечувати:

- постійний контроль за споживанням всіх видів енергоресурсів;

- контроль за параметрами мікроклімату в приміщеннях;

- перерозподіл енергоресурсів до реальних потреб будівлі для мінімізації первинного споживання (в т.ч. з використанням систем накопичення енергії);

- допомогу в прийнятті рішень для служб експлуатації.

Під час аналізу оцінюються:

- абсолютні показники за три останні роки в розрізі місяць/тиждень/рік;
- питомі показники: кВт-год/м<sup>2</sup>, кВт-год/м<sup>3</sup>, м<sup>3</sup>/особу, м<sup>3</sup>/підрозділ, т.у.п./м<sup>2</sup>, Гкал/градусо-день;
- нормативні показники споживання енергії/ресурсів - м<sup>3</sup>/особу, кВт-год/м<sup>2</sup>;
- нормативні параметри експлуатації: температура / вологість / об'єм / тиск / напруга / м<sup>3</sup>;

- дотримання лімітів.

Побудова енергобалансів для будівель може відбуватися:

- за видами ресурсів (теплова енергія, пара, електроенергія, вода);
- за видами палива (вугілля, природний газ, пелети, сонячна енергія);
- за видами навантажень (опалення, вентиляція, гаряче водопостачання, електроспоживання, охолодження);
- за споживачами.

На рис. 2.3.8 показано приклад графічного представлення енергобалансів.

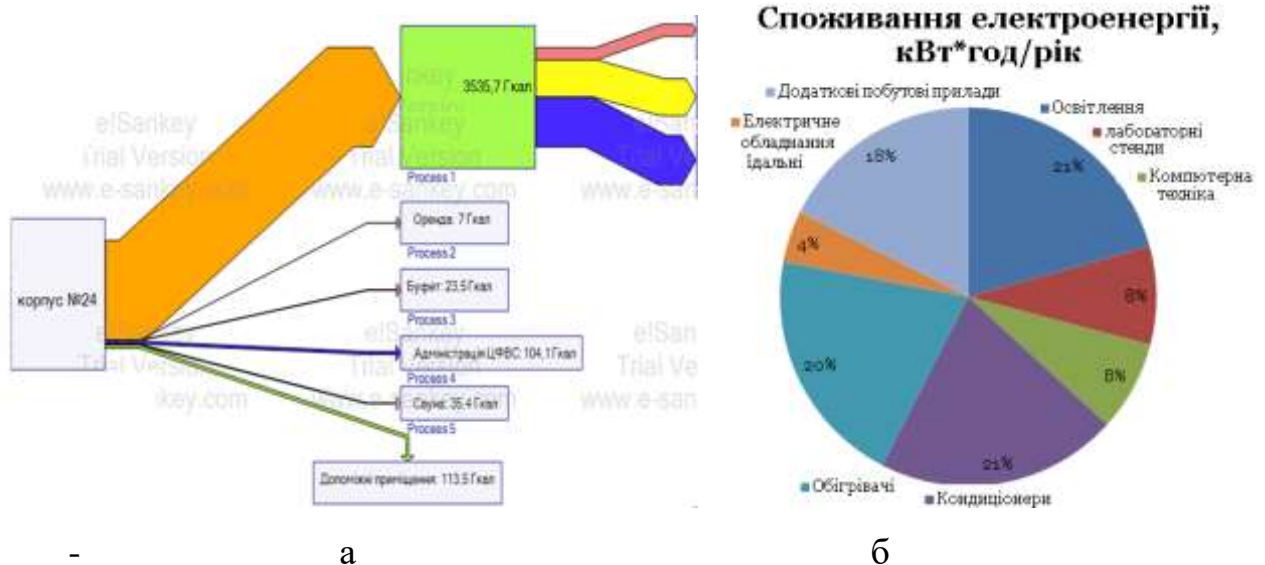


Рисунок 2.3.8 – Приклади графічного представлення енергетичних балансів:

а – діаграма Сенкей, б – кругова діаграма

### 2.3.5 Прилади обліку. Автоматизовані системи обліку

Збір даних доцільно здійснювати за допомогою лічильників. Розрізняють:

- комерційний облік – кількісні та якісні показники, виміряні вузлом обліку, на підставі яких проводяться розрахунки;
- технічний облік – по споживачу / відділу / потоку / агрегату;
- автоматизований збір даних енергоносіїв/ресурсів/параметрів (технічний та комерційний облік).

*Вузол комерційного обліку* - вузол обліку, що забезпечує загальний облік споживання відповідної комунальної послуги в будівлі, її частині (під'їзді), обладнаній окремим інженерним вводом

*Вузол розподільного обліку* - вузол обліку, що забезпечує індивідуальний облік споживання відповідної комунальної послуги в будівлях, де налічуються два та більше споживачів.

Прилади обліку виконують функції: вимірювання, накопичення, зберігання, відображення інформації.

Виділяють наступні **особливості системи автоматичного обліку:**

- збір даних (ручний/автоматичний),
- можливість розширення,
- можливість підключення до наявного програмного забезпечення,
- можливість дистанційного управління,
- модулі автоматизованого аналізу даних,
- розмежування прав доступу,
- візуалізація режимів роботи обладнання,
- інтеграція з системами інших виробників (в т. ч. постачальників),
- зворотній зв'язок з персоналом та візуалізація нештатних ситуацій.

На рис.3.2.2 показано основні елементи системи автоматизованого моніторингу. Складові системи автоматизованого моніторингу: модулі вводу інформації, модулі передачі даних, модулі бази даних, модулі аналізу.



а

м.Київ, бул. Вигурівський, 13-Б корпус		СКЕМА	ID:31	Розташування
Загальна S, м²	4542	<input checked="" type="checkbox"/>	Поточний стан 	
Опалювальна S, м²	4542	<input checked="" type="checkbox"/>	Клас енергоефективності 	
Загальний V, м³	11280	<input checked="" type="checkbox"/>	Фотогалерея 	
Опалювальний V, м³	11280	<input checked="" type="checkbox"/>		
Персонал	64	<input checked="" type="checkbox"/>		
Відвідувачі	390	<input checked="" type="checkbox"/>		
Постійно присутні	1	<input checked="" type="checkbox"/>		
Режим роботи	12	<input checked="" type="checkbox"/>		
Поверхи	3	<input checked="" type="checkbox"/>		
Рік побудови	1988	<input checked="" type="checkbox"/>		
Договірне навантаження				
Теплова енергія		Електроенергія		Холодна вода
Постачальник:	МБРТ-6	Постачальник:		Постачальник:
Договір:	690044 <input checked="" type="checkbox"/>	Договір:	<input checked="" type="checkbox"/>	Договір:
Рахунок:	1630105 <input checked="" type="checkbox"/>	Рахунок:	<input checked="" type="checkbox"/>	Рахунок:
Опалення, ГКал/г	0.317 <input checked="" type="checkbox"/>	Електро ввід, кВт	<input checked="" type="checkbox"/>	Ввод води, мм
ГВП, ГКал/г	0.149 <input checked="" type="checkbox"/>			
Віддача, Гкал/г	0.699 <input checked="" type="checkbox"/>			

б

Рисунок 2.3.9 – Автоматизована система моніторингу (АСЕМ)

а – складові системи, б – робоче вікно загальні дані (інтерфейс)

Приклади програмних комплексів для автоматизованого моніторингу, що використовують енергоменеджери міст в Україні:

- EnergyPlan,
- ФІАТУ,
- АСЕМ та інші.

## Питання для самопідготовки

1. Що означає термін цикл PDCA (цикл Демінга-Шухарта) в контексті розбудови СЕнМ? Поясніть термін «енергетичний менеджмент».
2. Що ви знаєте стосовно законодавчих вимог до впровадження енергоменеджменту на підприємствах і в державних організаціях?
3. Ключові елементи для впровадження успішної СЕнМ?
4. Які складові має система енергоменеджменту? Надайте пояснення.
5. Наведіть етапи впровадження енергоефективних проєктів.
6. Поясніть термін «базовий рівень енергоспоживання».
7. Поясніть термін «енергетичний аудит». Об'єкти енергоаудиту.
8. Поясніть відмінність між енергоаудитом та енергоменеджментом.
9. Для чого виконується енергомоніторинг? Що передбачає?
10. Поясніть, як проводиться аналіз даних енерго- ресурсоспоживання та побудова енергобалансів? Наведіть приклади.
11. Наведіть особливості системи автоматизованого обліку? Складові елементи системи.

## 2.4 Проектування та реконструкція з урахуванням вимог енергоефективності та охорони довкілля

### 2.4.1 Організація проєктної діяльності в Україні

Проектування об'єктів (цивільного і виробничого призначення) відбувається у наступній послідовності: громадське обговорення розвитку території, затвердження генерального плану, розробка проєктно-кошторисної документації, проведення тендерних процедур по закупівлі робіт/послуг, виконання будівельно-монтажних робіт, виконання авторського і технічного нагляду за будівництвом, введення в експлуатацію. Потім відбувається етап експлуатації, у разі необхідності відбувається розробка проєкту реконструкції.

Нижче перераховано основні вимоги ДБН «Територіальна забудова» під час розробки проєктів будівельного фонду *враховують такі фактори*: висотність, щільність забудови; відстані від сусідніх будівель, ділянок, доріг; зелена зона, транспортна розв'язка; інженерні комунікації; паркування авто; інсоляція; доступ для інвалідів, соціальні об'єкти.

**Проектна документація** – сукупність необхідних документальних матеріалів для будівництва, що вміщують креслення, розрахунки, макети, схеми, обґрунтування прийнятих рішень, кошториси та ін. Це затверджені текстові та графічні матеріали, якими визначаються містобудівні, об'ємно-планувальні, архітектурні, конструктивні, технічні, технологічні рішення, а також кошториси об'єктів будівництва. Стадійність проектування визначається замовником.

**Стадії проектування**: ескізний проєкт (ЕП); техніко-економічні обґрунтування (ТЕО); техніко-економічний розрахунок (ТЕР); проєкт (П); робочий проєкт (РП); робоча документація (Р). На стадії ТЕО (ТЕР) розглядається декілька варіантів технічних рішень.

Проектування здійснюється:

- 1) в одну стадію для технічно нескладних об'єктів: РП;
- 1) у дві стадії:

- для об'єктів невиробничого призначення: ЕП або РП;
- для об'єктів виробничого призначення: ТЕО (ТЕР) та РП
- для класу наслідків ССЗ: П та Р;
- 3) в три стадії: ЕП (ТЕО), П, Р.

Для регулювання діяльності в будівництві в Україні введено ліцензування і сертифікація фахівців. *Ліцензується* наступна діяльність: вишукувальні роботи (дослідження ділянки будівництва), будівельно-монтажні роботи (будівництво і монтаж інженерних систем). Для можливості ведення проєктної діяльності фахівець має пройти навчання та отримати іменний *сертифікат проєктувальника*, щоб в подальшому мати можливість розробляти відповідні частини проєкту або розділ «Енергоефективність». Під час проєктування нових енергоефективних будівель та реконструкції, капітальному ремонті і комплексній термомодернізації існуючих будівель вся інформація щодо дозвільних документів, ліцензій, дозволів на виконання робіт, експертних висновків, сертифікатів енергоефективності наводиться на Порталі державної електронної системи у сфері будівництва: <https://e-construction.gov.ua/>

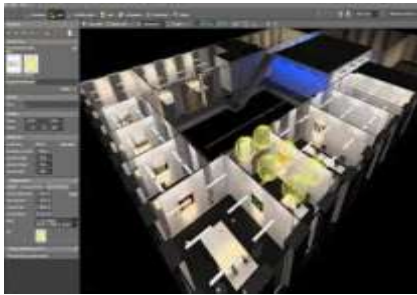
#### **2.4.2 Проєктування інженерних систем будівель**

Інженерні системи, які розробляються під час розробки проєкту:

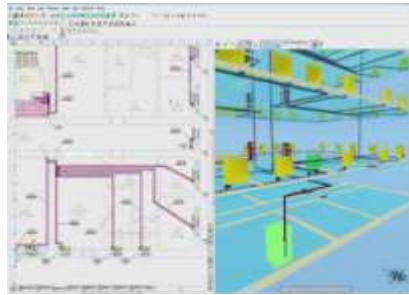
- система теплопостачання та гарячого водопостачання;
- система генерації та розподілу;
- система опалення вентиляції та кондиціонування (ОВК);
- система генерації та розподілу пари (для виробничих будівель);
- електропостачання (в т.ч. трансформаторні підстанції, освітлення, енергоємне обладнання, ліфти, насоси, вентилятори, компресори);
- система холодного водопостачання;
- система каналізації, відводу дощової води;
- система охолодження;

- система газопостачання;
- системи безпеки.

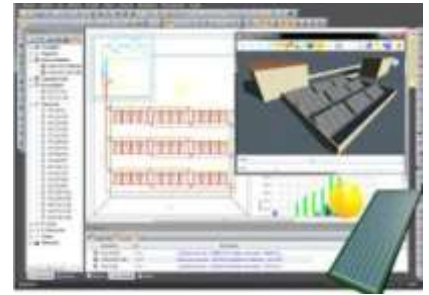
Організація проектування побудована за принципом спеціалізації проектних організацій, при цьому фахівці використовують спеціалізоване програмне забезпечення (рис.2.4.1). Наприклад, Dialux – програмне забезпечення для проектування та розрахунку освітлення. KAN CO (HERZ CO та ін.) – програмне забезпечення для проектування та розрахунку систем опалення, в т.ч. підлогових та панельних систем. Helioscope – розрахункова платформа для моделювання сонячних електростанцій; використовують також інші програмні продукти: System Advisor Model (SAM), PVWatts, PV\*SOL, PVsyst, Alteco.



Dialux



KAN CO



PVsyst

Рисунок 2.4.1 – Використання програмного забезпечення при проектуванні

На сьогодні під час проектування може бути застосоване BIM моделювання (Building Information Modeling) — це інтелектуальний процес створення цифрової 3D-моделі будівлі (рис.2.4.2), що містить не тільки геометричні, а й функціональні дані, які використовуються протягом усього життєвого циклу об'єкта: від планування та проектування до будівництва, експлуатації та обслуговування. Ця методологія дозволяє ефективно керувати інформацією, покращувати співпрацю між учасниками проекту, оптимізувати витрати, зменшувати помилки та підвищувати загальну якість будівництва.

Нижче на рис. 2.4.2 показано проект нової будівлі вищої музичної школи New World Symphony у Майамі (США) архітектора Френка Гері, розроблений за

технологією BIM (початок проектування у 2006). Окремо показані компоненти єдиної моделі: зовнішня оболонка будівлі, каркас, комплекс інженерного обладнання та внутрішня організація приміщень.

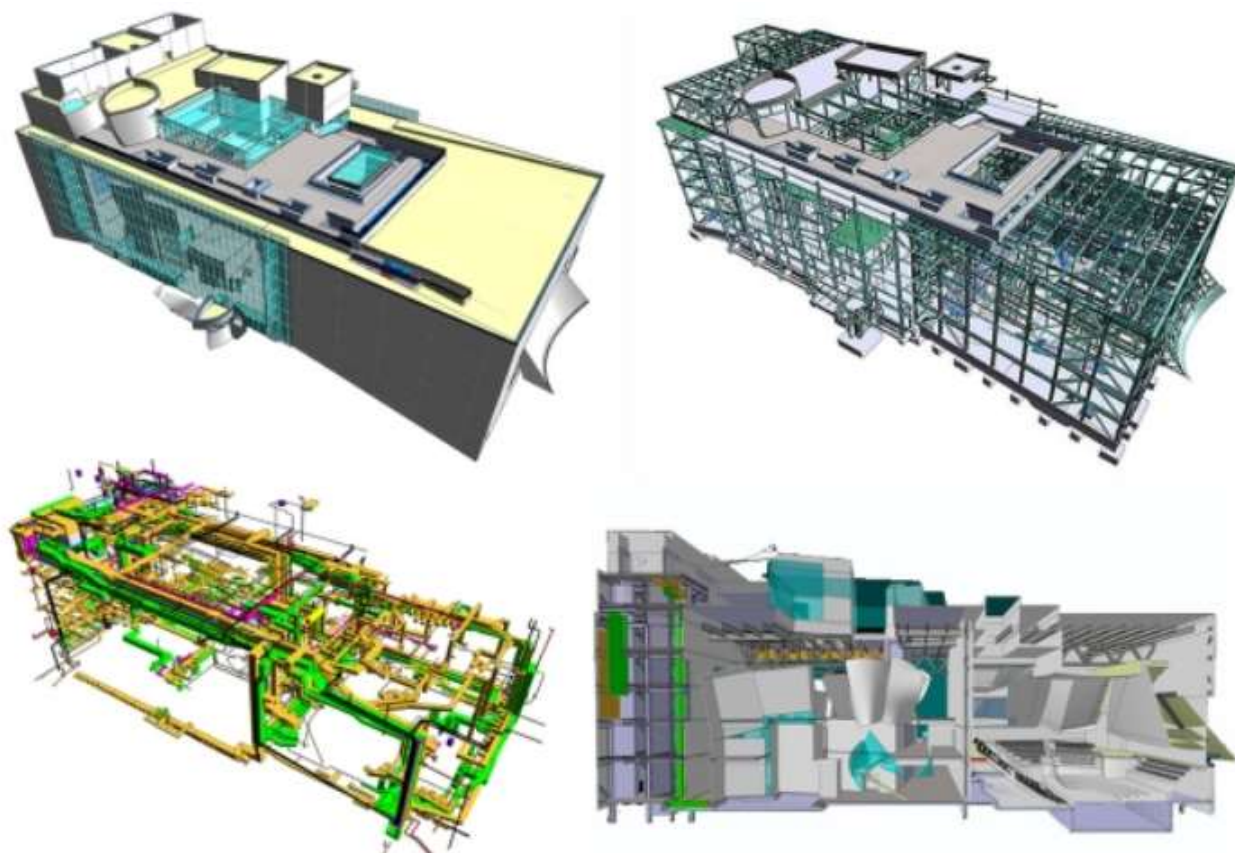


Рисунок 2.4.2 – BIM-модель нової будівлі

### 2.4.3 Проектування систем автоматики і керування

Автоматизація інженерних систем будівель стає все більш актуальною, адже енергоефективність, комфорт і технологічний прогрес тісно переплітаються. Сучасна будівля – це не просто стіни, дах і вікна. Це складна екосистема, де десятки різних систем працюють разом, забезпечуючи комфортне середовище для людей і водночас зберігаючи ресурси. Наприклад, система опалення автоматично підлаштовується до погодних умов, вентиляція реагує на рівень вуглекислого газу, а освітлення регулюється залежно від часу доби та присутності людей. Основна мета автоматизації в цій сфері – створити

комфортне середовище для людей, зробити будівлі енергоефективними та знизити експлуатаційні витрати. Крім того, існують інші системи для підвищення комфортності людини – автоматичне включення музики, кіно, відкриття дверей гаражу за голосовими командами та ін [73].

BACS — це системи автоматизації та управління, які відповідають за автоматичне регулювання окремих інженерних систем будівлі, таких як ОВК, освітлення, водопостачання та інші. Фокусуються на контролі та моніторингу роботи окремих систем будівлі, виконанні алгоритмів для підтримки заданих параметрів (забезпеченні локальної автономності систем без інтеграції їх у загальну платформу. BMS — це інтегрована платформа, яка поєднує всі інженерні системи будівлі для централізованого управління, моніторингу та оптимізації їхньої роботи (рис.2.4.3). BMS включає функціональність BACS [73].

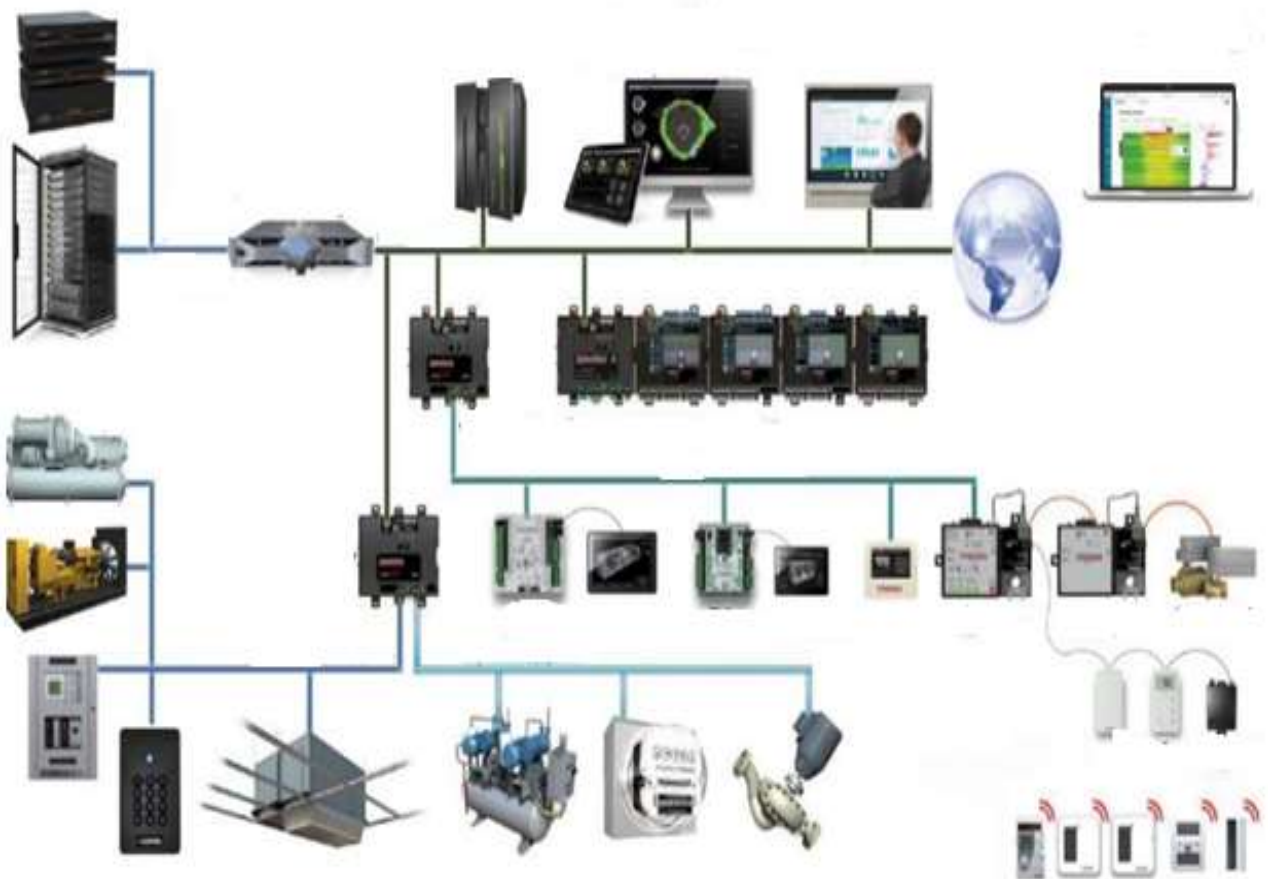


Рисунок 2.4.3 – Типова схема структури BMS [73]

Стандарт ДСТУ EN 15232-1:2017 [55], що відповідає європейському, визначає підходи до забезпечення енергоефективності будівель шляхом впровадження автоматизованих систем управління (англ. Building Automation and Control Systems, BACS).

Стандарт охоплює житлові та нежитлові будівлі, охоплюючи всі інженерні системи, включаючи опалення, вентиляцію та кондиціонування повітря (англ. HVAC – Heating, Ventilation and Air Conditioning), освітлення, гаряче водопостачання та енергопостачання.

