

Волинський національний університет імені Лесі Українки
Навчально-науковий фізико-технологічний інститут

**Кафедра експериментальної фізики,
інформаційних та освітніх технологій**

Андрій Кевшин, Володимир Галян

ОСНОВИ ЕФЕКТИВНОГО ВИКОРИСТАННЯ ЕНЕРГІЇ

КОНСПЕКТ ЛЕКЦІЙ

Луцьк

2026

УДК 539.2
К-33

Рекомендовано до друку науково–методичною радою Волинського національного університету імені Лесі Українки (протокол № 6 від 18 лютого 2026 р.).

Рецензент:

Шигорін П. П. – канд. фіз.-мат. наук, доцент, кафедра теоретичної та комп’ютерної фізики імені А. В. Свідзинського, ВНУ імені Лесі Українки.

К-33 Кевшин А. Г., Галян В. В. **Основи ефективного використання енергії** : конспект лекцій. Луцьк, 2026. 88 с.

Цей конспект лекцій є частиною навчально-методичного комплексу, розробленого українською мовою. Його основна мета – забезпечити якісну практичну підготовку студентів різних спеціальностей, які обрали курс «Основи ефективного використання енергії» як вибіркову дисципліну.

Це видання охоплює технічні, економічні, екологічні та соціальні аспекти споживання електроенергії. Завдяки такому комплексному підходу, воно буде корисним для широкого кола фахівців – від інженерів до економістів, екологів та соціологів.

УДК 539.2
© Кевшин А. Г., Галян В. В., 2026
© Луцьк, 2026

ЗМІСТ

ВСТУП	5
ЛЕКЦІЯ №1. ВСТУП ДО ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ: ПОНЯТТЯ, ЗНАЧЕННЯ ТА ГЛОБАЛЬНІ ВИКЛИКИ	7
1.1. Визначення та важливість енергоефективності.	7
1.2. Основні поняття: енергія, потужність, енергоспоживання.	8
1.3. Глобальні та національні виклики в енергетиці.	9
1.4. Переваги впровадження енергоефективних заходів.	11
ЛЕКЦІЯ №2. ОСНОВИ ТЕРМОДИНАМІКИ ТА ПЕРЕДАЧІ ТЕПЛА В КОНТЕКСТІ ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ	15
2.1. Види теплопередачі: теплопровідність, конвекція, випромінювання.	15
2.2. Теплові втрати в будівлях та їхні основні джерела.	16
2.3. Матеріали для теплоізоляції: властивості та характеристики.	17
2.4. Технології утеплення будівель: стіни, дахи, підлоги, вікна.	19
ЛЕКЦІЯ №3. ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ У ПОВСЯКДЕННОМУ ЖИТТІ ТА НА РОБОЧОМУ МІСЦІ	23
3.1. Енергозбереження вдома та на офісі: освітлення, використання побутових приладів, опалення.	23
3.2. Економія енергії при транспортуванні: вибір транспорту, стиль водіння.	25
3.3. Роль інформаційних технологій у підвищенні енергоефективності.	27
3.4. Екологічна свідомість та мотивація до енергозбереження.	29
ЛЕКЦІЯ №4. ЕФЕКТИВНЕ ВИКОРИСТАННЯ ЕНЕРГІЇ В СИСТЕМАХ ОПАЛЕННЯ, ВЕНТИЛЯЦІЇ ТА КОНДИЦІОНУВАННЯ ПОВІТРЯ (ОВКП)	32
4.1. Принципи роботи сучасних енергоефективних систем опалення.	32
4.2. Оптимізація систем вентиляції для зменшення енергоспоживання.	34
4.3. Енергоефективне кондиціонування: вибір обладнання, режими роботи.	36
4.4. Рекуперація тепла та вологи у системах ОВК.	38
4.5. Автоматизація та керування системами ОВК для підвищення ефективності.	39
ЛЕКЦІЯ №5. ЕФЕКТИВНЕ ВИКОРИСТАННЯ ЕНЕРГІЇ В СИСТЕМАХ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ	41
5.1. Актуальність та основні проблеми ефективності в системах електропостачання.	41
5.2. Технічні аспекти підвищення ефективності передачі та розподілу	