Важливим елементом документа є класифікація систем автоматизації за енергетичними класами (А, В, С, D), де найвищий клас А демонструє максимальну ефективність. Рекомендації стандарту спрямовані на інтеграцію систем у концепцію «розумних будівель», моніторинг та оптимізацію робочих процесів, впровадження функцій енергоефективного управління HVAC і освітлення, а також використання сучасних технологій, таких як IoT і аналітика даних. Стандарт [55] також акцентує увагу на необхідності гармонійної інтеграції систем автоматизації.

Наприклад, рекомендується використовувати єдині платформи управління для оптимізації роботи інженерних систем, таких як HVAC та освітлення. Крім того, документ спрямований на сприяння впровадженню технологій Індустрії 4.0, таких як Інтернет речей (IoT), обробка великих даних та штучний інтелект, які забезпечують гнучкість, адаптивність і зручність [73]. Згідно із [55] та класам енергоефективності будівель, правильне застосування автоматизації прямо відбивається на енергозбереженні.

У табл. 2.4.1 показані показники енергоефективності класів А, В і D відносно значень базового класу С.

До прикладу, в офісах класу А можна забезпечити економію до 30 % теплової енергії у порівнянні з базовою малоавтоматизованою системою керування. Будівлі класу D вже не проєктуються (рис.2.4.5), враховуючи вартість життєвого циклу інженерних систем (рис.2.4.6) [73].

Таблиця 2.4.1 – Показники енергоефективності інженерних систем [73]

Тип будівлі	Потенційна економія теплової енергії				Потенційна економія електричної енергії			
	D	C	B	A	D	C	B	A
Офіс	1,51	1	0,80	0,70	1,10	1	0,93	0,87
Школа	1,20	1	0,88	0,80	1,07	1	0,93	0,86
Лікарня	1,31	1	0,91	0,86	1,05	1	0,98	0,96
Готель	1,31	1	0,85	0,68	1,07	1	0,95	0,90
Ресторан	1,23	1	0,77	0,68	1,04	1	0,96	0,92
ТРЦ	1,56	1	0,73	0,60	1,08	1	0,95	0,91
Житло	1,10	1	0,88	0,81	1,08	1	0,93	0,92

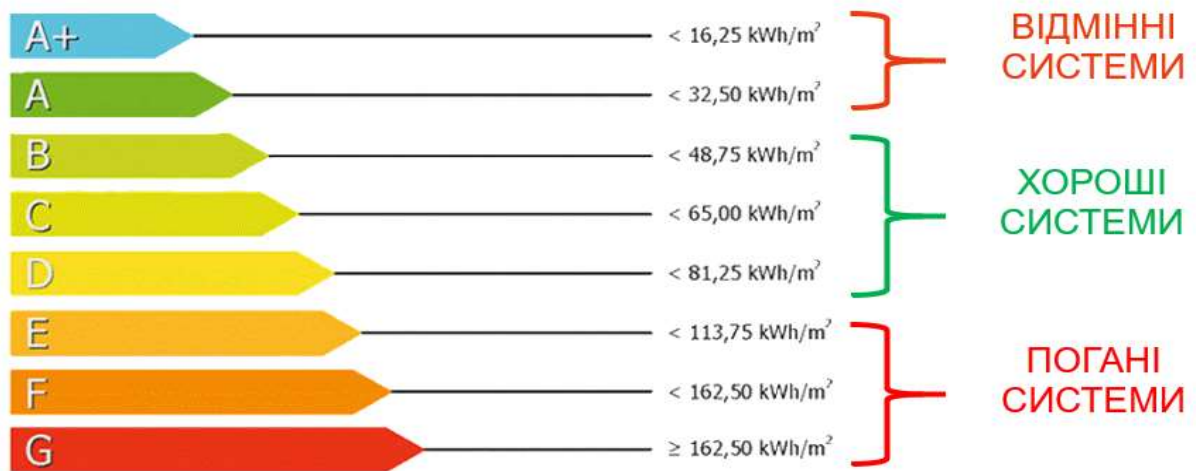


Рисунок 2.4.5 – Типова схема структури BMS [73]



Рисунок 2.4.6 – Вартість життєвого циклу інженерних систем [73]

**Системи автоматизації будівель (BAS)**, або системи управління будівлею (building control systems, BCS), *зазвичай складаються* з систем управління енергоспоживанням будівлі (building energy management systems, BEMS), фізичної безпеки та контролю доступу, пожежної безпеки/безпеки життя та інших систем (ліфти, оповіщення, телебачення). BEMS керують системами опалення, вентиляції та кондиціонування повітря (HVAC) та системами освітлення в будівлях; точніше кажучи, вони контролюють основні компоненти HVAC, такими як припливно-витяжні установки, чилери та нагрівальні елементи. BAS можна використовувати як у житлових, так і в комерційних та громадських будівлях, а також на промислових об'єктах, де автоматизація на основі мікроконтролерів з'явилася ще в 1970-х р. BEMS є важливими компонентами сучасних будівель, перед якими стоять завдання з, здавалося б, суперечливими вимогами - мінімізувати споживання енергії при збереженні комфорту мешканців. У випадку з інтелектуальними системами енергоменеджменту будівель (iBEMS) кількість факторів, що розглядаються, збільшується, наприклад, комфорт або зменшення енергоспоживання за допомогою оптимізації [73]. В табл.4.2.1 наведено відмінності між системами.

Таблиця 4.2.1 – Деякі відмінності між BMS, BEMS, iBEMS [53]

<b>BMS</b>	<b>BEMS</b>	<b>iBEMS</b>
Масштабні системи	Великомасштабні системи та малі системи	Переходять на веб-/хмарні технології, де їх функціональність буде надаватися як послуга
Механічне, електричне та HVAC обладнання	Електричні мережі, системи опалення, вентиляції, кондиціонування та освітлення	Апаратне, програмне забезпечення та передача даних через IP-мережу
Ефективна автоматизація - важливе питання	Енергоспоживання та енергозбереження є найбільш важливе питання	Енергозбереження, зниження споживання, комфорт мешканців, та оптимізоване рішення є суттєвою проблемою

Відмінності між BMS та BEMS полягають у зосередженні уваги на великих та малих механічних та електричних системах, а також автоматизації та енергозбереженні. iBEMS розглядає оптимізаційні рішення, запропоновані для «розумних» будівель, розглядає ширший спектр систем і стратегій [73].

#### **2.4.4 Розділ проєктів «Енергоефективність» та вимоги щодо огорожувальних конрукцій**

Під час складання проєктної документації перевіряються деякі умови та проводяться перевірочні розрахунки. *Критерієм, за яким оцінюється енергетична ефективність житлових або громадських будівель в цілому чи їх відокремлених частин (за умови їх автономності) є виконання умови:*

$$EP_{use} \leq EP_p, \quad (2.4.1)$$

де

$EP_{use}$  – річне розрахункове або фактичне значення загального показника питомого енергоспоживання будівлі при опаленні та охолодженні;

$EP_p$  – граничне значення питомого енергоспоживання при опаленні та охолодженні житлових, кВт·год/м<sup>2</sup>, та громадських будівель, кВт·год/м<sup>3</sup>, залежно від призначення будівлі, її поверховості або показника компактності, температурної зони експлуатації.

Для *зовнішніх огорожувальних конрукцій* будівель та споруд, що опалюються та/або охолоджуються, і внутрішніх конрукцій, що розділяють приміщення, температура повітря в яких відрізняється на 4 °С та більше, обов'язкове виконання умов:

$$R_{\Sigma пр} \geq R_{qmin}, \quad (2.4.2)$$

$$\Delta\theta_{\text{int-si}} \leq \Delta\theta_{\text{int-si,max}}, \quad (2.4.3)$$

$$\theta_{\text{tb,si,min}} > \theta_{\text{si,min}} \quad (2.4.4)$$

де

$R_{\Sigma\text{пр}}$  – приведений опір теплопередачі непрозорої огорожувальної конструкції чи непрозорої частини огорожувальної конструкції, (м<sup>2</sup>К)/Вт;

$R_{\text{qmin}}$  – мінімально допустиме значення приведенного опору теплопередачі непрозорої огорожувальної конструкції чи непрозорої частини огорожувальної конструкції, мінімально допустиме значення приведенного опору теплопередачі світлопрозорої огорожувальної конструкції, (м<sup>2</sup>К)/Вт;

$\Delta\theta_{\text{int-si}}$  – різниця між температурою внутрішнього повітря і приведеною температурою внутрішньої поверхні огороження за внутрішніми розмірами, °С;

$\Delta\theta_{\text{int-si,max}}$  – допустима за санітарно-гігієнічними вимогами різниця між температурою внутрішнього повітря і приведеною температурою внутрішньої поверхні огорожувальної конструкції за внутрішніми розмірами, °С;

$\theta_{\text{si,tb,min}}$  – мінімальне значення температури внутрішньої поверхні в зонах теплопровідних включень в огорожувальній конструкції, °С;

$\theta_{\text{si,min}}$  – мінімальне значення температури внутрішньої поверхні при розрахункових значеннях температур внутрішнього й зовнішнього повітря, °С.

Перевірка вимог для огорожувальних конструкцій здійснюється за такими параметрами: теплостійкість, теплозасвоєння, вологісний стан, паропроникність.

Вхідною інформацією для розробки розділу «Енергоефективність» проєктів є дані щодо огорожувальних конструкцій, інженерних систем і обладнання.

При новому будівництві, реконструкції, що веде до зміни функціонального призначення будівлі, мінімальною вимогою щодо енергоефективності є **клас С**.

При реконструкції, капітальному ремонті будівель або їх відокремлених частин мінімальною вимогою є виконання умови:

$$EP_{\text{use}} \leq 1,2 \cdot EP_{\text{p}}, \quad (2.4.5)$$

Для будівель, що будують за стандартом NZEB встановлено вимоги:

- нове будівництво – клас А,
- реконструкція будівель – клас В.

Нормативна база ЄС і України пов'язує вимоги до класу будівлі з класом інженерних системи, обладнання та автоматизації. Технічне оснащення, автоматизацію, моніторинг й управління внутрішньобудинкових інженерних систем, визначені згідно з ДСТУ EN 15232-1, слід приймати не нижче класу «С».

Таким чином, під час проектування будівлі обов'язково визначаються питомі енергетичні характеристики будівлі (наприклад, за допомогою моделювання у програмних продуктах, таких як Energy Plus), і у разі необхідності вносяться зміни у технічні рішення щодо оболонки будівлі, інженерних систем та джерел енергії з підвищення долі нетрадиційних і відновлюваних джерел енергії.

#### **2.4.5 Розділ проєктів «Оцінка впливу на довкілля»**

В Україні введено I та II категорія видів діяльності, що мають значний вплив на довкілля і підлягають оцінці впливу на довкілля. Відповідно у проєктах на нове будівництво чи реконструкцію будівель розробляється розділ згідно з ДБН А.2.2.1:2021 [56]. Звіт надсилається сертфікованим інженерном-проєктувальником через електронний кабінет користувача Єдиної державної електронної системи у сфері будівництва.

Види забруднень, що оцінюються: теплове; шумове, електромагнітне, вібрації; світлове і радіоактивне; хімічне і біологічне забруднення.

Джерела викидів, що враховуються при розрахунках:

- точкові (димарі, вентиляційні шахти, вентилятори на даху);
- лінійні (аераційні ліхтарі, ряди відкритих вікон, автотраси);
- площадкові (автостоянки, склади).

Розділ розробляється з використанням програмного продукту ЕОЛ+. Результат обчислення: розсіювання викидів; концентрація шкідливих речовин в заданих точках розрахункової площадки та перелік точок найбільшої концентрації; таблиці інвентаризації джерел викидів. Для сусідніх будівель здійснюється оцінка концентрації на рівні вікон останніх поверхів (рис.2.4.7).

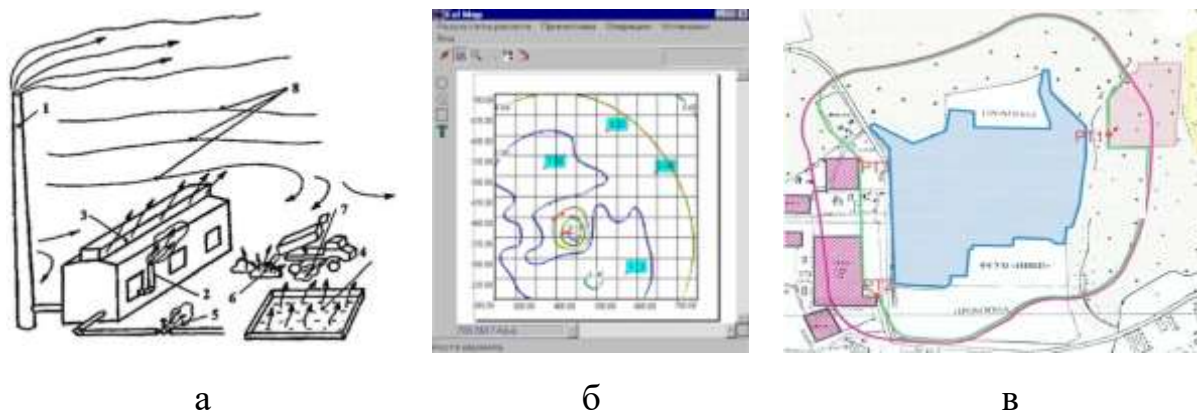


Рисунок 2.4.7 – Розділ проєктів «Оцінка впливу на довкілля»  
 а – джерела викидів; б – результати розрахунку розсіювання викидів за програмним продуктом; в – розрахунок викидів в розрахункових точках

## 2.4.6 Проєкти підвищення енергоефективності. Енергоаудит

Етапи впровадження проєктів енергоефективності – див. рис.2.4.8.

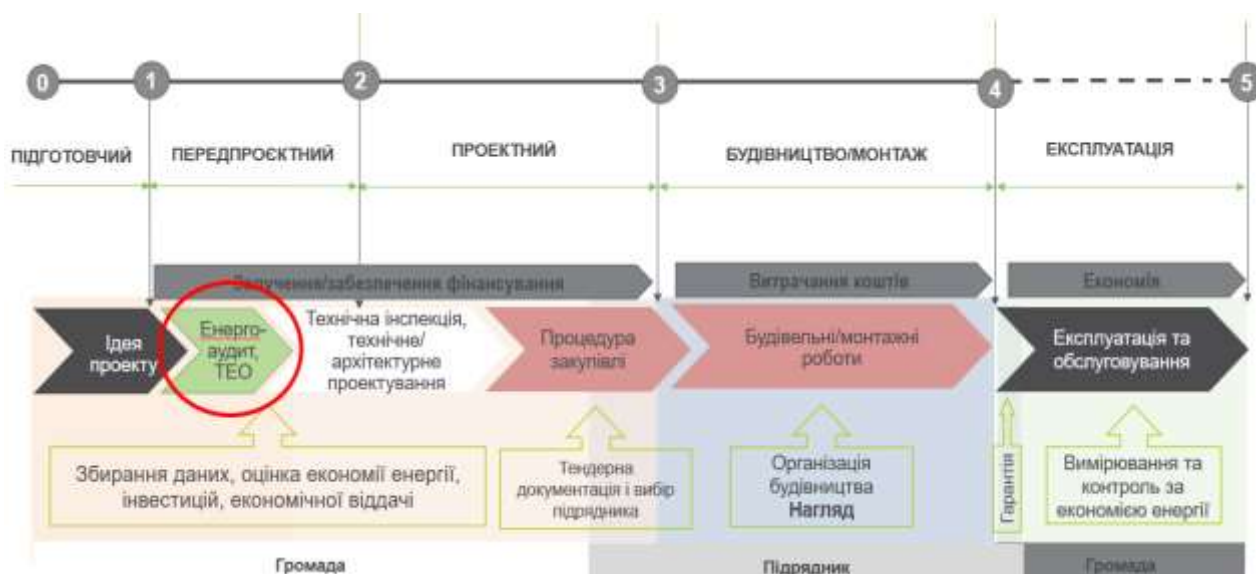


Рисунок 2.4.8 – Етапи впровадження проєктів енергоефективності

Як видно з рисунку, перед розробкою проектної документації виконується звіт з енергетичного аудиту, зміст якого наступний:

- опис існуючої ситуації, в т.ч. тепловізійна зйомка, приладові виміри;
- аналіз фактичного енергоспоживання при опаленні, охолодженні, ГВП, освітленні, та ін., побудова енергобалансів;
- визначення базового енергоспоживання;
- визначення потенціалу енергозбереження (в кВт-год та грн.) з детальним описом рекомендованих заходів, з оцінкою енергетичного і екологічного ефекту;
- календарний план-графік робіт, план фінансування;
- оптимальний варіант (пакет) термомодернізації з визначенням економічних показників та енергетична гарантія результатів;
- інструкції з експлуатації і обслуговування та пропозиції по моніторингу;
- енергетичний сертифікат будівлі.

Фінансово-економічні показники, що визначаються:

- простий період окупності (PP);
- внутрішня норма прибутковості (IRR);
- чиста приведена вартість (NPV);
- індекс прибутковості (PI);
- дисконтований період окупності (DPP).

Порівняння потенціалу енергетичної ефективності інвестиційних варіантів може відбуватися у відношенні до фактичного та нормалізованого рівня енергоспоживання. Для виконання розрахунків можуть використовуватися програмні продукти, зокрема Audytor OZC (3D редактор, рис.2.4.9) дозволяє здійснити:

- розрахунок проектного теплового навантаження,
- розрахунок енергоспоживання в кВт-год/м<sup>2</sup> до та після термомодернізації,
- сформувавши енергетичний сертифікат за вимогами України.

Розрахована теплова потужність – це основа для проектування систем

опалення, адже дані розрахунку в Audytor OZC є вихідною інформацією для програми Audytor CO та ін.

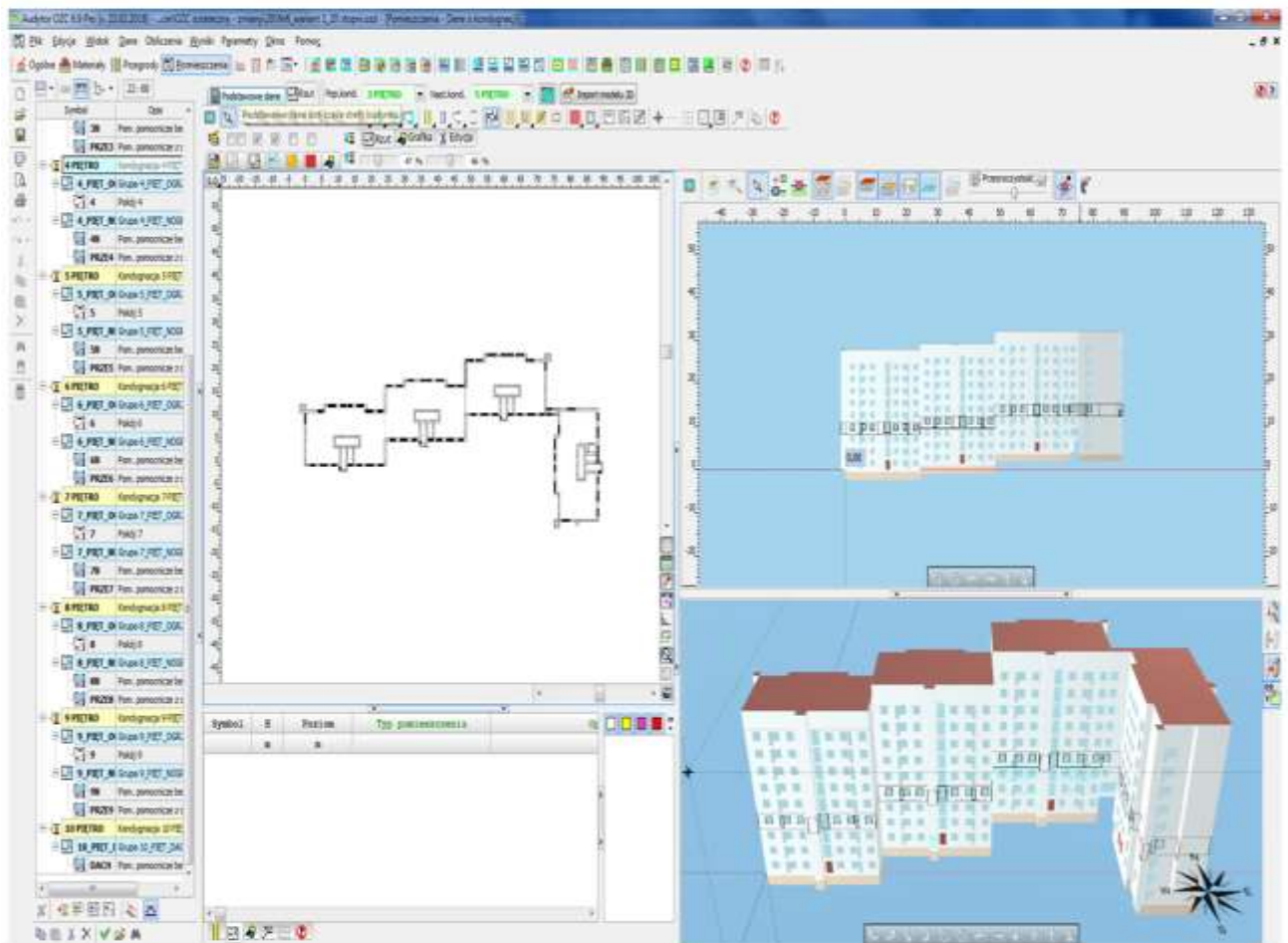


Рисунок 2.4.9 – Робоче вікно програми для розрахунків проєктів енергоефективності

Контроль якості в будівництві відносно огорожувальних конструкцій може бути здійснено такими методами:

- тест будівлі на герметичність (Blower Door Test/аеродвері) - визначення повітропроникності огорожень в натурних умовах здійснюється перед здачею нових будівель в експлуатацію або при проведенні;
- тепловізійна зйомка,
- контрольна вирізка утеплювача для перевірки якості робіт.

## Питання для самопідготовки

1. Вкажіть послідовність проєктування об'єктів будівництва.
2. Які вимоги щодо проєктів будівельного фонду згідно з ДБН «Територіальна забудова».
3. Поясніть термін «проєктна документація» і «стадії проєктування».
4. Які інженерні системи враховуються під час проєктування будівель?
5. Поясніть, що означає BIM моделювання будівель?
6. Які ви знаєте вимоги щодо проєктування інженерних систем будівель?
7. Які інженерні системи враховують системи автоматизації BAS?
8. Які вимоги враховуються під час проєктування огорожень будівель?
9. Які вимоги висуваються щодо показників енергоефективності будівель?
10. Що включає розділ проєктів «Оцінка впливу на довкілля»?
11. Наведіть основні етапи впровадження проєктів підвищення енергоефективності в будівельному фонді.
12. Наведіть зміст звіту з енергетичного аудиту будівлі.
13. Які фінансово-економічні показники, що враховуються під час розрахунків заходів з енергоефективності в будівлях?
14. Які методи використовують для контролю якості будівельних робіт щодо огорожувальних конструкцій будівель?

## РОЗДІЛ 3 ЕФЕКТИВНІ ДЖЕРЕЛА ЕНЕРГІЇ ТА ІНТЕЛЕКТУАЛЬНІ ТЕХНОЛОГІЇ В РОЗУМНИХ БУДІВЛЯХ

Тема 3.1. Енергоефективні джерела енергії та розосереджена генерація

Тема 3.2. Розумні будинки: підсистеми, пристрої та можливості

### 3.1 Енергоефективні джерела енергії та розосереджена генерація

#### 3.1.1 Централізоване тепlopостачання

Централізація тепlopостачання - це постачання (подавання) теплоти численним споживачам від одного джерела.

В системах централізованого тепlopостачання теплова енергія у вигляді гарячої води або пари транспортується від джерела тепла (теплоелектроцентралі (ТЕЦ) або котельні) до споживача спеціальними трубопроводами, що називають тепловою мережею (рисунок 3.1.1).



Рисунок 3.1.1 – Схема системи централізованого тепlopостачання [73]

*Переваги централізованого тепlopостачання:*

1) централізація сприяє економії палива внаслідок вищого КПД котельних цехів ТЕЦ порівняно з невеликими котельнями, внаслідок чого знижується вартість тепла і електроенергії, підвищується ефективність використання палива, в тому числі і низькосортного;

2) технологічна надійність: перехід з одного виду палива на інший;

резервування потужності; автоматичне регулювання процесів, утилізація ВЕР;

3) власний ремонтно-сервісний персонал, контроль процесів горіння; зменшення пожежної загрози та загрози вибухів палива;

4) краще санітарний стан районів за рахунок розсіювання викидів;

5) можливість обрання компанії-постачальника послуг (ринок теплової енергії функціонує в ЄС).

6) можливість використання таких видів палива, які є оптимальними з техніко-економічної точки зору та забезпечують більшу екологічну чистоту.

Системи енергопостачання більшості країн, включно з Україною, залежать від викопного палива, що спричиняє зростання викидів CO<sub>2</sub> та глобальне потепління. Актуальним є перехід до нових енергоефективних систем теплопостачання через модернізацію інфраструктури. Міжнародна спільнота працює над впровадженням нових підходів і технологій.

Директивою 2012/27ЄС «Про енергоефективність» введено термін **«ефективне централізоване теплопостачання і охолодження»** – система централізованого теплопостачання або охолодження, що використовує мінімум 50% відновлювальної енергії, 50% скидного тепла, 75% тепла від когенерації або 50% сукупності такої енергії та тепла.

### **3.1.2 Етапи розвитку систем централізоване теплопостачання**

Системи централізованого теплопостачання за більш як століття свого розвитку пройшли довгий шлях: від перших парових систем, через нерегульовані системи до автоматизованих систем і, далі, до інтелектуальних високоефективних низькотемпературних систем централізованого теплопостачання, що сьогодні розвиваються в країнах Північної та Західної Європи. Етапи, або покоління (generation), розвитку централізованого теплопостачання відрізняються рівнем ефективності використання енергії в системі, ступенем контролю кожної з її ланок та гнучкістю реагування на зміни можливостей постачання та попиту (рисунок 3.1.2) [73]:

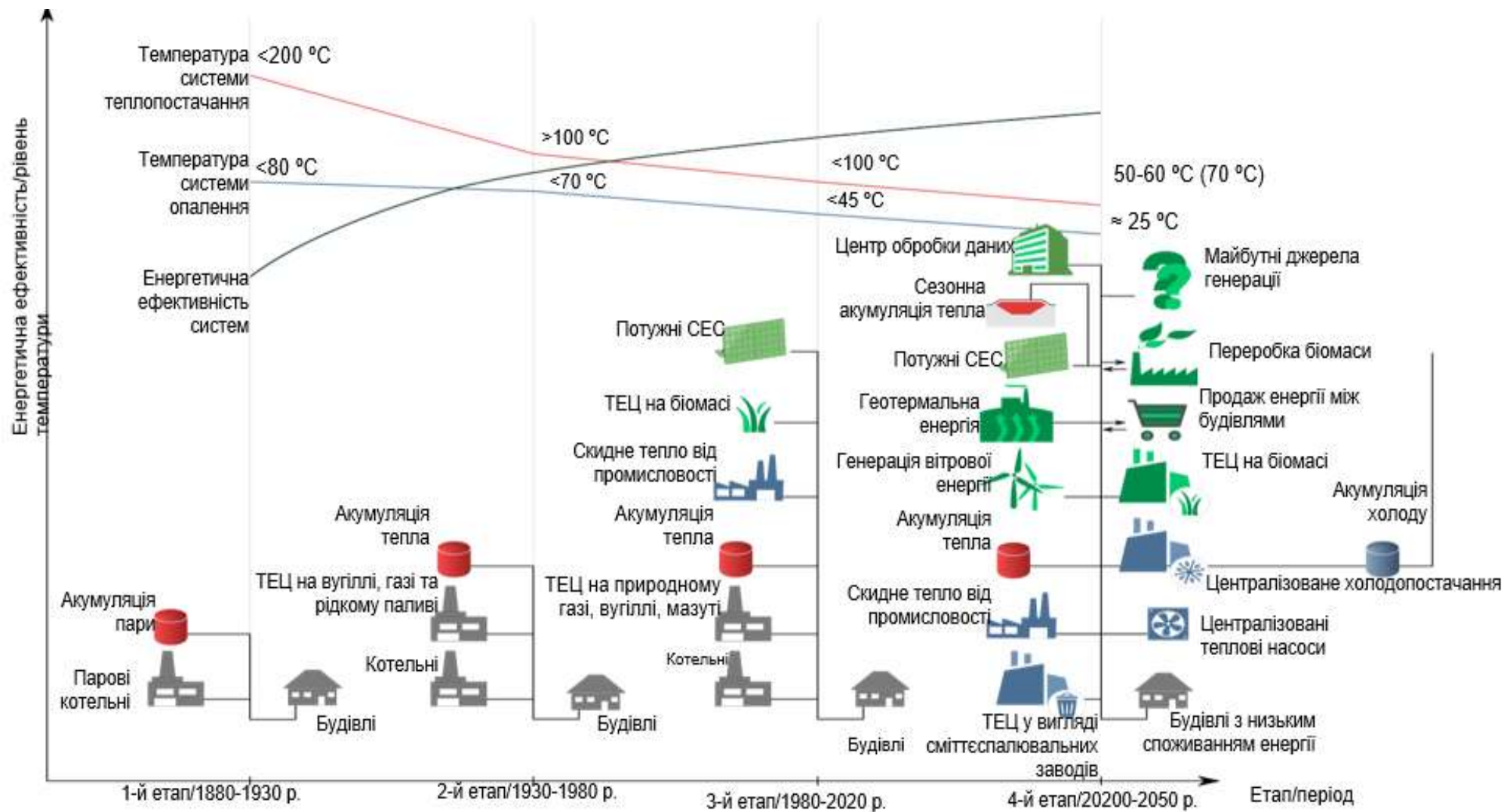


Рисунок 3.1.2 – Етапи розвитку централізованого теплопостачання [73]

1-й етап. Основною характеристикою системи централізованого теплопостачання першого покоління було транспортування теплової енергії за допомогою водяної пари при температурі до 200°C. Споживачами були переважно невеликі міські підприємства, які використовували пару у технологічних процесах, а також великі споживачі тепла, наприклад великі житлові комплекси. Високий вміст тепла, що призводив до низьких витрат, був одним з головних чинників застосування цієї технології (до 1930 року) [73].

2-й етап. Основною характеристикою систем централізованого теплопостачання другого покоління є те, що тепло транспортується перегрітою під тиском водою, температура якої перевищує 100 С. Це покоління дозволило енергоефективно утилізувати відпрацьоване тепло електростанцій, перетворивши їх на теплоелектроцентралі (ТЕЦ). Завдяки використанню відпрацьованого тепла електростанцій, споживання викопного палива скоротилося на 50% порівняно з окремим виробництвом тепла та електроенергії, як це робилося в першому поколінні. Основним рушієм розвитку була підвищена експлуатаційна безпека, збільшення ефективності як розподілу тепла, так і роботи теплових станцій, а також можливість використання спектру джерел тепла, ніж у 1му поколінні [73].

3-й етап. Система централізованого теплопостачання третього покоління передбачає використання екологічно чистих компонентів у поєднанні з більш низькими температурами (нижче 100 °С). Основною перевагою систем порівняно з системами другого покоління є підвищення енергоефективності завдяки нижчим робочим температурам, а також зниженню інвестиційних та експлуатаційних витрат завдяки більшому обсягу виробництва, монтажу та теплоізоляції на заводі. Крім того, структуру виробництва енергії було змінено за рахунок використання екологічно чистих та відновлюваних джерел, що призвело до зменшення шкідливих викидів в атмосферу [73].

4-й етап. Після третього покоління новий шлях розвитку характеризується перетворенням системи теплопостачання на сталу та взаємопов'язану

енергетичну систему. Вона базується на високій частці відновлюваних джерел енергії для опалення та охолодження, розумній інтеграції енергетичних комплексів і водночас на зниженні питомого споживання енергії будівлями, а також температури в подавальному та зворотному трубопроводах [73].

4-те покоління забезпечує високу ефективність систем завдяки:

- зниженню теплових втрат;
- інтеграції відновлюваних джерел енергії та відхідного тепла;
- використанню дешевших матеріалів, таких як пластикові труби;
- зменшенню експлуатаційних та інвестиційних витрат [73].

Система 4-го покоління визначається як технологічна й інституційна концепція «розумних» теплових мереж, що забезпечують сталі енергетичні системи та теплопостачання будівель із низьким енергоспоживанням.

Обмеженням низько-температурних систем теплопостачання є ризик розвитку бактерій *Legionella* у системах гарячого водопостачання. Згідно з дослідженнями, їхній ріст припиняється при температурах вище 46 °С.

Ключовою особливістю систем четвертого покоління є високий рівень автоматизації та моніторингу оперативно-технологічних процесів, які охоплюють виробництво, транспортування й постачання теплової енергії. Ці системи інтегруються з електропостачанням, що включає альтернативні та відновлювані джерела енергії. Загальна тенденція полягає в тому, що енергоефективність систем теплопостачання зростає від покоління до покоління завдяки використанню більш сучасних технологій у кожній частині системи. Температура подачі значно знижується від систем на основі пари до високотемпературних водяних систем, до систем з наднизькою температурою, де рівень температури подачі близький до фактичної потреби в теплі в будівлях. Низькі температури подачі призводять до зменшення втрат тепла з мережі централізованого теплопостачання, підвищення ефективності теплопостачання, а також більшої надійності та стабільності системи. Крім того, вони також дозволяють використовувати декілька джерел тепла, що не є можливим у

системах, які потребують високої температури подачі. Зниження температури теплоносія також підвищує ефективність ТЕЦ і теплових насосів [57].

### 3.1.3 Характеристика систем тепlopостачання нового 5-го покоління

Інтеграція відновлюваних джерел енергії в системах 4-го та 5-го поколінь підвищує загальну енергоефективність і забезпечує ефективну взаємодію елементів централізованого тепlopостачання. Це свідчить про необхідність модернізації традиційних систем централізованого тепlopостачання та охолодження. Перехід від існуючої системи до більш удосконаленої концепції називають 5-м поколінням тепlopостачання [73].

П'яте покоління передбачає створення інтелектуальної енергетичної системи, яка об'єднує опалення, вентиляцію, кондиціювання повітря, електропостачання та промислові процеси, формуючи комплексний підхід до управління енергоресурсами. Основні характеристики четвертого та п'ятого покоління систем централізованого тепlopостачання [59]:

- постачання низькотемпературного тепlopостачання для опалення;
- розподіл енергії в системі з мінімальними втратами в мережі;
- трансформацію енергії та інтеграцію відновлюваних джерел енергії;
- інтеграцію інтелектуальних енергетичних систем;
- планування та створення структур витрат для забезпечення майбутньої стійкості енергетичних систем;
- більший запас енергії.

Особливостями п'ятого покоління тепlopостачання є:

- *технологія зберігання* – системи використовують допоміжні технології, такі як резервуари для зберігання тепла;
- *замкнуті енергетичні петлі* – для максимізації енергоефективності і забезпечення використання відновлюваних ресурсів, енергія повторно використовується і розподіляється між різними елементами системи; це означає, що енергія не витрачається марно, оскільки нею можна обмінюватися як

усередині окремого будинку, так і на рівні мікрорайону, пристосовуючись до різних потреб та вимог одночасно і навіть у різні сезони року;

– *альтернативні джерела* – системи теплопостачання п'ятого покоління працюють за нижчих температур, ніж традиційні системи теплопостачання, це дозволяє широко застосовувати відновлювані, низьковуглецеві джерела енергії, такі як геотермальна енергія, промислові відходи, стічні води, теплові насоси великої потужності тощо;

– *децентралізація* – системи уникають непотрібного виробництва енергії і виробляють та поширюють енергію лише за потребою; таким чином, ці системи, орієнтовані на попит, дозволяють уникнути втрат енергії, оскільки опалення може одночасно подаватися різним споживачам за різних температур відповідно до запиту в реальному часі [73].

Режими роботи та розвиток систем теплопостачання напряду залежать від попиту на теплову енергію, який залежить від енергоефективності будівельного фонду. В той же час окрім традиційних первинних джерел енергії в системах централізованого теплопостачання можуть бути використані: енергія сонця, вітру, біомаси, геотермальна енергія, скидне тепло промислових підприємств, відходів, теплових насосів тощо. Реалізація потенціалу комбінованих систем теплопостачання потребує наявності технологічних даних: технічних, екологічних та економічних показників.

### **3.1.4 Системи теплопостачання з комбінованими джерелами енергії**

*Мета створення комбінованих систем* - оптимізація використання енергетичних ресурсів для зменшення викидів і підвищення ефективності.

Основна мета створюваних установок і систем, що використовують відновлювані джерела енергії (ВДЕ) для гарячого водопостачання (ГВП) та опалення - забезпечити теплопостачання користувача в повному обсязі при мінімальних витратах, незважаючи на варіабельність надходження ресурсу. Виконання поставленої мети можливо при розробці та *створенні комбінованих*

установок, що використовують різні джерела енергії.

Необхідно розрізнити *два підходи* до вирішення проблем енергопостачання з використанням ВДЕ: створення комбінованих установок, які об'єднують поновлювані джерела енергії і традиційну генерацію, і автономних систем [58].

Комбіновані системи створюються при наявності і можливості оперативного підключення традиційного джерела енергії. У цих системах тепlopостачання забезпечується від сонячної водонагрівальної установки чи іншого відновлюваного джерела і, при необхідності, від дублюючого джерела (електрокотел або котел на органічному паливі). Комбіновані системи створюються для роботи в автономному режимі при використанні тільки ВДЕ і обов'язковій наявності акумулюючих пристроїв електричної і теплової енергії.

Електроенергія в цих системах може забезпечуватися або фотоелектричною станцією, або вітроенергетичною установкою, або енергетичною установкою на основі паливного елемента. У зв'язку з непостійністю сонячної і вітрової енергії в часі електроенергія запасється в акумулюючих пристроях. Вона використовується на задоволення потреб об'єкта і власних потреб системи.

Низькотемпературне централізоване опалення може постачатися як у нових, так і в існуючих будівлях. Таким чином, системи низькотемпературного тепlopостачання можуть бути встановлені в нових і існуючих районах централізованого тепlopостачання.

На рисунку 3.1.3 показано чотири різні застосування систем низькотемпературного тепlopостачання: (а) підключення нової території забудови до існуючої системи централізованого тепlopостачання, (б) створення маломасштабної системи централізованого тепlopостачання в новій зоні забудови, (в) підключення існуючої території, наприклад шляхом заміни газових котлів на централізоване опалення або (г) оновлення існуючої системи централізованого тепlopостачання, наприклад як частини загальної стратегії зниження температури подачі [58].

**Основні компоненти систем з комбінованими джерелами енергії в системах тепlopостачання:** котли на різних видах палива, ТН, сонячні колектори,

геотермальні установки, системи акумуляції, управління і автоматизації. Відновлювані джерела енергії для опалення та охолодження (REHC) називають «сплячим гігантом» потенціалу відновлюваної енергетики в глобальній перспективі [73].

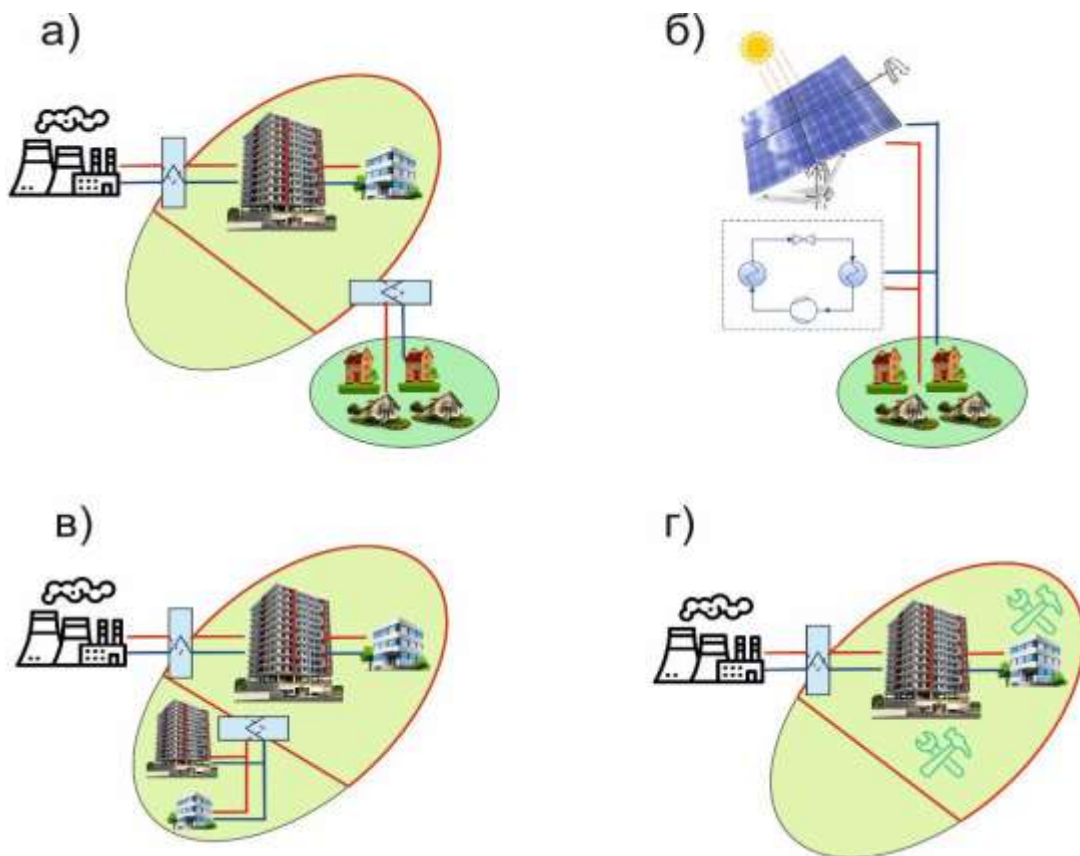


Рисунок 3.1.3 – Можливості застосування низькотемпературного теплопостачання в системах централізованого теплопостачання [58]

Визначення варіанта впровадження ВДЕ в систему централізованого теплопостачання для конкретної системи обумовлюється факторами [58]:

- 1) рівнем забезпечення регіону (району, міста тощо) традиційними і відновлюваними джерелами енергії з урахуванням їхнього потенціалу;
- 2) кліматичними та метеорологічними умовами;
- 3) структурою систем постачання та використання енергії;
- 4) вимогами до якості електричної та теплової енергії;
- 5) типом та параметрами навантаження;

б) вимогами до погодинного графіка енергопостачання;

7) економічними та екологічними факторами.

Важливим питанням є також комбінування різних джерел ВДЕ з урахуванням технологічних характеристик об'єкта теплопостачання, потреб споживача, наявності надлишкового тепла, проведення балансування.

Під час розробки комбінованих систем доцільно застосовувати принцип модульності, основні положення якого наступні [58]:

- збільшення теплової продуктивності і потужності системи забезпечується набором певної кількості модулів;
- кожен модуль може працювати як автономно, так і на загальну систему;
- для з'єднання модулів при нарощуванні потужностей в схемі повинні бути передбачені додаткові приєднувальні патрубки, штуцери, фланці і т.п.

Загалом існує два основних режими роботи комбінованих систем теплопостачання [60]:

- моновалентний режим роботи системи, коли всі потреби системи забезпечуються одним джерелом, додаткове джерело відсутнє (рис. 3.1.3а);
- бівалентний режим - існує додаткове джерело (рис. 3.1.4 б, в, г).

Моновалентна схема джерела теплоти передбачає, що усе теплове навантаження, яке здійснюють споживачі на джерело теплоти, покривається теплогенераторами на одному виді енергоносія. При цьому кількість теплогенераторів може бути великою та складатися з каскаду котлів чи теплових насосів, але вони споживають один вид енергоресурсу.

Бівалентна схема передбачає комбінацію джерел теплоти, що споживають для вироблення теплової енергії різні енергоносії. Зазвичай з метою економії енергоресурсів в якості основного джерела теплоти використовуються відновлювальні джерела енергії, такі як теплові насоси та геліосистеми, а в якості допоміжних або пікових – традиційні джерела теплоти, які підключаються до роботи, коли потужності відновлювального джерела теплової енергії недостатньо.

Бівалентні схеми залежно від типів комбінацій та співвідношення потужностей джерел поділяються на типи:

- бівалентна альтернативна схема;
- бівалентна паралельна схема;
- бівалентна комбінована схема.

У випадку бівалентного послідовного режиму роботи (рисунок 15.17б) відбувається відключення основного джерела теплоти, і система функціонує виключно за рахунок додаткового джерела теплоти.

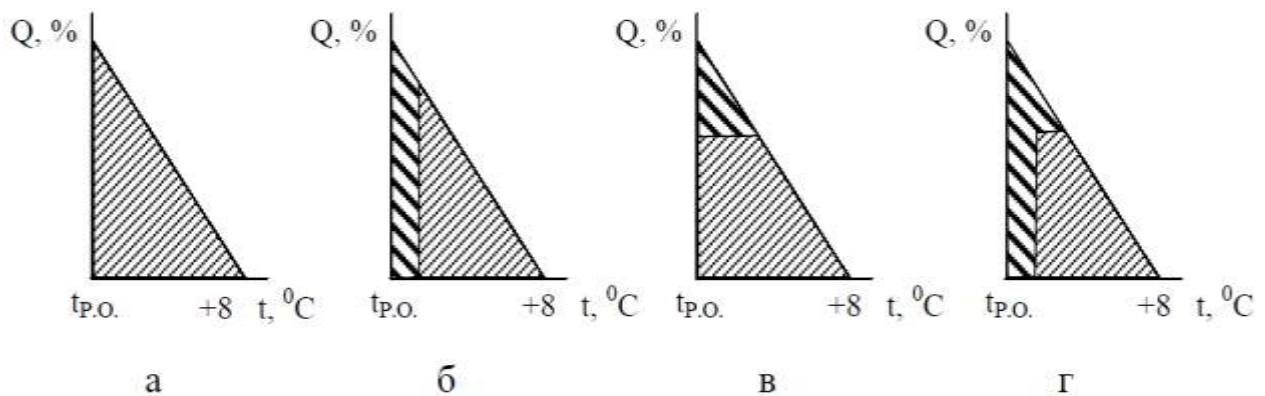


Рисунок 3.1.4 – Варіанти покриття навантаження опалення [60]:

- а – моновалентний режим роботи;
- б – бівалентний альтернативний режим;
- в – бівалентний паралельний режим роботи;
- г – бівалентний комбінований режим

Приклад моновалентного джерела теплоти з газовим конденсаційним котлом зображено на рисунок 3.1.5, все теплове навантаження споживачів теплоти покривається теплогенератором на природному газі.