електроенергії.	42
5.3. Інноваційні технології та підходи до підвищення ефективності систем електропостачання.	44
5.4. Перспективи розвитку ефективних систем електропостачання.	46
ЛЕКЦІЯ № 6. ЕКОНОМІЧНІ ТА ПОЛІТИЧНІ АСПЕКТИ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ: СТИМУЛИ ТА РЕГУЛЮВАННЯ	49
6.1. Методологія проведення енергетичного аудиту.	49
6.2. Аналіз енергоспоживання та виявлення потенціалу енергозбереження.	50
6.3. Розробка планів енергоефективності та їх впровадження.	52
6.4. Системи енергетичного менеджменту (ISO 50001).	54
ЛЕКЦІЯ 7. ВІДНОВЛЮВАНІ ДЖЕРЕЛА ЕНЕРГІЇ ТА ЇХ ІНТЕГРАЦІЯ В ЕНЕРГОСИСТЕМУ	57
7.1. Огляд основних видів ВДЕ: сонячна енергія, вітрова енергія, біомаса, гідроенергія, геотермальна енергія.	57
7.2. Інтеграція ВДЕ в системи енергопостачання будівель та промислових об'єктів.	58
7.3. Ефективне використання сонячних колекторів та фотоелектричних систем.	60
7.4. Перспективи розвитку ВДЕ в Україні.	62
ЛЕКЦІЯ 8. ІННОВАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА МАТЕРІАЛИ В ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ	65
8.1. Розумні будівельні матеріали з покращеними теплоізоляційними властивостями.	65
8.2. Технології Smart Grid та їхній вплив на ефективність енергоспоживання.	66
8.3. Системи накопичення енергії (акумулятори) для оптимізації використання ВДЕ.	67
8.4. Використання цифрових технологій (IoT, Big Data, AI) для керування енергоспоживанням.	68
8.5. Перспективні напрямки досліджень та розробок у сфері енергоефективності.	71
ЛЕКЦІЯ №9. ТРАНСПОРТ ТА ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІСТЬ: АЛЬТЕРНАТИВНІ ВИДИ ПАЛИВА ТА ГІБРИДНІ ТЕХНОЛОГІЇ	73
9.1. Сучасні види транспорту та їх енергоспоживання.	73
9.2. Альтернативні види палива.	75

9.3. Гібридні та електричні технології.	76
9.4. Перспективи розвитку транспорту з низьким рівнем викидів.	77
ЛЕКЦІЯ 10. ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ АЛЬТЕРНАТИВНОЇ ЕНЕРГЕТИКИ НА ВОЛИНІ	80
10.1. Оцінка наявного потенціалу Волинської області для розвитку альтернативної енергетики.	80
10.2. Основні напрямки та пріоритети розвитку альтернативної енергетики на Волині.	81
10.3. Економічні, екологічні та соціальні вигоди від розвитку альтернативної енергетики в регіоні.	82
10.4. Виклики та бар'єри на шляху розвитку альтернативної енергетики на Волині та шляхи їх подолання.	83
10.5. Роль органів місцевого самоврядування, бізнесу та громадськості у розвитку альтернативної енергетики.	85
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	87

Вступ

У сучасному світі ефективне та раціональне використання енергетичних ресурсів є однією з ключових умов сталого розвитку, економічної стабільності та збереження довкілля. Цей вибірковий освітній компонент розроблений для того, щоб ви, як майбутні фахівці, оволоділи необхідними знаннями та навичками для оптимізації енергоспоживання у різних сферах.

Метою цього курсу є формування у здобувачів освіти системного розуміння принципів енергоефективності та енергозбереження, а також надання практичних інструментів для їх реалізації..

Після вивчення цього курсу студенти знатимуть:

- основні принципи та закони енергозбереження та енергоефективності;
- джерела та види енергії, їх особливості та застосування;
- сучасні методи та технології ефективного використання енергії в промисловості, житлово-комунальному господарстві та на транспорті;
- економічні та екологічні аспекти енергозбереження, включаючи механізми фінансування та вплив на довкілля;
- правові та нормативні засади у сфері енергоефективності на національному та міжнародному рівнях;
- методи енергетичного аудиту та моніторингу енергоспоживання.