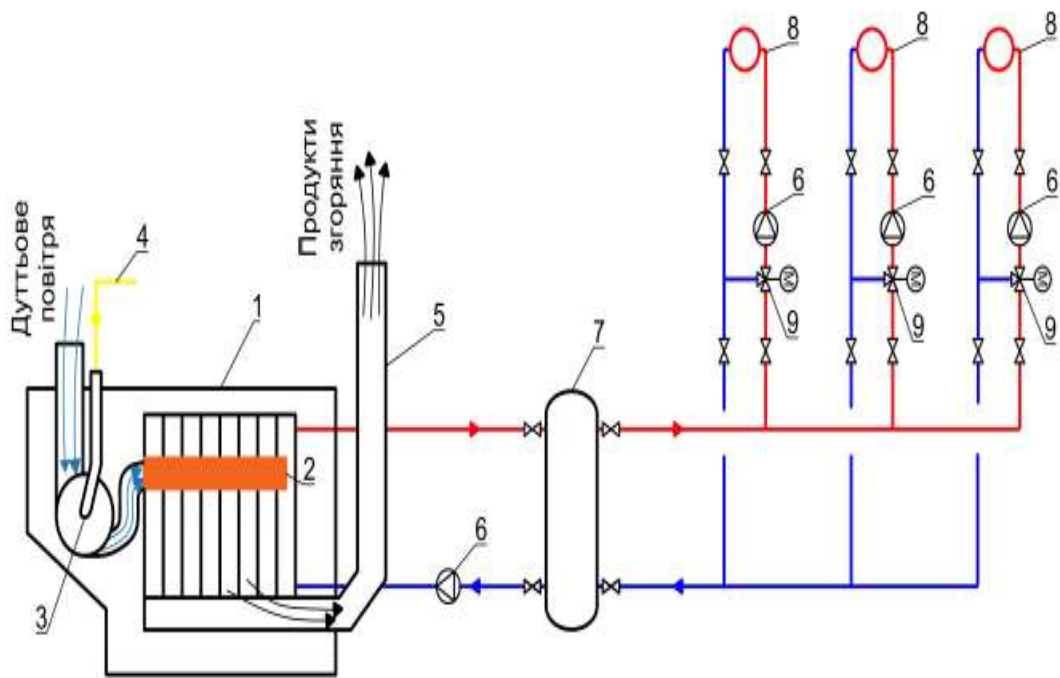


Рисунок 3.1.5 – Приклад моновалентного джерела теплоти [73]:

- 1- газовий конденсаційний котел;
- 2- паливник;
- 3- дуттьовий вентилятор;
- 4- підвід газу;
- 5- димова труба;
- 6- циркуляційний насос;
- 7- гідравлічний розділювач;
- 8- споживачі теплоти;
- 9- триходові змішувальні клапани

Приклад бівалентного паралельного джерела теплоти, що складається з повітряних теплових насосів, газових конденсаційних котлів та геліосистеми зображено на рисунку 3.1.6.

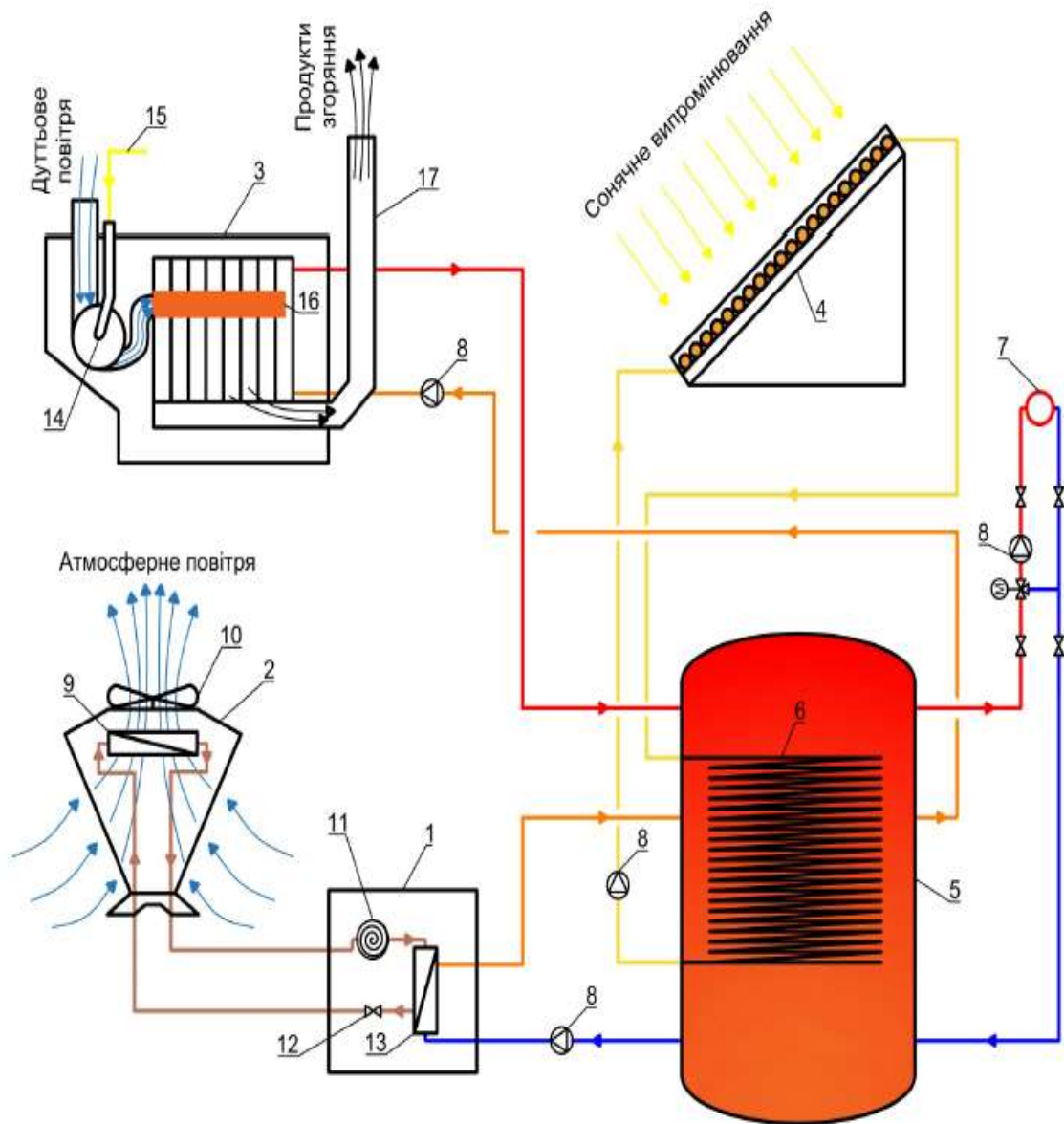


Рисунок 3.1.6 – Приклад бівалетного паралельного джерела теплоти [73]:

- 1- внутрішній блок повітряного ТН; 2- зовнішній блок повітряного ТН;
- 3- газовий конденсаційний котел; 4- геліоколектор; 5- буферний бак;
- 6- теплообмінник буферного баку; 7- споживачі теплоти; 8- циркуляційні насоси;
- 9- випарник ТН; 10- вентилятор ТН; 11- компресор ТН;
- 12- електронний розширювальний клапан ТН; 13- конденсатор ТН;
- 14- дуттьовий вентилятор газового котла; 15- підвід газу;
- 16- паливник газового котла; 17- димова труба.

Основним джерелом теплоти в наведеній схемі виступає повітряний тепловий насос, який покриває усе теплове навантаження більшу частину

опалювального періоду, але після зниження його потужності внаслідок зниження температури зовнішнього повітря до теплової генерації підключається газовий конденсаційний котел. Його задачею є догрів теплоносія після теплових насосів.

Геліоколектор в даній схемі призначений для забезпечення теплотою системи ГВП у теплий період року, а також для допомоги тепловим насосам у виробленні теплоти під час перехідних періодів. В даній схемі передбачено, що тепловий насос працює протягом усього опалювального періоду.

Однак можлива і інша схема, за якої повітряний тепловий насос вимикатиметься при певній температурі зовнішнього повітря, а надалі усе теплове навантаження покриватиметься газовим конденсаційним котлом.

### **3.1.6 Використання ВДЕ: температурний діапазон та поєднання технологій**

Сонячна, геотермальна енергія та біомаса можуть бути використані як прямі джерела тепла, а також тепло може бути видобуте з повітря, води або землі. Тепло можна використовувати для роботи абсорбційних холодильних машин для охолодження. Крім того, будь-яка форма електроенергії з відновлюваних джерел може бути використана для опалення або охолодження.

На рисунку 3.1.7 наведено огляд діапазонів температур води з технологій виробництва тепла, що використовуються для високо- та низькотемпературного централізованого теплопостачання.

Очевидно, що технологія теплового насоса не охоплює весь діапазон робочих температур у європейських системах [58].

Генерація тепла в концепції інтеграції в будівлю можлива за допомогою децентралізованих теплових насосів, що особливо ефективно у районах із розрідженою забудовою (рисунок 3.1.8).

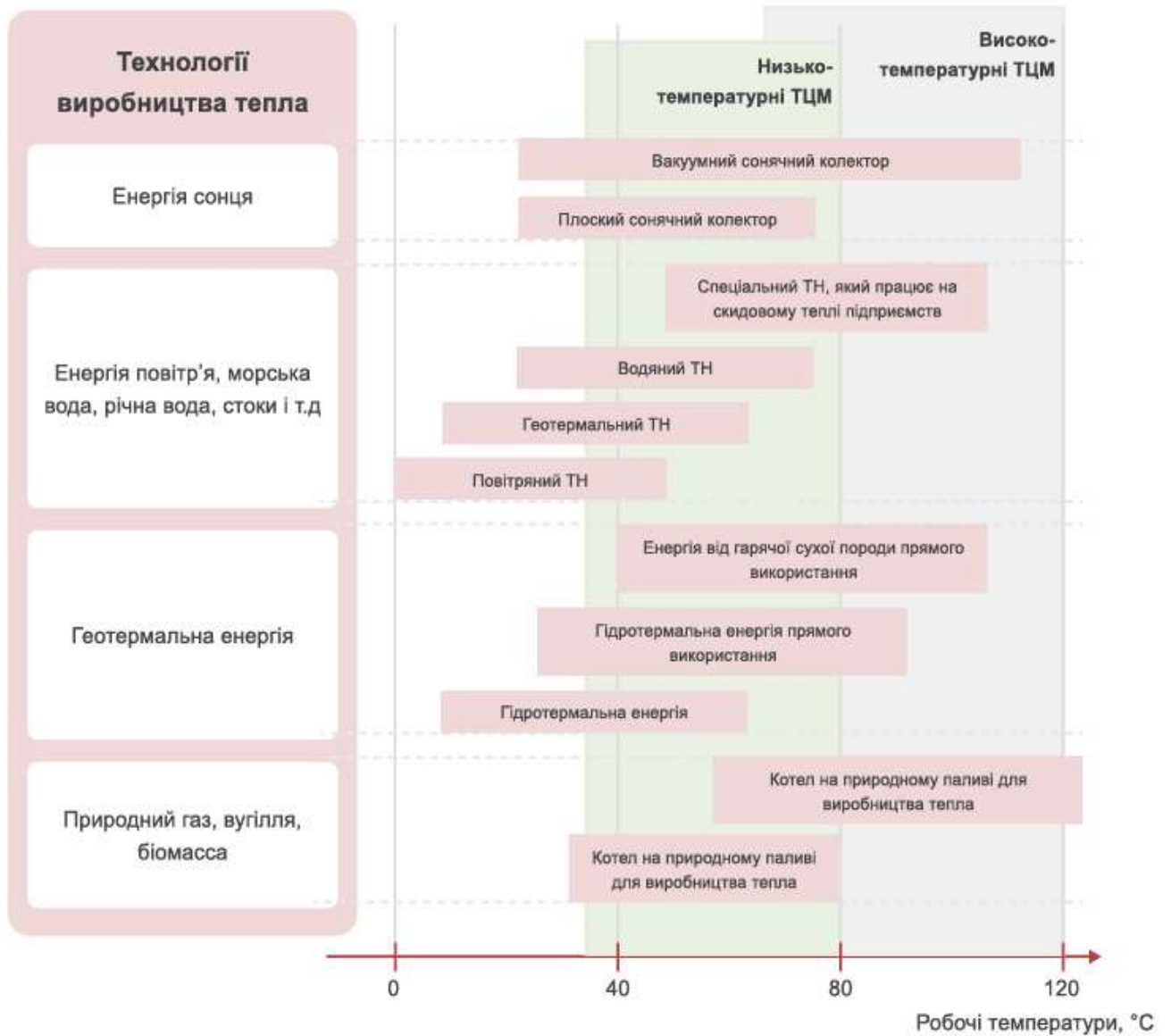


Рисунок 3.1.7 – Розподіл температур систем централізованого теплопостачання залежно від технологій виробництва та джерел енергії [58]

У виробничих процесах частину відпрацьованого тепла можна повторно використовувати завдяки теплотрансформаторам. Ці системи змішують відпрацьоване тепло з холодним потоком, що дозволяє застосовувати тепло з температурою нижче 130 °C. Холодний потік використовується для конденсації та випаровування холодильного агенту з частиною відпрацьованого тепла.

Політика підтримки відновлюваних джерел енергії (ВДЕ) має бути стабільною та передбачуваною. Часті або ретроспективні зміни негативно

впливають на інвестиції, підвищуючи витрати на фінансування та реалізацію проєктів.

Відновлене джерело + відновлювальний перетворювач	Пряме використання (котел, P2H)	Тепловий насос	Газоабсорбційний тепловий насос	Компресійний холод	Сорбційний холод	Сорбційне висушування
Електроенергія з ВДЕ	Б / М			Б / М		
Приповерхнева геотермія	Б / М	Б				
Глибока геотермія	М	М			Б / М	Б
Виробниче відпрацьоване тепло	М	М				
Сонячна теплова енергія	Б / М	Б / М			Б / М	Б
Біомаса	М				Б / М	Б
Біогаз, вода	М		М		Б / М	
Біогаз + рекуперация	М	Б / М		Б / М	Б / М	Б
Вода + паливний елемент	М	Б / М		Б / М		

■ – Технології опалення    ■ – Технології охолодження    Б – Інтегровані в будівлю    М – Мережеві

Рисунок 3.1.8 – Поєднання технологій [73]:

Б – інтегрована в будівлю;

М – мережі, кольори: червоний – опалення, синій – охолодження [63]

### 3.1.7 Використання теплових насосів у системах тепlopостачання

Серед нетрадиційних джерел тепlopостачання особливе місце займають теплонасосні установки (ТНУ). Їх застосування в системах тепlopостачання – один з важливих перетинів техніки низьких температур з теплоенергетикою, що призводить до збереження невідновлювальних джерел енергії і захисту оточуючого середовища за рахунок скорочення викидів CO<sub>2</sub> і NO<sub>x</sub> в атмосферу. Перспективним є використання ТНУ в комбінованих системах тепlopостачання в поєднанні з іншими технологіями використання поновлювальних джерел

енергії (сонячної, вітрової, біо-енергії) і дозволяє оптимізувати параметри в сумісних системах і досягати найбільш високих економічних показників.

ТНУ - це компактні опалювальні установки для автономного обігріву, охолодження і ГВП. Такі системи працюють без прямого використання палива і не мають шкідливих викидів в атмосферу. Приблизно три чверті необхідної енергії тепловий насос бере з довкілля, інше покривається електричним струмом, необхідним для роботи компресора. *ТН використовують енергію з низькотемпературних джерел для опалення.* ТН в якості джерела тепла використовують відновлювані ресурси (рис.3.1.9): повітря навколишнього середовища; воду в природних водоймах; землю або теплоту стічних вод.

### **Передумови щодо застосування ТН:**

- необхідно використовувати переважно теплові насоси ґрунт-вода чи вода-вода, які мають кращий коефіцієнт перетворення;
- системи опалення повинні проєктуватися *низькотемпературні*;
- перевагу необхідно віддавати реверсивним моделям, що можуть працювати як на опалення, так і на охолодження, при цьому під час охолодження повинна забезпечуватися утилізація скидної теплоти.

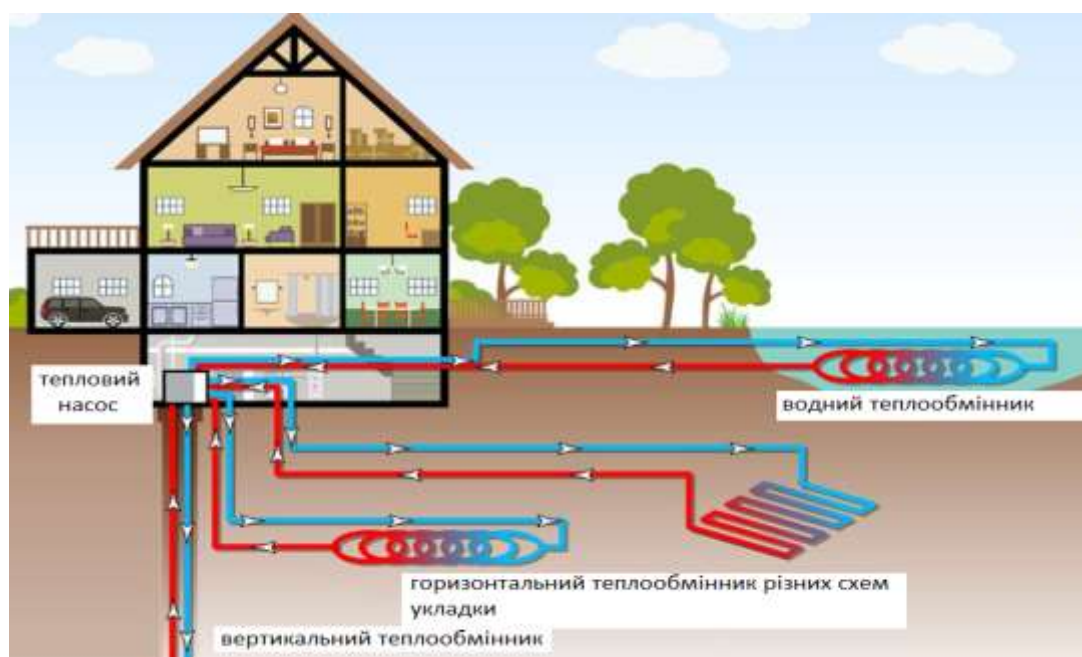


Рисунок 3.1.9 – Відновлювальні ресурси, що використовують ТН

### Принцип роботи ТН (рис.3.1.10):

- 1) тепловий насос відбирає тепло з навколишнього середовища;
- 2) холодоагент, що циркулює в пристрої, поглинає тепло і закипає, переходячи з рідкого стану в газоподібний у випаровувачі;
- 3) утворений газ переміщується в компресор, його призначення – стиснути фреон, від чого його температура і тиск підвищуються;
- 4) гарячий газ нагріває теплоносії в контурах, що ведуть до пристроїв-розподільників; у процесі охолодження фреон конденсується і переходить в рідкий стан;
- 5) рідкий фреон переходить в розширювальний клапан, там його тиск знижується, після чого він готовий до нового циклу.

Теплові насоси можуть перетворювати низькотемпературне тепло з надр, підземних вод або гірських порід на більш високий рівень, який може бути корисним для низькотемпературного опалення (рисунок 3.1.11). Влітку, коли земля холодніша за навколишнє повітря, геотермальні системи неглибокого залягання циркулюють теплоносії між будівлею та ґрунтом, а отже, утилізують тепло, що надходить з землі, оминаючи тепловий насос.

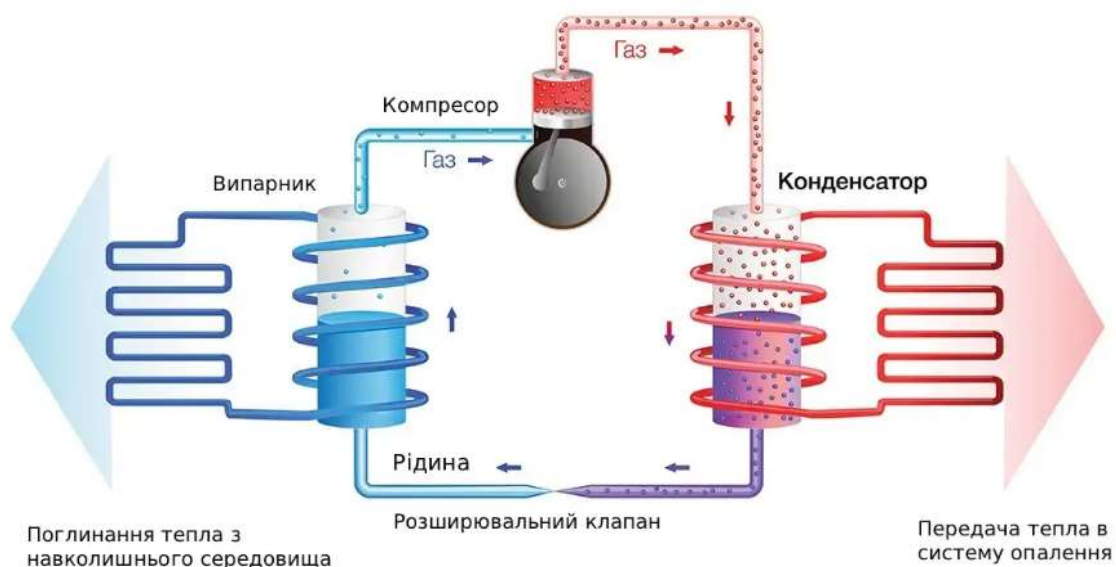


Рисунок 3.1.10 – Принцип дії теплового насоса

По суті, тепло будівлі транспортується до землі, де воно зберігається для вилучення взимку ("природне охолодження"). Таким чином, та ж сама геотермальна система неглибокого залягання виконує функції опалення та охолодження. Реверсивні теплові насоси в малих кондиціонерах найчастіше використовуються лише для охолодження і тому не розглядаються як відновлювані джерела тепла.



Рисунок 3.1.11 – Геотермальні системи неглибокого залягання доступні в різних типах відповідно до місцевого джерела тепла у вологому/сухому ґрунті [73]

Загалом, існує два основні типи теплових насосів:

- 1) парокompресійні теплові насоси, що використовують електроенергію або двигун внутрішнього згоряння для керування тепловим процесом;
- 2) абсорбційні теплові насоси, що використовують високотемпературне тепло для керування тепловим процесом.

Компресійні теплові насоси використовують два джерела енергії: джерело тепла та електроенергію. Основним питанням при встановленні теплового насосу є вибір джерела низькопотенційної теплоти, в якості якого може бути

використане будь-яке джерело теплоти доступне в зимовий час і має достатній температурний потенціал, який забезпечує необхідну ефективність. Теплоту від джерел низькопотенційної теплоти відбирає холодоагент, який рухається по зовнішньому контуру установки теплового насоса. Джерелом низькопотенційної теплоти може бути ґрунтова, морська та річкова вода, каналізаційні стічні води, ґрунт, повітря, витяжне повітря системи вентиляції тощо. На рисунку 3.1.12 представлені різні джерела тепла для теплових насосів, починаючи від джерел з найвищою до найнижчої температури.



Рисунок 3.1.12 – Загальний огляд джерел тепла від найвищої до найнижчої температури [61]

Встановлення теплового насоса для системи опалення є доцільним для гарно ізольованих будівель, в яких питома теплова потужність системи опалення до одиниці загальної площі будівлі менше  $50 \text{ Вт/м}^2$ . Використання ТН в будівлях з більшими питомими тепловими втратами призведе до зростання капітальних та експлуатаційних витрат або взагалі не може бути технічно реалізовано.

Для автономного теплопостачання котеджів, окремих будинків, міських районів, населених пунктів використовують переважно парокомпресійні теплові насоси тепловою потужністю 10-30 кВт (котеджі, окремі будинки) і до 5 МВт

(для районів і населених пунктів). Вибір режиму роботи і номінальної потужності теплового насоса залежить як від джерела низькопотенційної енергії, так і від теплоізоляції будинку та типу опалювальної системи.

Енергетичний баланс ТН:

$$Q_{\text{конд}} = Q_{\text{вип}} + L_{\text{комп}}, \quad (3.1.1)$$

де

$Q_{\text{конд}}$  - теплота, відведена від конденсатора;

$Q_{\text{вип}}$  - теплота, що підводиться до випарника;

$L_{\text{комп}}$  - робота компресора.

Ідеальний коефіцієнт перетворення теплоти ТН:

$$COP_{\text{ід}} = \frac{Q_{\text{конд}}}{L_{\text{комп}}} = \frac{Q_{\text{конд}}}{Q_{\text{конд}} - Q_{\text{вип}}} = \frac{T_{\text{конд}}}{T_{\text{конд}} - T_{\text{вип}}}, \quad (3.1.2)$$

де

$T_{\text{конд}}$  - температура конденсації робочого тіла у конденсаторі;

$T_{\text{вип}}$  - температура випаровування робочого тіла у випарнику.

Якби тепловий насос був цілком досконалим, то при температурі кипіння  $+5^{\circ}\text{C}$  ( $T_2=278\text{K}$ ) і при температурі конденсації  $55^{\circ}\text{C}$  ( $T_1=323\text{K}$ ) він міг би працювати з коефіцієнтом перетворення рівним 5,56.

Насправді, коефіцієнт перетворення буде менше, тому що цілком досконалих машин не буває, і ступінь зменшення реального коефіцієнта перетворення від теоретично можливого залежить від безлічі факторів, зокрема: фізичні розміри теплообмінних апаратів, властивості холодильного агента, особливості процесу стиснення в компресорі тощо.

Реальний коефіцієнт перетворення теплоти ТН визначається за формулою:

$$COP_{\text{реал}} = \alpha \frac{T_{\text{конд}}}{T_{\text{конд}} - T_{\text{вип}}}, \quad (3.1.3)$$

де

$\alpha$  - сумарний коефіцієнт втрат ТН (втрати в циклі, втрати в компресорі, втрати від необоротності при теплопередачі та ін.).

Для теплового насоса «повітря-вода» COP залежить від температури зовнішнього повітря і температури лінії подачі (рисунок 3.1.13) [62]. Насправді, коефіцієнт перетворення буде менше, ступінь зменшення реального коефіцієнта перетворення від теоретично можливого залежить від безлічі факторів, зокрема: фізичні розміри теплообмінних апаратів, властивості холодильного агента, особливості процесу стиснення в компресорі тощо.

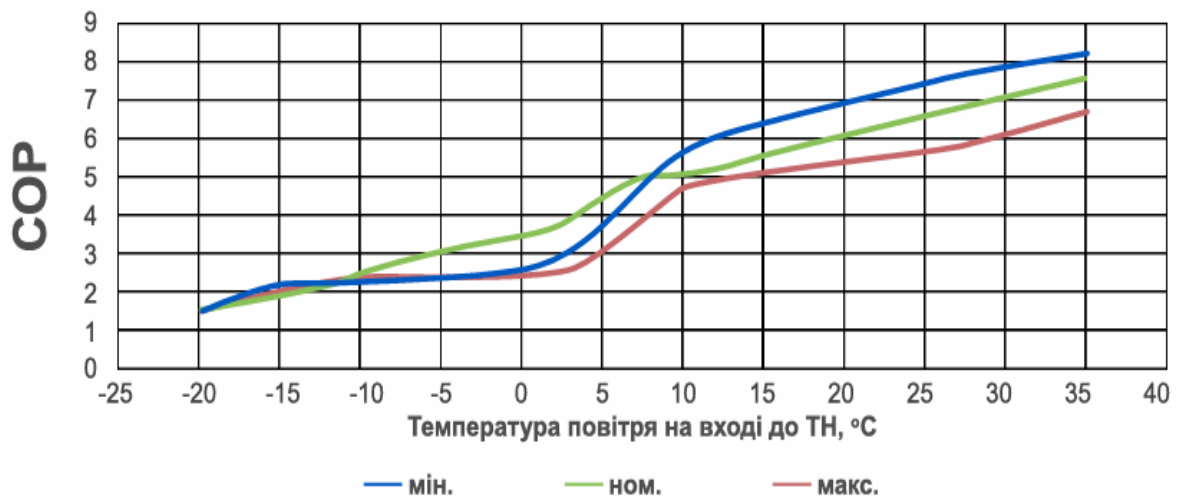


Рисунок 3.1.13 – Залежність COP теплового насоса від температури зовнішнього повітря

Потужність і COP ґрунтового ТН залежить від температури джерела теплоти (температури розсолу) і температури лінії подачі (рис. 3.1.14) [62].

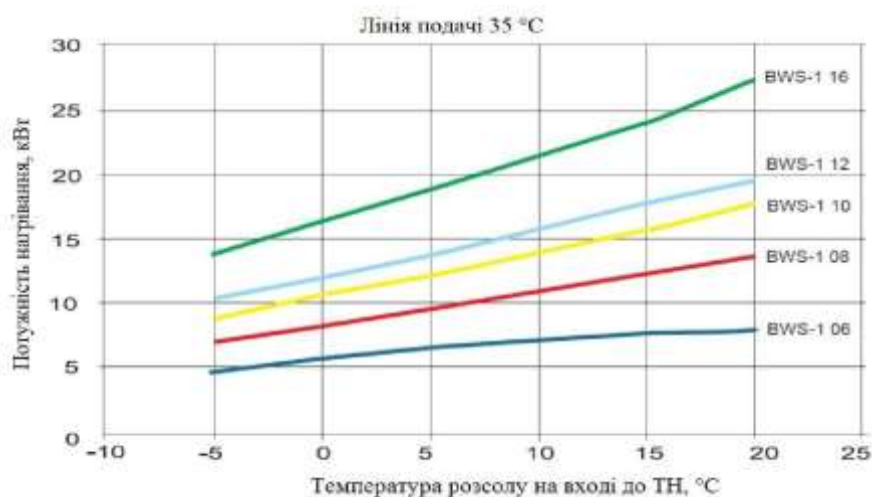


Рисунок 3.1.14 – Залежність потужності від температури розсолу для різних ґрунтових ТН [73]

Деякі переваги теплового насоса перед іншими системами [62]:

1. Економічність (табл. 3.1.1). ТН виробляє енергії в 2–7 разів більше, ніж споживає; споживає електроенергії в 3–7 разів менше, ніж електроопалення рівної потужності. Для передачі в систему опалення 1 кВт·год теплової енергії ТН необхідно витратити всього 0,2 – 0,35 кВт·год електроенергії.

Таблиця 3.1.1 – Вартість 1 кВт·год теплової енергії при різних енергоносіях

Вартість енергоносіїв			
Енергоносій	Тариф	ККД котлів і COP ТН	Вартість 1 кВт·год отриманої теплоти
Газ	20,4 грн/ м <sup>3</sup>	90%	3,085 грн.
Електроенергія	8,38 грн. / кВт·год	100%	8,38 грн.
Дизельне паливо	52,27 грн./л	90%	5,25 грн.
Пелети	8150 грн. / т	80%	1,08 грн.
Теплова мережа	2586,6 грн/Гкал	-	2,22 грн.
Тепловий насос	8,38 грн/кВт·год	COP=3,7	2,26 грн.

2. Широке застосування. Необхідність в теплоті існує і далеко від газових магістралей і ліній електропередач. Для приводу компресора в деяких моделях використовують дизельні або бензинові двигуни.

3. Екологічність. Агрегат не спалює паливо, тобто, не утворюються шкідливі окиси типу CO, CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, SO<sub>2</sub>, PbO<sub>2</sub>, тому навколо будинку на ґрунті немає залишків сірчаної, азотистої, фосфорної кислот і бензольних з'єднань. Фреони не містять хлорвуглецю і не руйнують озоновий шар.

4. Універсальність. ТН може переключатися з режиму опалення на режим кондиціонування влітку. Влітку ТН відбирають теплоту з повітря будинку, охолоджуючи його. Надлишкову енергію іноді відводять на підігрів басейну.

5. Безпека. Ці агрегати практично вибухо- і пожежобезпечні. Немає палива, відкритого вогню, небезпечних газів або сумішей, вихлопу, сажі і запаху солярки, відсутнє витікання газу та розлив мазуту, сховищ для зберігання палива.

6. Термін окупності системи в залежності від схеми складає 3–7 років, а термін служби до капітального ремонту системи 15 – 20 років (45 тис. годин для ТН з поршневим компресором; 60 тис. годин для ТН з гвинтовим компресором).

7. Термін служби свердловини або ґрунтового колектора складає близько 100 років. ТН може також використовуватися для ГВП.

*До недоліків геотермальних ТН слід віднести велику вартість обладнання, дорогий монтаж зовнішніх підземних або підводних теплообмінних контурів.*

*Недоліком повітряних ТН є більш низький коефіцієнт перетворення теплоти, пов'язаний з низькою температурою кипіння холодоагенту в зовнішньому «повітряному» випарнику. Загальним недоліком ТН є порівняно низька температура води, що нагрівається  $+ 50\text{ }^{\circ}\text{C} \div + 60\text{ }^{\circ}\text{C}$ .*

На даний час конструкції теплових насосів достатньо довговічні та надійні:

- побутові теплові насоси класу «повітря-повітря» – 15 років;
- теплові насоси сфери обслуговування класу «повітря-повітря» – 15 років;
- теплові насоси сфери обслуговування класу «вода-повітря» – 20 років.

### **3.1.8 Використання енергії сонця та комбінація роботи систем з тепловими насосами**

Сонячна енергія доступна в вигляді двох технологій (рис.3.1.16):

- **сонячні колектори** для підігріву води,
- **сонячні батареї** для виробництва електричної енергії з подальшим використанням на інші потреби (ГВП, кондиціонування, освітлення та ін.).



Рисунок 3.1.15 – Сонячні панелі (ліворуч) та сонячні колектори (праворуч)

Сонячні колектори можуть дати більше енергії з  $1\text{m}^2$ , що може бути важливим для будівель зі значними споживанням гарячої води в літній період. Слід відзначити системи, що дозволятимуть утилізувати скидне тепло з систем кондиціонування для потреб ГВП

**Підхід для вибору між зазначеними технологіями:**

- якщо площі (даху, стіни) дозволяють розмістити сонячні батареї, що забезпечуватимуть потребу в ГВП– необхідно віддавати перевагу таким системам з огляду на їх універсальність.
- лише за умови, що площ недостатньо – застосовувати сонячні колектори.

Наступним обмеженням використання таких систем може бути *низьке споживання* енергії будівлею в літній період (освітні заклади).

В літній період потрібно закрити максимум потреб в енергії для будівлі.

**Використання сонячного випромінювання**

Площа будівель, придатна для використання сонячної теплової енергії та фотовольтаїки, залежить від орієнтації будівель, рівня сонячного випромінювання, а також доступності дахів і незатінених фасадів. Розмір дахових площ збільшується зі зростанням площі фундаменту, але їх ефективність для збору енергії може зменшуватися. Важливо враховувати конструктивні особливості дахів та стійкість будівлі, особливо в історичних районах, де старі будівлі часто мають обмежену придатність дахів для енергетичних цілей. Багатоповерхові з плоскими дахами забезпечують значно легший доступ для встановлення колекторів. Однак у таких будинках площа дахів може бути недостатньою щодо загальної площі поверхів, тому фасади

стають додатковою альтернативою. Якщо між будівлями є достатні проміжки, фасади можуть використовуватися ефективніше завдяки меншому затіненню. У щільно забудованих центрах міст фасади частіше зазнають затінення.

Згідно з даними Федеральної асоціації енергетики та водного господарства, середнє щорічне виробництво сонячного тепла 250 кВт·год/м<sup>2</sup>. Для оцінки потенціалу геліотермальної або фотовольтаїчної енергії в Німеччині використовують сонячні кадастри, які охоплюють багато регіонів. Варіанти застосування геліотермальних колекторів див. рис. 3.1.16.



Рисунок 3.1.16 – Температурний діапазон сонячної теплової енергії для вироблення тепла та типові варіанти її використання [63]

### Сонячне теплопостачання

Зростає інтерес до використання сонячних колекторів у системах централізованого теплопостачання, навіть у районах, що постачаються від ТЕЦ. Менше 3% ринку сонячного тепла в Європі використовується в системах централізованого теплопостачання, але ці системи максимально використовують великомасштабні сонячні теплоелектростанції. Перші станції, встановлені у

1980-х роках, часто мали вдосконалене сезонне сховище, як, наприклад, станції у Стадсвік та Лікебо у Швеції (рис. 3.1.17).

Протягом останніх 10-15 років більшість станцій у Європі мають наземні колекторні поля та безнапірні резервуари для добового зберігання води. З економічної точки зору привабливим є встановлення поля сонячних колекторів на землі, однак, в деяких країнах висока ціна на придбання землі може зробити більш привабливим розміщення колекторів на дахах будівель.

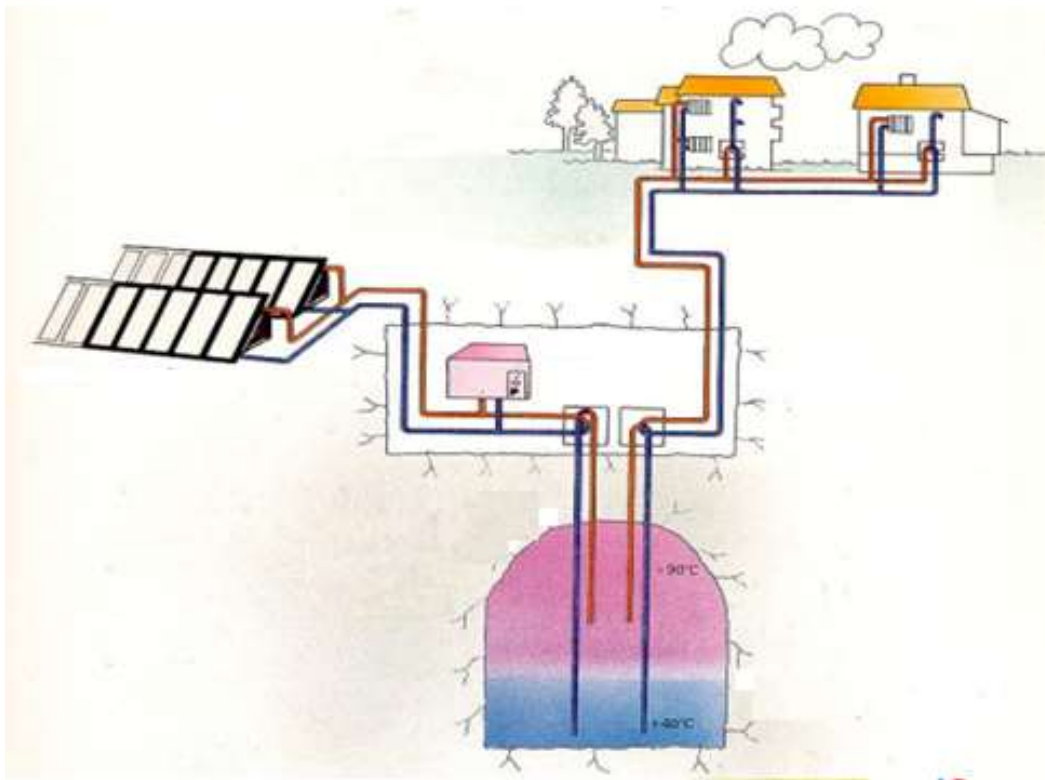


Рисунок 3.1.17 – Схематичне зображення станції тепlopостачання у м.Лікебо у Швеції з використанням ВДЕ на 500 приватних будинків

Джерело: <https://www.iea-dhc.org/>

### **Нові технології використання енергії Сонця**

У китайській провінції Ганьсу побудовано першу у світі сонячну електростанцію з двома вежами. Близько 30 тисяч дзеркал спрямовують сонячне світло на вершини 200-метрових конструкцій, де тепло розплавляє спеціальний сольовий розчин. Цей розчин передає енергію паровим турбінам.

За день система накопичує достатньо тепла, щоб турбіни продовжували працювати і вночі, забезпечуючи цілодобову генерацію. Потужності станції вистачає для постачання електрики приблизно 80 тисяч будинків. Річне виробництво очікується на рівні понад 1,8 мільярда кіловат-годин.

### 3.1.9 Використання біомаси і місцевих видів палива

Енергетичне використання біомаси передбачає різні варіанти (рисунок 3.1.18). Водночас біомаса може бути у твердому (наприклад, пелети), рідкому (наприклад, біомазут) або газоподібному вигляді. Завдяки різним можливостям використання біомасу, можна легко адаптувати до місцевих умов. При цьому рідка та тверда біомаса не потребує застосування інфраструктури енергозабезпечення, це перевага територій без газових мереж.



Рисунок 3.1.18 – Температурні режими для різних видів біомаси [63]

Біомасу можна використовувати для централізованого постачання тепла, що сприяє стабільності енергосистеми. У сільській місцевості біомаса (біовідходи, деревина, шлами) може поєднуватися з великими сонячними системами, зменшуючи потребу в паливі влітку, за умов наявності локальних тепломереж. У міських громадах через щільну забудову потенціал біомаси обмежений, а її безпосереднє використання часто викликає спротив населення через викиди й

потребу в місцях для зберігання. Мережі централізованого теплопостачання можуть використовувати біомасу з приміських територій. Однак збільшення її використання довгостроково може спричинити дефіцит, оскільки біомаса, хоча й відновлювана, має обмежений обсяг і конкурує з іншими галузями, як-от харчова й промислова. Тому кожна країна має розробити стратегію раціонального використання біомаси [73].

### 3.1.10 Приклади проєктів комбінованих систем енергопостачання

У Європі спостерігається великий інтерес до аналізу комбінацій систем сонячного опалення та централізованих систем теплопостачання з низькими температурами подачі (50 °С). У Данії і Німеччині були зроблені пропозиції щодо «двосторонніх» систем централізованого теплопостачання, в яких сонячні колектори, встановлені на даху, виробляють теплову енергію, яка може бути використана в будівлі та/або відправлена до мережі централізованого теплопостачання, наприклад проєкт Ring Søpark у м.Бредstrup (рис. 3.1.19) [73].

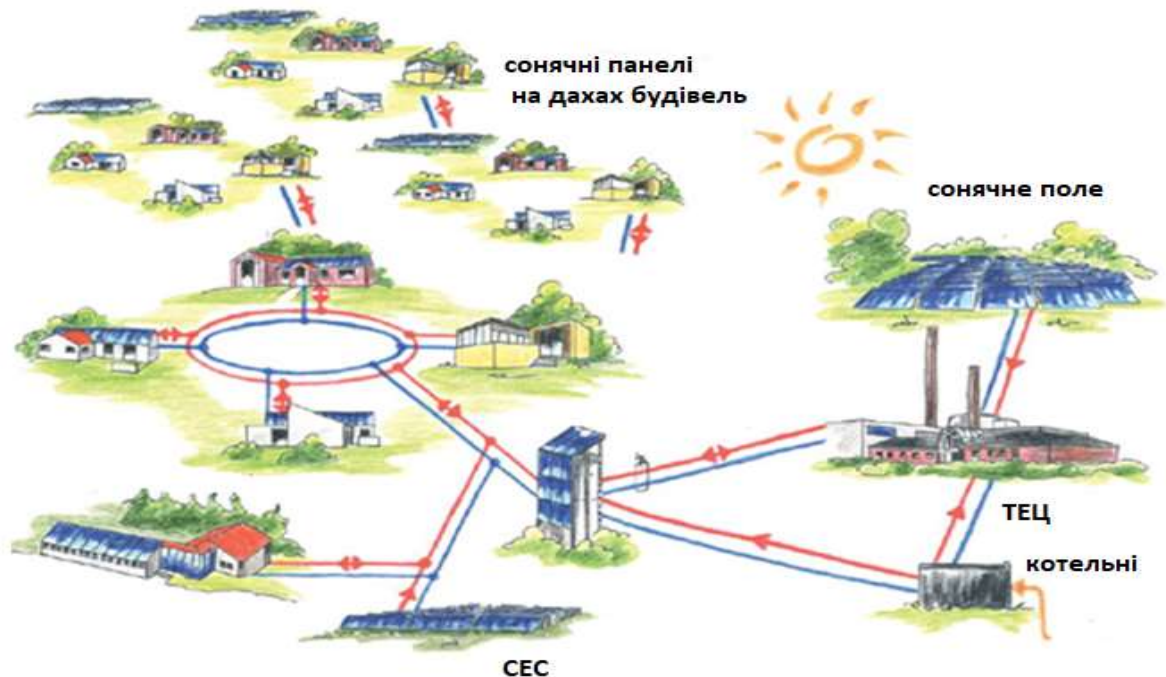


Рисунок 3.1.19 – Сонячні колектори на дахах нових будівель, інтегровані до двосторонньої мережі централізованого теплопостачання - на додаток до існуючого сонячного поля поруч з ТЕЦ, Бредstrup (2008) [73]

У Швеції були реалізовані проекти з прямим підключенням до мережі ЦТ. Приклад – м.Мальме, де сонячне тепло використовується для централізованого теплопостачання, постачаючи тепло як до нових, так і до існуючих будівель житлового комплексу площею 85 000 м<sup>2</sup> за допомогою інтегрованих в дах або встановлених на даху колекторів (рис. 3.1.20). Система включає: 120 м<sup>2</sup> фотоелектричних панелей, 1400 м<sup>2</sup> сонячних теплових колекторів, вітрогенератор 2 МВт, водоносні горизонти для сезонного зберігання енергії, що працюють із ТН потужністю 1,2 МВт для тепла й охолодження [73]. Сонячні панелі встановлені на десяти будівлях і підключені до мережі централізованого теплопостачання. E.ON володіє цими панелями та має угоди з власниками будинків. Енергетичні установки інтегровані в існуючі електромережі.



Рисунок 3.1.20 – Західна гавань, Мальме, Швеція

### **3.1.11 Стратегія розвитку України: розосереджена генерація**

Для ефективної роботи енергетичної системи в умовах постійних атак географічно генерація має бути розосереджена по всій території держави. Стійку мережу можуть створити невеликі за розміром енергоджерела, але їх кількість повинна збільшитися, щоб не залежати від централізованого постачання. Тобто у разі пошкодженні магістральних ліній і систем електропостачання все одно буде йти. Покращити ситуацію може спорудження невеликих електростанцій потужністю від 5 до 20-30 мегават. Це можуть бути сучасні маневрені і потужні

енергосистеми з високим ККД. Також необхідні ефективні і потужні системи накопичення енергії. Третій крок - це нова генерація. Перспективним напрямком є використання когенераційних установок, що дозволяють здійснити одночасну генерацію електро- та теплоенергії. Установки можуть використовувати для виробництва електрики як природний газ, так і на 100% відновлювані джерела енергії: біогаз, газ стічних вод, шахтний, звалищний газ.