Після вивчення цього курсу студенти вмітимуть:

- проводити базовий аналіз енергоспоживання об'єктів та процесів;
- виявляти потенційні можливості для впровадження енергозберігаючих заходів;
- розробляти прості рішення з підвищення енергоефективності для різних об'єктів;
- оцінювати ефективність впроваджених енергозберігаючих заходів;
- обґрунтовувати необхідність впровадження енергоефективних технологій з економічної та екологічної точок зору;
- застосовувати отримані знання для оптимізації власного енергоспоживання та сприяння формуванню культури енергозбереження.

ЛЕКЦІЯ 1. ВСТУП ДО ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ: ПОНЯТТЯ, ЗНАЧЕННЯ ТА ГЛОБАЛЬНІ ВИКЛИКИ

1.1. Визначення та важливість енергоефективності.

Енергоефективність визначається як здатність використовувати менше енергії для виконання тієї самої роботи, виробництва того самого обсягу продукції або надання тих самих послуг, при цьому зберігаючи або покращуючи якість результату, і простіше кажучи, означає робити більше з меншою кількістю енергії, що досягається шляхом впровадження технологій, практик та поведінкових змін, які мінімізують втрати енергії та оптимізують її споживання. Основна мета енергоефективності полягає у зменшенні обсягу енергії, необхідного для функціонування систем, обладнання, будівель та процесів, при цьому важливо, щоб це зменшення не призводило до погіршення комфорту, продуктивності, безпеки або якості послуг, як, наприклад, енергоефективне освітлення повинно забезпечувати достатній рівень освітленості. Енергоефективність передбачає оптимізацію використання всіх енергетичних ресурсів, включаючи викопне паливо, ядерну енергію та відновлювані джерела, та є комплексним підходом, що не обмежується лише технологічними рішеннями, а охоплює також організаційні заходи, зміну поведінки споживачів та державну політику.

Енергоефективність є критично важливою з багатьох причин, що охоплюють економічні, екологічні та соціальні аспекти:

Економічні:

- Зниження витрат: менші рахунки за енергію для всіх споживачів.
- Конкуレントоздатність: зниження собівартості для бізнесу.
- Нові робочі місця: розвиток відповідних галузей.
- Енергетична незалежність: зменшення імпорту енергоносіїв.
- Інновації: стимулювання технологічного прогресу.

Екологічні:

- Зменшення викидів парникових газів: у боротьбі зі зміною клімату.
- Покращення якості повітря: зниження забруднення.
- Збереження ресурсів: продовження доступності викопного палива.
- Зменшення впливу на екосистеми: захист природи.

Соціальні:

- Покращення здоров'я: зниження захворювань, пов'язаних із забрудненням.
- Підвищення комфорту: кращі умови проживання та праці.
- Енергетична справедливість: доступність енергії для вразливих груп.

- Енергетична безпека домогосподарств: стійкість до перебоїв та цін.
- Відповідальне ставлення до ресурсів: екологічна свідомість суспільства.

1.2. Основні поняття: енергія, потужність, енергоспоживання.

Енергія – це фізична величина, яка характеризує здатність тіла або системи виконувати роботу. Вона є мірою руху та взаємодії матерії. Енергія може існувати в різних формах і перетворюватися з однієї форми в іншу, але загальна кількість енергії в замкнутій системі залишається незмінною (закон збереження енергії).

Міжнародна система одиниць (SI): Джоуль (Дж). Один джоуль дорівнює роботі, яку виконує сила в один ньютон на відстані одного метра ($1 \text{ Дж} = 1 \text{ Н} \cdot \text{м} = 1 \text{ кг} \cdot \text{м}^2/\text{с}^2$).

Позасистемні одиниці (часто використовуються в певних галузях):

Калорія (кал): Кількість теплоти, необхідна для нагрівання 1 грама води на 1 градус Цельсія при стандартному атмосферному тиску. ($1 \text{ кал} \approx 4,186 \text{ Дж}$).

Кіловат-година (кВт·год): Кількість енергії, споживана або вироблена пристроєм потужністю 1 кіловат протягом 1 години. ($1 \text{ кВт} \cdot \text{год} = 3,6 \times 10^6 \text{ Дж}$). Ця одиниця часто використовується для обліку електроенергії.