### **Питання для самопідготовки**

1. Вкажіть переваги та недоліки систем централізованого теплопостачання.
2. Назвіть основні етапи розвитку централізованого теплопостачання.
3. Охарактеризуйте 5-те покоління розвитку систем теплопостачання.
4. Вкажіть основні підходи до розвитку комбінованих систем теплопостачання.
5. Якими факторами обумовлюється вибір варіанта впровадження ВДЕ в систему централізованого теплопостачання.
6. Вкажіть режими роботи комбінованих систем і наведіть пояснення.
7. Поясніть принцип роботи теплового насоса.
8. Які відновлювані ресурси використовують теплові насоси в якості джерела тепла? Наведіть схеми теплообмінників теплових насосів.
9. Як визначається коефіцієнт перетворення теплового насоса COP? Від чого він залежить?
10. Назвіть переваги теплового насоса перед іншими системами.
11. Наведіть технології і приклади використання енергії сонця.
12. Наведіть приклади використання біомаси для теплопостачання, а також вкажіть температурні діапазони для різних видів біомаси.
13. Розкажіть відомі вам приклади застосування комбінованих систем енергопостачання.
14. Якою має бути стратегія розвитку систем енергопостачання на вашу думку, зважаючи на виклики і руйнування внаслідок військових дій?

## 3.2 Розумні будинки: підсистеми, пристрої та можливості

### 3.2.1 Що таке "Розумний будинок" та «Інтелектуальна будівля»

Словосполучення «Smart home» («Розумний будинок») та «Intelligent building» («Інтелектуальна будівля») можуть викликати в уяві образи високотехнологічних будівель, оснащених комп'ютерними системами і високотехнологічними пристроями, в яких робота виконується системами будівлі, а мешканці є майже зайвими. Поняття "Розумний будинок" більш характерне для застосування у приватних домогосподарствах, а поняття "Інтелектуальна будівля" застосовується для комерційних споруд типу бізнес-центрів чи громадських будівель. В останніх використовуються дещо інші технології і підходи до автоматизації та різна мета. У «Розумному будинку» в першу чергу – це комфорт власника, в інтелектуальній будівлі – досягнення високої енергоефективності. «Інтелектуальні будівлі» та їх системи повинні бути високочутливими та адаптивними до конкретних характеристик організації [73].

Термін «Інтелектуальна будівля» (Intelligent Building) використовується з початку 1980-х років. Перше визначення, запропоноване Інститутом інтелектуальних будівель (Intelligent Buildings Institute), визначає **«Інтелектуальну будівлю»** як «таку, що забезпечує продуктивне і економічно ефективне середовище за рахунок оптимізації чотирьох основних елементів: структури, систем, послуг і управління, а також взаємозв'язку між ними». Наприкінці 1980-х і 1990-х років Європейська група з інтелектуальних будівель (European Intelligent Buildings Group) запропонувала нове визначення, згідно з яким **інтелектуальна будівля** «створює середовище, яке максимізує ефективність роботи користувачів будівлі, в той же час забезпечуючи ефективне управління ресурсами з мінімальними витратами на обладнання та устаткування протягом усього терміну експлуатації», змістивши акцент на потреби користувачів, які повинні задовольнятися за допомогою технологій [73].

Сьогодні «Розумна будівля» складається з великого і різноманітного набору послуг, додатків, обладнання, мереж і систем, які діють разом, забезпечуючи "розумний" або "підключений" будинок для вирішення питань безпеки і контролю, зв'язку, дозвілля і комфорту, екологічної інтеграції та доступності.

Отже, технологія "**Розумний будинок**" (Smart Home) — це інтегрована система, яка забезпечує автоматичний контроль і управління пристроями та інженерними системами через Інтернет або локальну мережу. Розвиток технології «Розумна будівля» тісно пов'язаний з комп'ютерами, інформаційними технологіями та високими технологіями [73].

### 3.2.2 Еволюція технологій

Термін «інтелектуальна будівля» виник у США на початку 1980-х років і застосовувався для позначення будівель, оснащених складними телекомунікаційними, мережевими та системами управління, які забезпечували мешканців або орендарів спільними сервісами. Розвиток таких будівель був тісно пов'язаний із прогресом інформаційних технологій (ІТ) того періоду. Пізніше інтелектуальні системи в будівлях зазнали трансформації (рис. 3.2.1).



Рисунок 3.2.1 - Моделі «Інтелектуальних будівель» (джерело: ІВЕ, 1992)

**Управління будівлею** - це управління фізичним середовищем будівель з використанням як людських систем (фасиліті менеджмент), так і комп'ютерних систем (системи автоматизації будівель).

**Управління простором** - це управління внутрішнім простором будівлі в часі. Загальними цілями ефективного управління простором є управління змінами та мінімізація операційних витрат.

**Управління установою** - це управління основною діяльністю організації. У більшості випадків це можна охарактеризувати як поєднання обробки, зберігання, представлення та передачі інформації.

Кожна з трьох організаційних цілей може бути переведена в ряд ключових завдань, таких як контроль мікроклімату в будівлі, доступ користувачів до систем мікроклімату, управління змінами, мінімізація операційних витрат, а також обробка, зберігання, представлення та передача інформації. Будь-яка організація може використовувати ці завдання для розробки профілю вимог - опису того, що потрібно від будівлі для її ефективного функціонування [73].

В 1990-х роках проєкт ІВЕ запропонував модель «Інтелектуальної будівлі», яка принципово відрізнялася від попередніх концепцій (рисунок 3.2.2).



Рисунок 3.2.2 – Модель «Інтелектуальної будівлі» ІВЕ [73]

У цій моделі основна увага приділялася користувачам/мешканцям будівлі та їхнім завданням, а не комп'ютерним системам. Інформаційні технології були визнані одним із способів, за допомогою яких будівля може допомагати або заважати мешканцям, але інформаційні технології не є причиною існування будівлі. Модель стверджує, що трьома основними цілями «організації, що займає будівлю, є управління будівлею, управління простором і управління установою».

Незважаючи на те, що існує безліч поглядів на тему розвитку технології «Розумна будівля», яка постійно змінюється, стає все більш очевидним, що **інтелектуальна будівля** - це підключена та ефективна будівля. Підключена будівля може похвалитися інтегрованою комунікаційною інфраструктурою, яка підтримує дротові та бездротові мережі і додатки. Вона також полегшує зв'язок між людьми, між людьми і машинами та між машинами всередині будівлі і з зовнішнім світом за допомогою сучасної інтелектуальної, гнучкої, дротової і бездротової платформи. Платформа підтримує дротову локальну мережу, Wi-Fi, внутрішню бездротову мережу, аудіо/візуальні, сенсорні, освітлювальні та інші додатки для управління будівлею. Будівлі також підключаються до хмарних технологій, що є невід'ємною частиною «Розумних мереж» і «Розумних міст» [73].

### 3.2.3 «Розумні» терміни

**Розумна Мережа (Smart Grid)** – електрична мережа, яка може розумно інтегрувати дії всіх підключених до неї користувачів - виробників і споживачів, а також тих, хто робить і те, і інше - з метою ефективного забезпечення сталого, економічного та безпечного постачання електроенергії. Вона використовує інноваційні продукти та послуги разом з інтелектуальними технологіями моніторингу, управління, комунікації та самовідновлення [*Визначення Європейської технологічної платформи Розумні Мережі (ETPSG)*].

**Система будівельного енергоменеджменту (Buildimng Energy Management System (BEMS))** – це комп'ютерна система управління, яка контролює і відстежує роботу обладнання в будівлі наприклад, вентиляції, опалення, освітлення, інших інженерних систем тощо. Іноді її називають системою управління будівлею (BMS). Вона з'єднує ці системи з центральним комп'ютером, що дозволяє контролювати час увімкнення/вимкнення, вологість, температуру тощо [73].

**Мікромережа (Microgrid)** – невелика локалізована енергетична мережа з власними генеруючими та накопичувальними блоками, які працюють незалежно та автоматично контролюються для забезпечення енергією групи з однієї або кількох будівель. Джерела енергії можуть включати електростанції з відновлюваними джерелами енергії (наприклад, фотоелектричні панелі, вітрогенератори), дизельні генератори, геліоколектори тощо або комбінацію таких технологій [73].

**Розумне місто (Smart City)** – це місце, де традиційні мережі та послуги стають більш ефективними завдяки використанню цифрових рішень на користь його мешканців та бізнесу. Розумне місто виходить за рамки використання цифрових технологій для кращого використання ресурсів та зменшення викидів. Це означає розумніші міські транспортні мережі, модернізовані системи водопостачання та утилізації відходів, ефективні способи освітлення та опалення будівель. Це також означає інтерактивну та оперативну міську адміністрацію, безпечніші громадські простори та задоволення потреб літнього населення [73].

### **3.2.4 Компоненти «Розумного будинку»**

Головні компоненти «Розумного будинку» [73] (рис.3.2.3):

#### **1. Центральний контролер**

Це головний елемент системи, який виконує роль «мозку» будинку, який отримує та обробляє інформацію про роботу всіх пристроїв і команд із точок управління, розпізнаючи різноманітні ситуації та керуючи іншими системами

відповідно до заданих алгоритмів. Центральний контролер координує роботу всієї інфраструктури будинку — від простих ламп до складних систем вентиляції чи опалення, забезпечуючи їх ефективну взаємодію. Може бути у вигляді спеціалізованого хаба (наприклад, на основі Zigbee або Z-Wave) або програмного забезпечення, встановленого на смартфон чи комп'ютер. Контролер дозволяє налаштовувати сценарії, автоматизацію та віддалене керування [73].

## **2. Датчики і сенсори**

Включають пристрої для виявлення змін у середовищі (априклад, датчики руху, температури, вологості, освітленості, диму, протікань води, вібрації тощо). Вони служать для збору даних і передачі сигналів до центрального контролера.

## **3. Розумні пристрої**

Пристрої, що виконують конкретні функції та можуть бути автоматизовані. Приклади: розумні лампи, термостати, розетки, камери відеоспостереження, замки, побутова техніка з функцією IoT (холодильники, пральні машини, роботи-пилососи). Взаємодіють з центральним контролером через команди або сценарії.

## **4. Системи передачі даних**

Забезпечують зв'язок між пристроями. Сюди входять бездротові технології (Wi-Fi, Zigbee, Z-Wave, Bluetooth, LoRa) та дротові протоколи (Ethernet, KNX). Вибір залежить від масштабу та вимог до швидкості і стабільності зв'язку.

## **5. Джерела енергії**

Необхідні для живлення пристроїв і підтримки роботи системи. Можуть бути традиційними (електромережа) або автономними (сонячні панелі, акумулятори). Для критично важливих компонентів часто використовуються резервні джерела живлення, щоб забезпечити їхню роботу навіть у разі збою електропостачання.

Залежно від їхнього використання, до складу компонентів розумного будинку можуть належати розумні лічильники (Smart Meters), які базово є елементом "Розумної мережі" (Smart Grid).

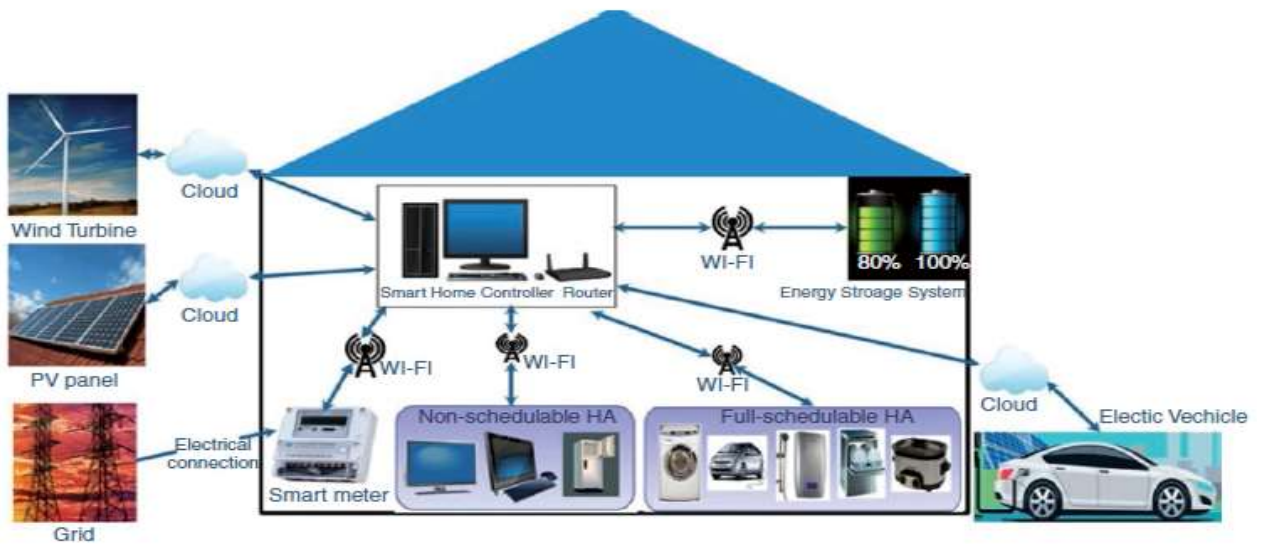


Рисунок 3.2.3 - Компоненти «розумного будинку» [69]

Якщо лічильники інтегровані в систему автоматизації будинку для:

- контролю споживання ресурсів у реальному часі,
- взаємодії з іншими пристроями,
- оптимізації енергоспоживання,

вони є частиною "Розумного будинку", оскільки керують ресурсами в межах будівлі.

Якщо ж вони працюють у масштабах міста для:

- збору даних з багатьох об'єктів,
- управління енергопотоками,
- взаємодії з постачальниками,

їх відносять до "Розумної мережі".

Таким чином, розумні лічильники займають проміжну позицію, виконуючи локальні завдання "Розумного будинку" або масштабні функції "Розумної мережі". Основними підсистемами «Розумного будинку», якими керує центральний контролер є: контроль клімату, освітлення, мультимедійні функції (аудіо та відео), охоронні комплекси, засоби зв'язку тощо. Ці підсистеми схематично представлені на рисунку 3.2.4.

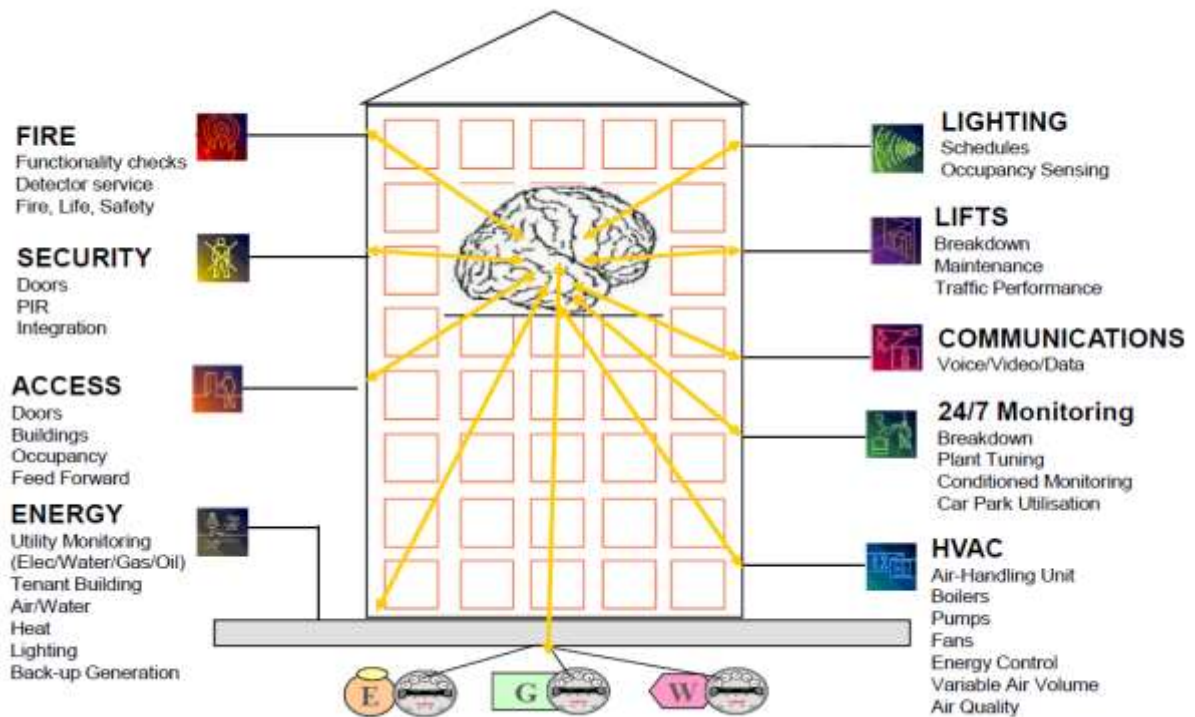


Рисунок 3.2.4 - Підсистеми «Розумного будинку» [73]

Отже, «Розумний будинок» також можна визначити як автоматизовану систему керування різними елементами домашньої інфраструктури, об'єднуючи програмне й апаратне забезпечення, датчики, а також дротові або бездротові мережі, що створює зручне та безпечне середовище для життя [73].

Основні *переваги такої системи* для власника включають: зменшення витрат на енергоресурси, підвищення рівня комфорту проживання, інтеграцію та координацію роботи всіх автоматизованих систем будинку з можливістю налаштування різних режимів, зниження ризику аварійних ситуацій, спрощення, прискорення та підвищення зручності керування усіма функціями будинку [73].

На рисунку 3.2.5 наведено перелік підсистем та критеріїв, за наявності яких в системі «розумного будинку» можна оцінити рівень його інтелектуальності.

## Фактори, що впливають на рівень інтелектуальності «розумної будівлі»

### 1) CR - Будівельні вимоги

- SLCM - Використання місцевих будівельних матеріалів
- EUW - Ефективне використання води
- WEL - Водоефективне озеленення
- MT - Матеріали: цегла з попелу, алюміній, рами, скло, фарба з низьким вмістом летких органічних сполук, та сертифіковане килимове покриття

### 2) EC - Контроль навколишнього середовища

- QUDL - Оптимальне використання денного світла
- MAQ - Підтримка якості повітря
- NAF - Природний потік повітря
- IA - Інсталяційне повітря
- HU - Припливно-витяжна установка
- CAE - Контрольована витяжка повітря
- ULCL - Використання світлодіодного та CFL освітлення

### 3) WM - Управління водними ресурсами

- RWH - Збір дощової води
- WEPF - Водоефективна сантехніка та світильники
- WTR & MD - Очищення, переробка та мінімальна утилізація води

### 4) DW - Утилізація відходів

- SWCS - Стратегії управління твердими побутовими відходами
- IP - Захист від проникнення: Запобігання проникненню пилу та зовнішніх
- пилу та зовнішніх елементів від проникнення в будівлю
- SNBDD - Відокремлення одноразових предметів, що не піддаються біологічному розкладанню
- GWH - Поводження із стічними водами

### 5) IBA - Інтелектуальні аспекти будівлі

- EEBS - Енергоефективні будівельні послуги
- IM - Управління інформацією
- BAS - Система автоматизації будівель
- SI - Системна інтеграція
- CWS & ND - Комунікаційні системи та проектування мереж
- FM - Фасиліті менеджмент
- IBT & D - Інтелектуальні будівельні технології та дизайн
- TM - Управління технологіями

### 6) IBM - Інтегроване управління будівлями

- EM - Енергетичний менеджмент
- AM - Моніторинг аварій
- HS - Система опалення, вентиляції та кондиціонування
- PSS - Програмне забезпечення PLC SCADA
- LC - керування освітленням
- LM - керування ліфтами

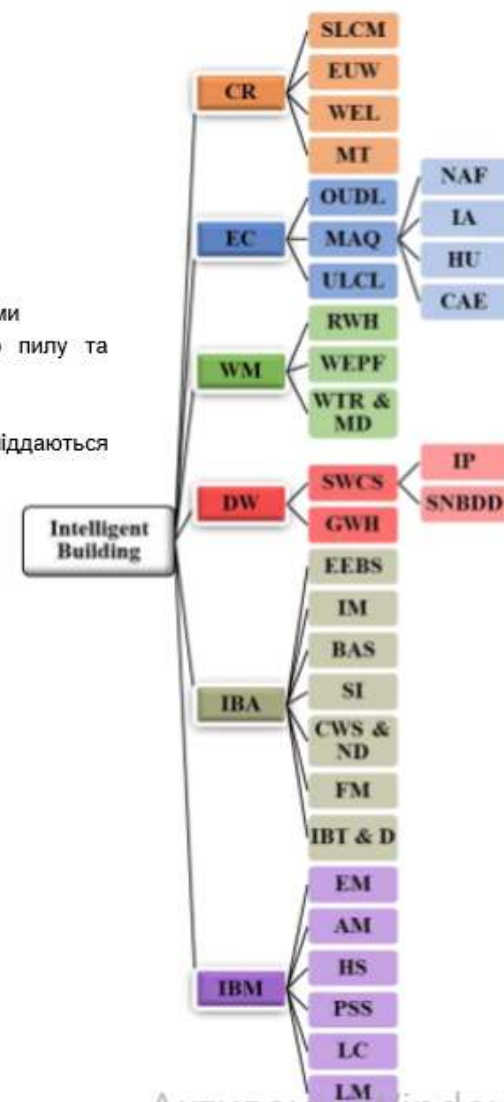


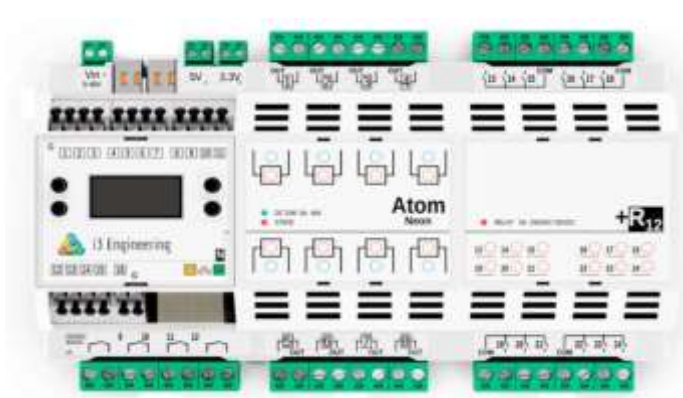
Рисунок 3.2.5 - Фактори, що впливають на рівень інтелектуальності «розумної будівлі» [73]

## Центральний контролер

Контролер – головний компонент системи «Розумний будинок», який об'єднує всі розумні прилади в єдину мережу. Контролер грає роль сполучної ланки між системою «Розумний будинок» і користувачем. Управління здійснюється за допомогою мобільних пристроїв (планшета, смартфона), різних вимикачів, панелей і пультів управління, персонального комп'ютера. Контролер віддає команди пристроям за бажанням власника, згідно заданому сценарію або на підставі поточної ситуації, наприклад, погодних умов. Всі дані в режимі реального часу збираються контролером для оптимізації попиту/виробництва та перевірки виконання заздалегідь визначених сценаріїв та цілей. Основні функції контролера можна узагальнити наступним чином [8]:

- збір даних з різних лічильників, команд власників будинків та енергосистеми через належну систему зв'язку;
- забезпечення належного моніторингу та аналізу споживання енергії в будинках енергоспоживання для власників будинків;
- координація між різними приладами та ресурсами для досягнення оптимального рішення для заздалегідь визначених цілей.

В системі «Розумного будинку» можуть використовуватися дротові та бездротові контролери (рисунок 3.2.6).



а) дротовий контролер



б) бездротовий контролер

Рисунок 3.2.6 - Приклади контролерів «Розумного будинку» [73]

## **Датчики і сенсори**

Датчики «Розумного будинку» - це пристрої, які здійснюють постійний моніторинг і збір даних в приміщенні і передають їх на центральний пульт управління (центральний контролер). Вони виконують ту ж роль, що і нервові закінчення у людини – зчитують інформацію із зовнішнього середовища, реагують на зміну клімату, освітлення, чистоти повітря та аварійно небезпечні випадки. Змінюється середовище, датчики передають сигнал про це на контролер – мозок розумного дому. Вони виконують дві функції [73]:

- повідомляють мешканцям будинку про стан мікроклімату: температура, вологість повітря; рівень CO<sub>2</sub>, рівень задимлення тощо;

- передають сигнали розумним пристроям будинку для виконання наперед запрограмованих сценаріїв, наприклад: температура повітря 27 °C – увімкнути кондиціонер; вміст CO<sub>2</sub> вище встановленого рівня – увімкнути систему вентиляції, або відкрити віконний клапан провітрювання; рівень освітленості нижче заданого значення – увімкнути освітлення ззовні; надто яскраве сонце – опустити жалюзі; період дії нічного тарифу на електричну енергію - увімкнути бойлер та систему теплоакumuляційного опалення тощо.