Енергія може проявлятися в різних формах: кінетична енергія (енергія руху (наприклад, вітер, рухомий автомобіль)), потенціальна енергія (енергія, що зберігається внаслідок положення або стану (наприклад, вода у водосховищі, стиснута пружина, хімічні зв'язки в паливі)), теплова енергія (внутрішня енергія) (енергія, пов'язана з рухом атомів і молекул у речовині), електрична енергія (енергія, пов'язана з рухом електричних зарядів), магнітна енергія (енергія, пов'язана з магнітними полями); хімічна енергія (енергія, що зберігається в хімічних зв'язках між атомами та молекулами (наприклад, у паливі, їжі)), ядерна енергія (енергія, що вивільняється під час ядерних реакцій (розпаду або синтезу атомних ядер)), променева енергія (електромагнітне випромінювання) (енергія, що передається у вигляді електромагнітних хвиль (наприклад, світло, радіохвилі, рентгенівське випромінювання)).

Потужність – це фізична величина, яка характеризує швидкість, з якою енергія передається, перетворюється або споживається. Іншими словами, це кількість енергії, що використовується або виробляється за одиницю часу.

Міжнародна система одиниць (SI): Ват (Вт). Один ват дорівнює одному джоулю за секунду ($1 \text{ Вт} = 1 \text{ Дж}/\text{с}$).

Позасистемні одиниці (часто використовуються):

Кіловат (кВт): $1 \text{ кВт} = 1000 \text{ Вт}$.

Мегават (МВт): $1 \text{ МВт} = 1\,000\,000 \text{ Вт} = 1000 \text{ кВт}$.

Гігават (ГВт): $1 \text{ ГВт} = 1\,000\,000\,000 \text{ Вт} = 1000 \text{ МВт}$.

Кінська сила (к.с.): Позасистемна одиниця потужності, що використовується в машинобудуванні ($1 \text{ к.с.} \approx 745,7 \text{ Вт}$).

Потужність показує, наскільки швидко пристрій може виконувати роботу або споживати/виробляти енергію. Наприклад: лампа потужністю 100 Вт споживає 100 джоулів енергії кожен секунду, двигун потужністю 1 кВт може виконати певну роботу швидше, ніж двигун потужністю 500 Вт.

Енергоспоживання – це кількість енергії, яка була використана певною системою, пристроєм, будівлею або процесом протягом певного періоду часу.

Одиницею вимірювання енергоспоживання є одиниця енергії. Найчастіше використовуються: джоуль (Дж), кіловат-година (кВт·год) – особливо поширена для обліку спожитої електроенергії в побуті та промисловості.

Енергоспоживання (E) можна розрахувати, помноживши потужність (P) пристрою на час його роботи (t):

$$E = P \times t.$$

Якщо потужність вимірюється в кіловатах (кВт), а час – у годинах (год), то енергоспоживання буде вимірюватися в кіловат-годинах (кВт·год). Якщо потужність вимірюється у ватах (Вт), а час – у секундах (с), то енергоспоживання буде вимірюватися в джоулях (Дж).

Приклади енергоспоживання.

- Електрична лампочка потужністю 60 Вт, що працює протягом 1 години, споживає $60 \text{ Вт} \cdot 1 \text{ год} = 60 \text{ Вт} \cdot \text{год} = 0.06 \text{ кВт} \cdot \text{год}$ енергії.
- Електрочайник потужністю 2 кВт, що працює протягом 30 хвилин (0.5 години), споживає $2 \text{ кВт} \cdot 0.5 \text{ год} = 1 \text{ кВт} \cdot \text{год}$ енергії.
- Загальне енергоспоживання домогосподарства за місяць зазвичай вимірюється в кіловат-годинах (наприклад, 150 кВт·год).

1.3. Глобальні та національні виклики в енергетиці.

Енергетична галузь у всьому світі стикається з низкою серйозних викликів, які вимагають скоординованих та інноваційних рішень. Серед найважливіших глобальних викликів можна виділити:

1. Зміна клімату та декарбонізація.

Енергетичний сектор є одним з найбільших джерел викидів парникових газів, що спричиняють глобальне потепління. Перехід до низьковуглецевих джерел енергії та підвищення енергоефективності є ключовими для досягнення цілей Паризької угоди та

запобігання катастрофічним наслідкам зміни клімату. Це включає в себе розвиток відновлюваних джерел енергії (ВДЕ), таких як сонячна, вітрова, гідроенергія, а також впровадження технологій уловлювання та зберігання вуглецю.