Датчики «Розумного будинку» можна поділити на два основних типи за способом встановлення [73]:

- провідні датчики. Вони підключаються до системи через фізичні кабелі. Зазвичай такі датчики встановлюються під час будівництва будинку або великого ремонту, оскільки потребують прокладання кабелів у стінах. Провідні датчики вважаються надійними, оскільки не залежать від якості Wi-Fi сигналу, але вони менш гнучкі щодо розташування та потребують більше часу на встановлення.

- бездротові датчики. Це ті датчики, які використовують Wi-Fi, Bluetooth або інші бездротові технології для з'єднання з контролером. Вони легко встановлюються та переміщуються по будинку, що робить їх ідеальним вибором для вже збудованих будинків або для тих, хто хоче поступово переходити на розумну технологію. Однак вони залежать від якості бездротового сигналу та можуть потребувати регулярної заміни батарей.

За призначенням датчики поділяють на [73]:

- **Датчики руху.** Реагують на активні дії, що відбуваються у зоні їхньої роботи. Часто використовуються для систем безпеки або автоматичного включення світла чи сигналізації.

- **Датчики присутності.** Датчики присутності чутливіші, ніж датчики руху. Такі датчики реагують на легкі дії людини, наприклад друк на клавіатурі, повернення голови у бік вікна тощо. Датчик присутності працює з пристроями освітлення, вентиляції, кондиціонування, ароматизації, побутової техніки тощо.

- **Датчики температури та вологості.** Використовуються для контролю мікроклімату. Вони можуть автоматично регулювати роботу систем опалення, вентиляції, кондиціонування, залежно від заданих умов.

- **Датчики CO<sub>2</sub>.** Датчики вуглекислого газу спрацьовують, коли в кімнаті перевищено допустимий рівень концентрації CO<sub>2</sub>. Надсилають сигнал системі припливної вентиляції, яка автоматично провітрює приміщення.

- **Датчики відкриття/закриття.** Встановлюються на дверях та вікнах. Використовуються для безпеки або контролю за температурою та якістю повітря в приміщенні.

- **Датчики диму та чадного газу.** Сповіщають про наявність диму або вуглецю в повітрі, що може вказувати на пожежу або витік газу.



Рисунок 3.2.7 – Датчики руху (а) та датчики диму та чадного газу (б)

- **Датчики витоку води.** Виявляють наявність витоку води та передають сигнал для перекриття подачі води до будівлі.
- **Датчики освітленості.** Вимірюють рівень освітленості в приміщенні і можуть автоматично регулювати роботу освітлювальних приладів або жалюзі.



Рисунок 3.2.8 – Датчики освітленості

### «Розумні» прилади

«Розумний будинок» — це набір різних розумних пристроїв і приладів, які працюють разом, створюючи дистанційно керовану мережу. «Розумні» пристрої можна запрограмувати на виконання певних розкладів чи команд [73].

Навантаження «Розумного будинку» можна розділити за характером роботи на дві категорії: заплановане та незаплановане навантаження. Незаплановане навантаження вмикається час від часу відповідно до бажань власника будинку без будь-якого передбачуваного режиму роботи,

наприклад, принтери, телевізори, кухонне обладнання, в той час як заплановане навантаження має передбачуваний режим роботи, який можна змінювати або контролювати за допомогою Системи енергетичного менеджменту будівлі (Building energy management system (BEMS)). До запланованого навантаження, наприклад, можемо віднести пристрої систем опалення, вентиляції, кондиціонування.

Електричні транспортні засоби можна розглядати як виняткове навантаження. Електромобілі мають два режими роботи: заряджання та розряджання. Таким чином, електромобілі є переривчастим запланованим навантаженням під час режиму заряджання. Більше того, батарея електромобіля також може розряджатися для подачі енергії в мережу під час критичних подій, що називається «від транспортного засобу до мережі» (vehicle-to-grid). За допомогою BEMS електромобілі можуть брати участь у постачанні навантаження в періоди високої ціни на електроенергію. У періоди низьких цін на електроенергію електромобілі відновлюють свою енергію з мережі [73].

### **Системи передачі даних**

Відповідно до характеристик будинку, можна обрати багато схем дротового зв'язку, таких як лінія електропередач (PLC), інтегрована схема (I2C) та послідовний периферійний інтерфейс або бездротові технології, такі як Zigbee, Wi-Fi, радіочастотна ідентифікація (RFID) та Інтернет речей (IoT). Наведемо найбільш поширені дротові та бездротові технології систем передачі даних: BACnet, Bluetooth Low Energy (BLE), EnOcean, Thread, Wi-Fi, ZigBee, Z-Wave, Z-Wave Plus, Jeweller.

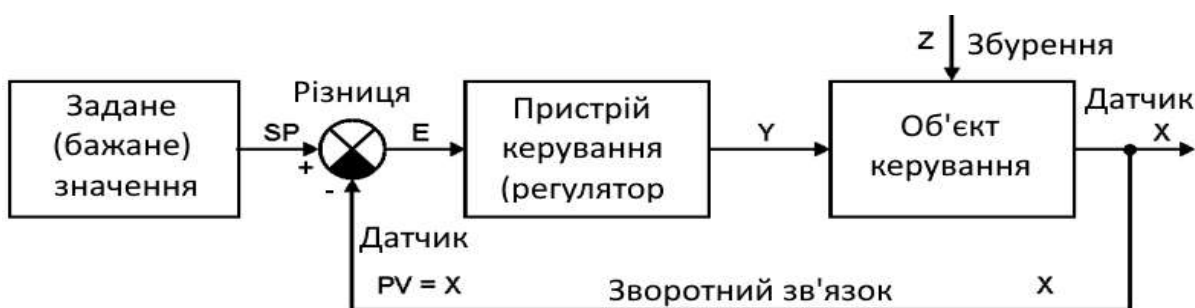
### **3.2.5 Автоматизація роботи інженерних систем**

Мета і завдання автоматизації [73]:

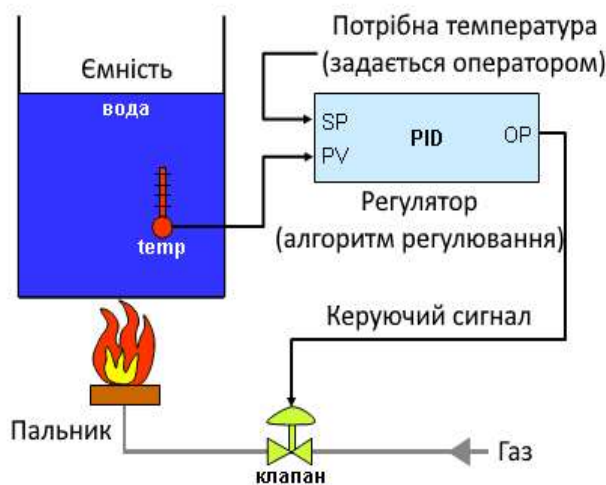
- енергозбереження та оптимізація споживання ресурсів;

- забезпечення комфортного середовища для користувачів;
- моніторинг та діагностика стану систем;
- управління роботою систем у реальному часі;
- інтеграція систем та централізоване управління;
- підвищення безпеки будівлі;
- забезпечення адаптивності та гнучкості процесів експлуатації будівлі;
- аналітика та прогнозування.

Структурна схема автоматичного керування показана на рис. 3.2.9.



а



б

Рисунок 3.2.9 – Структурна схема автоматичного керування (а) та приклад (б) [73]

### *Цикл керування «Збір даних → Обробка даних → Управління» [73]*

Системи автоматизації інженерних систем будівель працюють за принципом циклу керування, який складається з трьох основних етапів: збір даних, обробка даних та управління. Кожен з цих етапів є важливим для забезпечення правильного функціонування автоматизованих систем і оптимізації використання ресурсів будівлі.

Перший етап циклу автоматизації полягає в збиранні даних з різних датчиків, лічильників, вимірювальних пристроїв і інших компонентів системи. Ці датчики можуть бути встановлені в різних точках будівлі для контролю різних параметрів, таких як температура, тиск, вологість, рівень освітленості, рівень CO<sub>2</sub>, витрати води чи електроенергії тощо.

Наприклад, у системі ОВіК датчики температури і вологості збирають інформацію про кліматичні умови в приміщеннях. У системі електропостачання можуть бути встановлені лічильники для моніторингу споживання електричної енергії. Зібрані дані передаються в систему управління, де вони будуть проаналізовані і використані для прийняття рішень [73].

Другий етап — це обробка даних, що передбачає аналіз отриманих інформаційних потоків і порівняння їх з заданими параметрами або нормативами. Обробка може включати фільтрацію, порівняння з історичними даними або навіть використання алгоритмів для прогнозування майбутніх змін. Метою обробки є визначення того, чи відповідають поточні параметри заданим нормам або чи потрібно вживати заходів для корекції. Наприклад, у системі опалення система керування аналізує дані від датчиків температури, визначаючи, чи є потреба в додатковому обігріві на певних поверхах. Якщо температура нижча за встановлений поріг, система може ініціювати роботу котлів або збільшити температуру теплоносія. У системі освітлення обробка даних з датчиків освітленості може порівнювати рівень природного освітлення в

приміщенні з встановленими стандартами. Якщо природного освітлення недостатньо, система автоматично збільшує інтенсивність штучного освітлення [73].

Останній етап — це управління, коли на основі оброблених даних приймаються рішення щодо впливу на систему. Це може бути автоматичне коригування параметрів, запуск чи вимкнення певних пристроїв, налаштування швидкості вентиляторів або насосів тощо. Цей етап гарантує, що система працює з максимальною ефективністю та в межах заданих норм. Наприклад, у системі вентиляції на основі даних про рівень CO<sub>2</sub> або температури в приміщеннях автоматично регулюється швидкість вентиляторів. Якщо рівень CO<sub>2</sub> підвищується через велику кількість людей, система збільшує подачу свіжого повітря. У системі водопостачання управління може здійснюватися через регулювання насосних станцій в залежності від тиску в трубах. Якщо тиск падає нижче допустимого рівня, система може автоматично включити додаткові насоси для підтримки необхідного рівня тиску [73].

Цикл виконується неперервно, тобто пристрої керування постійно збирають інформацію з датчиків, розраховують по закладених алгоритмах потрібні дії та надсилають команди на виконавчі механізми.

При цьому використовуються різні датчики (температури, тиску, витрати, присутності, освітленості), спеціалізовані контролери для керування інженерних систем (теплопунктом, котлом, насосною станцією, вентустановкою тощо), виконавчі механізми (привід клапанів, насосів, вентиляторів, привід повітроустановки), екрани, дисплеї, індикатори та система диспетчеризації; протоколи спілкування (MODBUS, KNX, PROFIBUS, LONTalk, BACnet, HART) [73].

### 3.2.6 «Розумна мережа» як частина концепції «Розумного міста»

Ряд тенденцій (зумовлених технологічними, соціальними та політичними чинниками) зумовили розвиток нових підходів до проєктування, експлуатації та управління мережею. Загалом, ці тенденції включають посилення інтеграції відновлюваних джерел енергії в енергосистему, значне зростання на ринку частки «розумних» пристроїв (на якому спостерігається стрімке поширення Інтернету речей (IoT)), та збільшення розподілених енергоресурсів (дахові сонячні електростанції, накопичувачі за лічильником, електромобілі). На додаток до збільшення функціональності, яку ці тенденції приносять виробникам і споживачам енергії, вони також додають високий рівень складності операцій, пов'язаних з управлінням мережею [70].

Архітектура «Розумних мереж» Smart Grid модернізує енергосистеми за рахунок забезпечення двостороннього потоку енергії та зв'язок через модернізацію (діджиталізацію та інтелектуалізацію) енергетичних мереж [71]. Це забезпечить інтелектуальну автоматизацію процесів, інтеграцію відновлюваних джерел енергії та впровадження технології динамічного управління для забезпечення ефективного використання енергетичних ресурсів, [71]. Очікується, що енергетичні мережі еволюціонуватимуть за межі своєї класичної ролі як енергетичних комунальних підприємств і стануть інтерактивними платформами для розробки додатків і візьмуть на себе сучасну роль постачальників «розумних» послуг. Очікується, що майбутня *Smart Grid* стане розподіленою системою, це відкриє нові можливості для виробників та споживачів енергії відігравати активну роль в управлінні комунальним бізнесом, а також передачі електроенергії [73].

Розумні міста будуть в значній мірі покладатися на збір та обробку великих обсягів даних, що допоможе в оптимальному управлінні енергією, водою, транспортом, освітою, охороною здоров'я та деякими іншими

послугами і товарами. «Розумні міста» приділятимуть особливу увагу енергоефективності і відіграватимуть важливу роль у досягненні цілей сталого розвитку (рис.3.2.10).

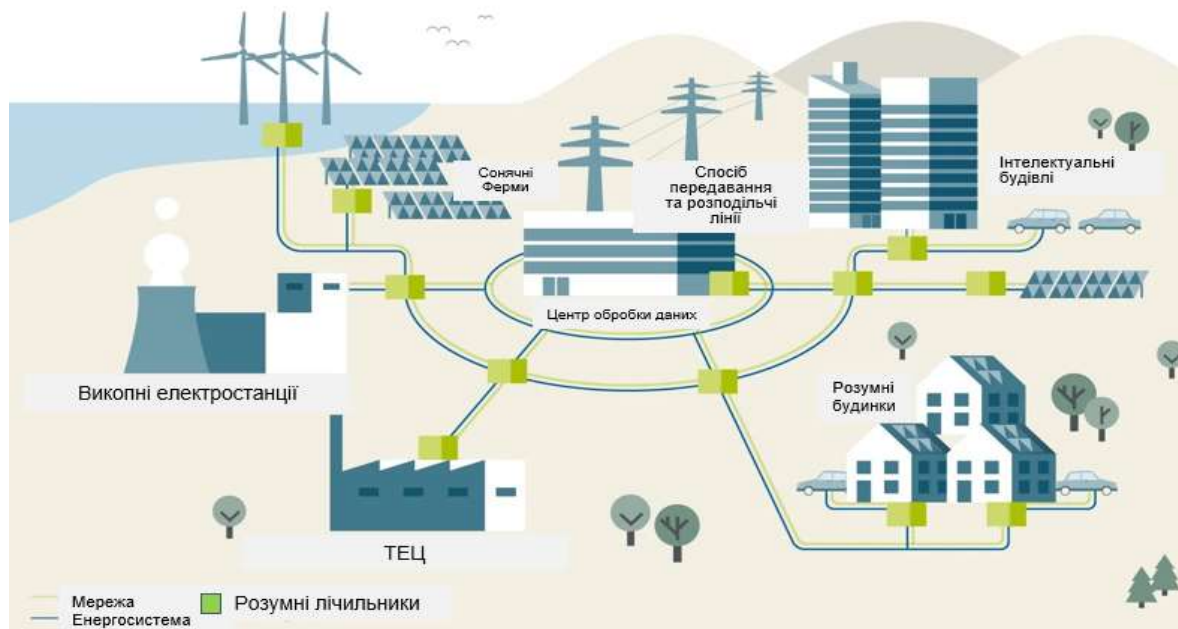


Рисунок 3.2.10 – Розумна мережа: концепція та компоненти [73]

Сучасні енергосистеми переважно базуються на великих центральних електростанціях, підключених до високовольтних ліній електропередач, які, в свою чергу, постачають електроенергію до середньо- та низьковольтних локальних розподільчих систем. Системи передачі та розподілу електроенергії зазвичай управляються природними монополіями (національними або регіональними органами). На противагу цьому, сектор генерації стає все більш конкурентним.

«Розумна мережа» є вдосконаленням традиційної системи передачі та розподілу електроенергії. Вона є автоматизованою енергетичною системою, що здійснює моніторинг і контроль роботи мережі, забезпечуючи двосторонній потік електричної енергії та даних між електростанціями та споживачами.

«Розумна мережа» контролює постачання енергії та відстежує її споживання через «розумні» лічильники, що передають інформацію комунальним підприємствам через комунікаційні мережі. Споживачі також можуть стежити за своїм споживанням через Інтернет. Двостороння комунікація з лічильниками дозволяє надсилати команди для керування елементами мережі.

У таблиці 3.2.1 наведено коротке порівняння між традиційною мережею та «Розумною» мережею, а на рис. 3.2.11 – інфраструктура «розумної мережі» [73].

Таблиця 3.2.1 - Порівняння традиційні та «розумної» мережі [72]

<b>Традиційна мережа</b>	<b>Розумна мережа</b>
Електромеханічні	Цифрові
Односторонній зв'язок	Двосторонній зв'язок
Незначна кількість датчиків	Датчики всюди
Ручний моніторинг	Самомоніторинг
Ручне відновлення	Самовідновлення
Збої та відключення	Адаптивне та острівне управління
Обмежений контроль	Всеохоплюючий контроль
Мало варіантів на вибір клієнта	Багато варіантів на вибір клієнта



Рисунок 3.2.11 - Інфраструктура «Розумної мережі» [73]

До типових функцій «Розумного лічильника» відносять:

1. Функція двостороннього зв'язку
2. Функція збору, запису і зберігання даних
3. Функція контролю навантаження
4. Функція програмування
5. Функція безпеки
6. Функція відображення
7. Функція виставлення рахунків

**Переваги інтелектуального обліку для комунальних підприємств:**

1. Заощадження значних коштів за рахунок покращення системи зчитування та виставлення рахунків у віддалених районах.
2. Можливість краще управляти під час пікових навантажень.
3. Більш ефективне використання енергії та мережевих ресурсів.
4. Нова тарифна модель на ринку електроенергії.
5. Покращене управління навантаженням трансформаторів на лінії електропередач.

### **Переваги інтелектуального обліку для споживачів:**

- відображає дані про звички споживача щодо використання електроенергії;
- надає споживачеві більш точні та своєчасні рахунки за електроенергію;
- допомагає клієнту використовувати електрообладнання в дорогі години;
- дозволяє споживачеві перемикати/затримувати електрообладнання зі значним споживанням на менш дорогі години.

### **Переваги інтелектуального обліку для урядів:**

- стимулює економіку шляхом інвестування в мережі розумного обліку;
- покращує стан довкілля за рахунок зменшення викидів CO<sub>2</sub>;
- призводить до скорочення споживання шляхом підвищення обізнаності про структуру споживання;
- допомагає краще прогнозувати навантаження на електромережу та запобігати масштабним відключенням електроенергії;
- надає дані для підвищення ефективності та надійності обслуговування.

### **3.2.7 Виклики і ризики розвитку розумних будинків і мереж**

Експерти зазначають, що постачальники IoT-пристроїв часто ігнорують принцип наскрізної інформаційної безпеки (ІБ), який вимагає вбудовувати заходи захисту на етапі розробки продукту й підтримувати їх протягом усього життєвого циклу.

Дослідження HP (2014) підкреслило загальні ІБ-ризика в IoT. Основні проблеми: стандартні заводські паролі, які користувачі рідко змінюють, відсутність вбудованих засобів захисту та необхідність додаткових систем безпеки для захисту домашньої мережі.

Результати дослідження:

- 70% пристроїв не шифрують бездротовий трафік;
- 60% мають небезпечні веб-інтерфейси з високими ризиками міжсайтового скриптингу (Міжсайтовий скриптинг (Cross-Site Scripting, XSS) - це тип вразливості веб-додатків, яка дозволяє зловмисникам впроваджувати шкідливий код (зазвичай JavaScript) у веб-сторінки, які відвідують інші користувачі. Ця атака використовує недоліки валідації або фільтрації введених даних на стороні сервера);
- більшість пристроїв використовують слабкі паролі;
- 90% збирають персональні дані без відома користувача.

Загалом виявлено близько 25 вразливостей на кожному пристрої (розумні замки, телевізори, охоронні системи тощо) та їх мобільних і хмарних компонентах.

Розумні будинки і мережі стикаються з ризиками кібербезпеки, особливо через вразливості IoT-пристроїв. Дослідження показують, що розумні замки можуть бути зламані, що ставить під загрозу безпеку оселі. Хакери можуть отримати доступ до замка або навіть дистанційно блокувати його, що дозволяє проникнути в будинок або вимагати викуп. Також зловмисники можуть маніпулювати системами безпеки, такими як детектори диму, створюючи хаос і вразливість до атак.

Інтернет речей використовується в кібератаках, зокрема через DDoS-атаки, коли пристрої можуть бути використані для виведення серверів з ладу. Ризики зростають, і державні органи попереджають про загрози. У випадку з розумними пристроями, наприклад, холодильники вже використовувались для бот-атак без відома власників.

Єврокомісія планує обов'язкову сертифікацію IoT-пристроїв для захисту від хакерів, зокрема через чіпи для захисту від атак. Проте виробники пропонують інші рішення, такі як стандартні чіпи для безпеки підключень до Інтернету. До пристроїв, що підключаються до Інтернету речей (IoT), належать відеокамери, телевізори, принтери, холодильники та інша техніка. Більшість із них має слабкий захист від хакерських атак. Самі по собі ці гаджети можуть не представляти інтересу для злочинців, але їх зламують, щоб створювати ботнети — мережі з «роботизованих» пристроїв для атак на великі системи. Власники часто навіть не підозрюють, що їхня техніка використовується в таких цілях [73]. Яскравим прикладом стала масштабна DDoS-атака на ресурс Krebs On Security у вересні 2016 року. Під час цієї атаки потік запитів сягав 700 Гб/с, а ботнет складався з понад мільйона відеокамер, реєстраторів та інших IoT-пристроїв. Це був перший випадок, коли мережа атакуючих майже повністю складалася з побутових приладів, зазначає Брайан Кребс, власник ресурсу [73]. За даними компанії Gartner, у світі вже підключено близько 6 мільярдів IoT-пристроїв, а до 2020 року їхня кількість зросте до 20 мільярдів. Це створить ще більше можливостей для масштабних атак через ботнети.

### **Алгоритм захисту системи "Розумний будинок" [73]**

**1. Стандартизація:** Мережа Інтернету Речей (IoT) переважно є бездротовою, що ускладнює забезпечення безпеки порівняно з традиційними дротовими мережами, через велике різноманіття нових стандартів і протоколів радіочастот та зв'язку. Пристрої та система повинні відповідати відповідним стандартам, щоб забезпечити належну безпеку.

**2. Сертифікація пристроїв/перевірка автентичності** через сертифікаційні центри. Це дозволяє перевіряти пристрої, які намагаються підключитися до вашої мережі, виявляючи можливі загрози і даючи інформацію про їх надійність та потенційну небезпеку.

**3. Аутентифікація:** Пристрої IoT повинні бути перевірені користувачами. Для цього використовуються різноманітні методи аутентифікації, від статичних паролів до двофакторної аутентифікації, біометрії та цифрових сертифікатів. Унікальність IoT полягає в тому, що пристрої (наприклад, вбудовані датчики) мають здатність розпізнавати інші пристрої, що знижує ризик несанкціонованого доступу.

**4. Шифрування** повинно бути інтегроване в загальний процес управління безпекою.

**5. Захист інтерфейсу:** Більшість виробників обладнання і програмного забезпечення надають доступ до пристроїв через API. Важливо, щоб доступ до даних здійснювався тільки авторизованими пристроями, користувачами, програмами. Це гарантує, що лише дозволені об'єкти можуть здійснювати обмін даними між захищеними пристроями.

**6. Механізми доставки:** Регулярні оновлення і патчі необхідні для протидії постійно змінюваним стратегіям кібератак.

**7. Аналітика безпеки та прогнозування загроз:** Важливо не лише моніторити і контролювати безпеку даних, але й використовувати зібрану інформацію для прогнозування майбутніх загроз. Це має доповнювати традиційні методи, спрямовані на виявлення аномальних дій.

**8. Контроль доступу:** Якщо певний компонент мережі скомпрометовано, механізми контролю доступу повинні гарантувати мінімальний вплив на інші частини системи. Це дозволяє обмежити доступ до лише тих частин мережі, які були авторизовані, навіть якщо зловмисник здобуде корпоративні облікові дані.

**9. Фізична безпека:** Окрім внутрішнього захисту мережі, необхідно забезпечити її фізичну безпеку. Наприклад, датчики повинні бути встановлені так, щоб зловмисник не мав прямого доступу до них, і щоб вони були непомітні для потенційних атакуючих.

## Питання для самопідготовки

1. Що таке розумний будинок і які його основні функції?
2. Як історично розвивалося таке поняття як «Інтелектуальна будівля»?
3. Як розвивалися моделі інтелектуальних будівель?
4. Поясніть наступні «розумні» терміни: Розумна Мережа (Smart Grid), Система будівельного енергоменеджменту (Building Energy Management System (BEMS)), Мікромережа (Microgrid), Розумне місто (Smart City).
5. Опишіть основні компоненти «розумного будинку» і поясніть, в чому полягає роль і завдання центрального контролера, датчиків/сенсорів, розумних пристроїв?
6. Функції розумні лічильники. Яку їх роль у розумній мережі?
7. Вкажіть основні підсистеми «Розумного будинку», якими керує центральний контролер та мінімум п'ять критеріїв, за наявності яких в системі «розумного будинку» можна оцінити рівень його інтелектуальності.
8. Яка основна мета і завдання автоматизації інженерних систем?
9. Наведіть структурну схему автоматичного керування інженерних систем і поясніть цикл керування «Збір даних→Обробка даних→Управління».
10. Які відмінності між розумним будинком і розумною мережею?
11. Переваги інтеграції розумного будинку з розумною мережею?
12. Як датчики і сенсори сприяють автоматизації в розумному будинку?
13. Які основні групи обладнання розумного будинку?
14. Порівняйте традиційну і розумну мережу. Наведіть інфраструктуру «розумної мережі».
15. Наведіть переваги інтелектуального обліку для споживачів, комунальних підприємств і для уряду.
16. Які потенційні загрози безпеці існують для розумного будинку?

## ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Загорський В. С. Соціально-екологічні фактори сталого розвитку національної економіки / В. С. Загорський, Є. М. Борщук, І. М. Жолобчук. Демократичне врядування. 2014. Вип. 13. Режим доступу: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/DeVr\\_2014\\_13\\_16](http://nbuv.gov.ua/UJRN/DeVr_2014_13_16)
2. Дідух Я. Екологічні аспекти глобальних змін клімату: причини, наслідки, дії. Вісник НАНУ. 2009. № 2. с. 34-44. Режим доступу: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/vnanu\\_2009\\_2\\_12](http://nbuv.gov.ua/UJRN/vnanu_2009_2_12)
3. Consequences of climate change [електронний ресурс]. Режим доступу: [https://climate.ec.europa.eu/climate-change/consequences-climate-change\\_en](https://climate.ec.europa.eu/climate-change/consequences-climate-change_en)
4. Стратегія сталого розвитку: підручник / В.М. Боголюбов, М.О. Клименко, Мельник Л.Г., О.О. Ракоїд – К.: ВЦ НУБІПУ, 2018. 446 с.
5. На шляху зеленої модернізації економіки: модель сталого споживання та виробництва / С.В. Берзіна та ін. – К.: Інститут екологічного управління та збалансованого природокористування, 2017. – 138 с.
6. Сталий розвиток суспільства: навч. посіб. / А. Садовенко, Л. Масловська, В. Серета, Т. Тимочко. 2 вид. К.; 2011. 392 с. Режим доступу: [https://moodle.znu.edu.ua/pluginfile.php/189801/mod\\_resource/content/1/%D0%A1%20%D0%B0%D0%B4%D0%BE%D0%B2%D0%B5%D0%BD%D0%BA%D0%BE\\_r%20ozvyt%20ok\\_suspilstva\\_undp.pdf](https://moodle.znu.edu.ua/pluginfile.php/189801/mod_resource/content/1/%D0%A1%20%D0%B0%D0%B4%D0%BE%D0%B2%D0%B5%D0%BD%D0%BA%D0%BE_r%20ozvyt%20ok_suspilstva_undp.pdf)
7. Зайцева Л. О. Складові концепції сталого розвитку. Ефективна економіка. 2019. № 11. URL: <http://www.economy.nayka.com.ua/?op=1&z=7401>
8. Горянська Т. В. "Зелена економіка" як чинник розвитку зовнішньоторговельних відносин. Економічний вісник НТУУ "КПІ". 2014. №11. с. 67-71. URL: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/evntukpi\\_2014\\_11\\_13](http://nbuv.gov.ua/UJRN/evntukpi_2014_11_13)
9. Зелене підприємництво. Курс лекцій [Електронний ресурс] : навч. посіб. для здобувачів ступеня бакалавра / КПІ ім. Ігоря Сікорського ; уклад.: М. М. Шовкалюк, О. М. Шевченко, В. І. Василенко. – Електрон.

текст. дані (1 файл: 3,72 Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2025. – 189 с. Режим доступу: <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/72323>

10. Зелене підприємництво. Практикум [Електронний ресурс] : навч. посіб. для здобувачів ступеня бакалавра / КПІ ім. Ігоря Сікорського ; уклад.: М. М. Шовкалюк, О. М. Шевченко, В. І. Василенко. – Електрон. текст. дані (1 файл: 1,18 Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2025. – 69 с. Режим доступу: <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/72324>

11. Білик А.С. Екологічний та економічний аналіз життєвого циклу каркасів будівель: монографія. К.: КНУБА, 2022. 263 с. Режим доступу: <https://uscc.ua/uploads/page/images/publications/economic/lifecicle.pdf>

12. Про екологічний аудит: Закон України від 16.10.2020 р. No 1862-IV. Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1862-15#Text>

13. Берзіна С.В., Капотя Д.Ю., Бузан Г.С. Екологічна сертифікація та маркування. Методичний довідник. К.: Інститут екологічного управління та збалансованого природокористування, 2017. 114 с.

14. Directive (EU) 2024/1275 of the European Parliament and of the Council of 24 April 2024 on the energy performance of buildings. URL: <https://eur-lex.europa.eu/eli/dir/2024/1275/oj>

15. О.Гарасевич. Що треба знати про нову редакцію Директиви ЄС про енергетичну ефективність будівель. АЕМУ, 2024. Режим доступу: <https://enefcities.org.ua/novyny/scho-treba-znaty-pro-novu-redaktsiyu-dyrektyvy-yes-pro-energetychnu-efektyvnist-budivel/>

16. Про енергетичну ефективність: Закон України, редакція від 01.01.2025 № 1818-IX. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1818-20#Text>

17. Енергетичний аудитор будівель: Професійний стандарт. Наказ Мінінфраструктури від 22 вересня № 859. Режим доступу: [https://register.nqa.gov.ua/uploads/0/544-energeticnij\\_auditor\\_budivel.pdf](https://register.nqa.gov.ua/uploads/0/544-energeticnij_auditor_budivel.pdf);

18. Енергетичний аудитор процесів: професійний стандарт. Наказ ДАЕЕ від 16.04.2024 №37-2. URL: [https://register.nqa.gov.ua/uploads/0/612-557\\_01\\_01\\_01\\_09\\_4\\_31.pdf](https://register.nqa.gov.ua/uploads/0/612-557_01_01_01_09_4_31.pdf)

19. Енергетичний аудитор транспорту: Професійний стандарт. Наказ від 31.05.2024 р. № 51-24. Режим доступу: [https://register.nqa.gov.ua/uploads/0/625-psea\\_transportu\\_pisla\\_perevirki\\_1.pdf](https://register.nqa.gov.ua/uploads/0/625-psea_transportu_pisla_perevirki_1.pdf)

20. Професіонал з енергетичного менеджменту: Професійний стандарт. Наказ № НОД 29/2/25 від 04.04.2025 р. Режим доступу: [https://register.nqa.gov.ua/uploads/0/734-profesional\\_z\\_energeticnogo\\_menedzmentu\\_compressed.pdf](https://register.nqa.gov.ua/uploads/0/734-profesional_z_energeticnogo_menedzmentu_compressed.pdf)

21. Білик А.С. Екологічний та економічний аналіз життєвого циклу каркасів будівель: монографія. – К.: УЦСБ, КНУБА, 7БЦ, 2022. – 263 с. – URL: <https://uscc.ua/uploads/page/images/publications/economic/lifecicle.pdf>

22. В.Ю. Білотіл. Основні теоретичні засади, сучасний стан розвитку та тенденції формування «зеленого» будівництва в Україні в контексті сталого розвитку / Збалансоване природокористування, №1/2022. с.63-73. URL: <https://pdfs.semanticscholar.org/38f2/9d65e9df9b712038ec9e719104f7e6d4ce6b.pdf>

23. Дмитроченкова Е.І. Аналіз міжнародних систем сертифікації «зеленого» будівництва. Екологічні науки. 2018. №1(20). Т.1. с. 140 – 143. Режим доступу: [http://ecoj.dea.kiev.ua/archives/2018/1/part\\_1/29.pdf](http://ecoj.dea.kiev.ua/archives/2018/1/part_1/29.pdf)

24. Боровик, Ю. Т. Стійке будівництво: сутність, принципи, тенденції розвитку / Ю. Т. Боровик, Ю. В. Єлагін, О. М. Полякова // Вісник економіки транспорту і промисловості. 2020/2021. № 72-73. с. 47 - 56. - Режим доступу: <http://lib.kart.edu.ua/bitstream/123456789/9432/1/Borovik.pdf>

25. ДБН В.2.6-31:2021 Теплова ізоляція та енергоефективність будівель. – К.: Мінрегіонбуд, 2022. 27с. Режим доступу: [https://e-construction.gov.ua/files/new\\_doc/2022-05-31/57a9e1c6-d9b2-40e2-bde7-00af878fc444.pdf](https://e-construction.gov.ua/files/new_doc/2022-05-31/57a9e1c6-d9b2-40e2-bde7-00af878fc444.pdf)

26. ДСТУ Б EN 15251:2011 Розрахункові параметри мікроклімату приміщень для проектування та оцінки енергетичних характеристик

будівель по відношенню до якості повітря, теплового комфорту, освітлення та акустики (EN 15251:2007, IDT) – К.: Мінрегіонбуд, 2012. – 71 с. URL: [http://www.mathcentre.com.ua/download/dstu\\_en\\_15251-2011.pdf](http://www.mathcentre.com.ua/download/dstu_en_15251-2011.pdf)

27 М.В. Тимофєєв, Г.Г. Фаренюк. Розрахунки енергоефективності будівель: навчальний посібник. – К.: КНУБА, 2018. 140 с.

28. ДСТУ 9191:2022 Теплоізоляція будівель метод вибору теплоізоляційного матеріалу для утеплення будівель. К.: ДП «УкрНДНЦ». 63 с. Режим доступу: <https://eurobud.ua/wp-content/uploads/2023/05/dstu-9191-2022-teploizolyacziya-budivel-metod-vyboru-teploizolyacziynogo-materialu-dlya-uteplennya-budivel.pdf>

29. ДБН В.2.5-67:2013 Опалення, вентиляція та кондиціонування – К.: Мінрегіон, 2013. 141 с. Режим доступу: [https://e-construction.gov.ua/laws\\_detail/3074971619479783152?doc\\_type=2](https://e-construction.gov.ua/laws_detail/3074971619479783152?doc_type=2)

30. ДБН В.2.6-33:2018 Конструкції зовнішніх стін із фасадною теплоізоляцією. – К.: Мінрегіон, 2018. 20 с. Режим доступу: [https://e-construction.gov.ua/laws\\_detail/3075201563413710205?doc\\_type=2](https://e-construction.gov.ua/laws_detail/3075201563413710205?doc_type=2)

31. Теплова ізоляція зовнішніх стін будинку / Громадянська мережа ОПОРА. Режим доступу: <https://merp.org.ua/articles/135-2015-01-26-15-44-54.html>

32. Технології утеплення. Режим доступу: <https://www.izolex.ua/>

33. ДСТУ-Н Б В.1.1-27:2010 Захист від небезпечних геологічних процесів, шкідливих експлуатаційних впливів, при пожежі. Будівельна Кліматологія. К.: Мінрегіонбуд, 2011. 127 с. Режим доступу:

[https://dbn.co.ua/load/normativy/dstu/dstu\\_b\\_v\\_1\\_1\\_27\\_2010/5-1-0-929](https://dbn.co.ua/load/normativy/dstu/dstu_b_v_1_1_27_2010/5-1-0-929)

34. Приклади розрахунку к ДСТУ Б В.2.6-189:2013 «Методи вибору теплоізоляційного матеріалу для утеплення будівель»: Посібник для проєктування – К.: ДП НДІБК, 2014. 106 с. Режим доступу: <http://surl.li/fwpybn>

35. Про енергетичну ефективність будівель: Закон України № 2118-VIII. Ред від 03.08.2025р. Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2118-19#Text>

36. ДСТУ 9190:2022 Енергетична ефективність будівель. Метод розрахунку енергоспоживання під час опалення, охолодження, вентиляції, освітлення та ГВП. – К.: ДП УкрНДЦ, 2022. 156 с. URL: [https://gazobeton.org/sites/default/files/sites/all/uploads/dstu\\_91902022\\_energetichna\\_efektivnist\\_budivel\\_metod\\_rozrakh.pdf](https://gazobeton.org/sites/default/files/sites/all/uploads/dstu_91902022_energetichna_efektivnist_budivel_metod_rozrakh.pdf)

37. ДСТУ EN 12831-1:2017 Енергоефективність будівель. Метод розрахунку проектного теплового навантаження. Част. 1. Теплове навантаження, Модуль М3-3 (EN 12831-1:2017, IDT)

38. Методичні вказівки до розрахунку проектного теплового навантаження систем опалення будівель за EN 12831 у курсовому проєкті з «Опалення» для студентів напряму підготовки «Будівництво» за професійним спрямуванням «Теплогазопостачання і вентиляція» всіх форм навчання / С.Б. Проценко, О.С. Новицька. – Рівне: НУВГП, 2016. – 40 с. Режим доступу: <https://ep3.nuwm.edu.ua/3306/1/03-02-355.pdf>

39. В. Литвин. Огляд будівельних технологій для забезпечення відповідності стандартам NZEB. Анал. звіт. – К.: Опора, 2024, 16с. URL: [https://rehouse.org.ua/sites/default/files/5\\_oglyad\\_budivelnikh\\_tekhnologii\\_litvin\\_ekf.pdf](https://rehouse.org.ua/sites/default/files/5_oglyad_budivelnikh_tekhnologii_litvin_ekf.pdf)

40. Любарець О. П., Зайцев О. М., Любарець В. О. Проєктування систем водяного опалення: посібник для проєктувальників, інженерів і студентів технічних ВНЗ –Відень-Київ-Симферополь, 2010. 201 с. Режим доступу: [https://herz.ua/wp-content/uploads/lubarets\\_zaitsev\\_ukr.pdf](https://herz.ua/wp-content/uploads/lubarets_zaitsev_ukr.pdf)

41. Довідник - панельного опалення та охолодження kan Therm. Режим доступу: <https://ua.kan-therm.com/resfile/download/1524/kan-therm-poradnik-ogrzewanie-plaszczynowe-UA-2022-10-www.pdf>

42. Опалення: практикум / І. А. Пономарчук, К. В. Анохіна – Вінниця: ВНТУ, 2020. – 61 с. Режим доступу:

<https://ir.lib.vntu.edu.ua/bitstream/handle/123456789/34641/70487.pdf?sequence=2&isAllowed=y>

43. Пирков В.В. Сучасні теплові пункти. Автоматика и регулювання. – К.: ДП «Такі справи», 2007. – 252 с

44. Гранкіна В. В. Конспект лекцій з дисц. «Вентиляція» (для студ. 4 курсу заочної форми навчання напряму «Будівництво», спец. «Теплогазопостачання і вентиляція» та слухачів другої вищої освіти) / В.В. Гранкіна – Х.: ХНАМГ, 2011. – 123 с. URL: [https://eprints.kname.edu.ua/21292/1/2010\\_%D0%BF%D0%BE%D0%B7.\\_207%D0%9B\\_%D0%BF%D0%B5%D1%87.%D0%B2%D0%B0%D1%80.\\_%D0%BF%D0%BE%D1%81%D0%BB.pdf](https://eprints.kname.edu.ua/21292/1/2010_%D0%BF%D0%BE%D0%B7._207%D0%9B_%D0%BF%D0%B5%D1%87.%D0%B2%D0%B0%D1%80._%D0%BF%D0%BE%D1%81%D0%BB.pdf)

45. Венкон. Види припливно-витяжної вентиляції та її особливості. Режим доступу: <https://vencon.ua/ua/articles/raznovidnosti-i-osobennosti-pritochno-vytyazhnoy-ventilyacii>

46. Припливно-витяжна система вентиляції. Режим доступу: <https://www.airvent.com.ua/ventilyatsiya-uk/priplivno-vityazhna-ventilyatsiya>

47. Вентпортал. Типи систем вентиляції. Режим доступу: <https://www.ventportal.com/ua/node/501>

48. Що таке розумний будинок? Електронне джерело: <https://zakarpatty.net.ua/News/216485-ShCHO-take-rozumnyi-budynok-ta-ia-ki-mozhlyvosti-vin-nadaie?-Perevahy-i-nedoliky>

49. Розумний будинок. Електронне джерело: Джерело: <https://oxorona.com/smart-home/>

50. Керівництво з впровадження системи енергетичного менеджменту відповідно до вимог міжнародного стандарту ISO 50001:2018 / А.Чернявський, Є.Іншеков, О.Соловей, О.Бориченко, П.Пертко – К.: UNIDO, 2021. 137 с.

51. Бориченко О.В. Енергетичний менеджмент. Бізнес-план проекту з енергоефективності: розрахункова робота / Навч.посібник для здобувачів

ступеня бакалавра спеціальності 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка. – К.: КПІ ім.Ігоря Сікорського, 2023, 44 с.

52. Енергетичний менеджмент. Частина 2: конспект лекцій [Електронний ресурс] : навч. посіб. для здобувачів ступеня бакалавра за освітньою програмою «Енергетичний менеджмент та енергоефективні технології» спеціальності 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка / КПІ ім. Ігоря Сікорського ; уклад.: О. В. Бориченко, В. Ф. Находов. – Електронні текстові дані (1 файл: 3,5 Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022. – 224 с. – Назва з екрана. URL: <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/48732>

53. Al-Ghaili, A. M., Kasim, H., Al-Hada, N. M., Jørgensen, B. N., Othman, M., & Jihua, W. (2021). Energy Management Systems and Strategies in Buildings Sector: A Scoping Review. IEEE Access, 9, 63790-63813. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2021.3075485>

54. ДСТУ EN ISO 16484-1:2014 Автоматизовані системи моніторингу та управління будівлями (АСМУБ). Частина 1. Характеристики проекту та реалізація (EN ISO 16484-1:2010, IDT)

55. ДСТУ EN 15232-1:2017 Енергоефективність будівель. Частина 1. Вплив функцій автоматизації, контролювання та управління будівлею. Модулі М10-4, 5, 6, 7, 8, 9, 10 (EN 15232-1:2017, IDT).

56. ДБН А.2.2.1:2023 Склад і зміст матеріалів оцінки впливу на навколишнє середовище при проектуванні і будівництві підприємств, будівель і споруд. Режим доступу: [https://e-construction.gov.ua/laws\\_detail/3048772709296113122?doc\\_type=2](https://e-construction.gov.ua/laws_detail/3048772709296113122?doc_type=2)

57. IRENA (2023), Renewable energy solutions for heating systems in Mongolia: Developing a Strategic heating plan, International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi.

58. Системи централізованого теплопостачання з інтеграцією відновлювальних джерел енергії: монографія / О. П. Арсеньєва, В. М.

Бабаєв, І. В. Білецький, І. В. Блінов, В. В. Гранкіна, С. І. Планковський, В. Є. Плюгін, Т. Є. Романова, А. Ю. Старостіна, М. К. Сухонос, Н. О. Телюра, Є. В. Цегельник; [за ред. О. П. Арсенєвої]; Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова. – Харків: ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2023. – 217 с. DOI 10.33042/978-966-695-594-7

59. Стан та шляхи розвитку систем централізованого теплопостачання в Україні. Книга 1: Монографія / І.М. Карп, Є.Є. Нікітін, К.Є. П'яних, О.І. Сігал, С.В. Дубовський та ін. – КИЇВ: НАУКОВА ДУМКА, 2021 – 264 с.

60. Визначення теплового навантаження будівель та вибір системи теплопостачання [Текст] : навч. посіб. /В.В.Дубровська, В.І. Шкляр – К.: НТУУ «КПІ», 2011. – 116 с.

61. IRENA (2023), Renewable energy solutions for heating systems in Mongolia: Developing a Strategic heating plan, International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi

62. Комбіновані системи з поновлювальними джерелами енергії. Конспект лекцій: навчальний посібник / В.І. Шкляр, В.В. Дубровська – К.: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2020. – 337 с.

63. Трансформація системи теплопостачання: посібник для України. Частина А: Цілі та загальні умови / Е. М. Сістані та ін. Берлін : Німецьке енергетичне агентство ГмбХ, 2021. 48 с.

64. Електронний ресурс. Режим доступу: <https://www.commscope.com/Blog/Defining-Todays-Intelligent-Building/>

65. ДСТУ СВА 50487:2014 Розумний будинок. Кодекс усталеної практики (CWA 50487:2005, CWA 50487:2005/corrigendum Jan. 2006, IDT)

66. Електронний ресурс. Режим доступу: [https://commission.europa.eu/eu-regional-and-urban-development/topics/cities-and-urban-development/city-initiatives/smart-cities\\_en](https://commission.europa.eu/eu-regional-and-urban-development/topics/cities-and-urban-development/city-initiatives/smart-cities_en)

67. Harrison, A., Loe, E. and Read, J., 1998. Intelligent Buildings in South East Asia. London: Taylor & Francis Routledge.

68. Електронний ресурс. Режим доступу: <https://www.ashb.com/wp-content/uploads/2024/06/2020-CABA-Smart-Home-as-a-Service-Full-Report.pdf>
69. Smart homes: potentials and challenges, Rasha El-Azab\* Clean Energy, 2021, 302–315 doi: 10.1093/ce/zkab010
70. Gerro J. Prinsloo, Stellenbosch University, Thesis - Synthesis of an off-grid solar thermal cogeneration and intelligent smartgrid control system for rural applications. March 2018
71. Camarinha-Matos, L.: Collaborative smart grids: A survey on trends. Renewable and Sustainable Energy Reviews, vol. 65, pp. 283–294, 2016.
72. Zheng J, Gao W, Lin L. Smart meters in smart grid: an overview. In: IEEE Green Technologies Conference, Denver, Colorado, USA, 4–5 April 2013, 57–64.
73. Енергоефективні системи теплопостачання будівель та технологія «Розумний будинок». Навчальний посібник / В.І. Василенко, О.М. Шевченко, М.М. Шовкалюк – К: GIZ, 2025. – 307 с.