2. *Енергетична безпека та геополітична нестабільність.*

Забезпечення стабільного та надійного постачання енергії є критично важливим для функціонування економік усіх країн. Геополітичні конфлікти, нестабільність у регіонах-постачальниках енергоресурсів та залежність від окремих країн можуть створювати значні ризики для енергетичної безпеки. Диверсифікація джерел енергії та маршрутів постачання, розвиток внутрішніх енергетичних ресурсів та зміцнення міжнародної співпраці є важливими аспектами забезпечення енергетичної безпеки.

3. *Зростання енергоспоживання.*

Прогнозується значне зростання глобального енергоспоживання внаслідок збільшення населення, економічного розвитку країн, що розвиваються, та поширення енергоємних технологій. Задоволення цього зростаючого попиту при одночасному зменшенні викидів парникових газів є складним завданням, що вимагає значних інвестицій в енергетичну інфраструктуру та впровадження енергоефективних рішень.

4. *Енергетична бідність та доступ до енергії.*

Значна частина населення світу, особливо в країнах, що розвиваються, не має доступу до сучасних та надійних джерел енергії. Це обмежує їхній економічний та соціальний розвиток. Забезпечення універсального доступу до доступної, надійної та сталої енергії є однією з цілей сталого розвитку ООН.

5. *Старіння інфраструктури та необхідність модернізації.*

Енергетична інфраструктура багатьох країн є застарілою та потребує значної модернізації для підвищення ефективності, надійності та безпеки. Впровадження новітніх технологій, таких як інтелектуальні мережі (Smart Grids), є важливим для оптимізації управління енергосистемами.

Україна стикається з унікальним набором енергетичних викликів, які є наслідком її історичного розвитку, геополітичного положення та поточних реалій:

1. *Енергетична залежність.*

Україна історично була значною мірою залежна від імпорту енергоресурсів, особливо нафти та газу. Зменшення цієї залежності є стратегічним пріоритетом для забезпечення національної безпеки. Війна з Росією ще більше загострила цю проблему, порушивши традиційні ланцюги постачання та створивши нові загрози.

2. *Застаріла енергетична інфраструктура.*

Значна частина енергетичної інфраструктури України, включаючи електростанції, мережі передачі та розподілу, потребує модернізації та оновлення. Це стосується як підвищення ефективності, так і забезпечення фізичної безпеки об'єктів критичної інфраструктури, особливо в умовах воєнної агресії.

3. *Низька енергоефективність.*

Україна характеризується високою енергоємністю економіки порівняно з багатьма європейськими країнами. Впровадження енергоефективних заходів у всіх секторах економіки є ключовим для зниження енергоспоживання та витрат.

4. *Розвиток відновлюваних джерел енергії.*

Хоча Україна має значний потенціал для розвитку ВДЕ, їхня частка в енергетичному балансі залишається недостатньою. Створення сприятливих умов для інвестицій у ВДЕ, інтеграція їх в енергосистему та вирішення питань балансування є важливими завданнями.

5. *Інтеграція до європейських енергетичних ринків:*

Україна прагне інтегрувати свою енергетичну систему до європейських ринків, що вимагає реформування законодавства, впровадження європейських стандартів та підвищення конкурентоздатності.

6. *Вплив війни.*

Повномасштабне вторгнення Росії завдало величезної шкоди енергетичній інфраструктурі України, спричинивши руйнування електростанцій, мереж та іншої критичної інфраструктури. Відновлення та відбудова енергетичного сектору є надзвичайно складним та ресурсомістким завданням, що потребує значної міжнародної підтримки. Забезпечення стабільного енергопостачання в умовах війни та постійних обстрілів є щоденним викликом для українських енергетиків.

7. *Кібербезпека енергетичної інфраструктури.*

Енергетичні системи стають все більш цифровими, що робить їх вразливими до кібератак. Захист критичної енергетичної інфраструктури від кіберзагроз є важливим аспектом національної безпеки.

8. *Реформування енергетичних ринків.*

Продовження реформування енергетичних ринків для забезпечення прозорості, конкуренції та залучення інвестицій є важливим для сталого розвитку енергетичного сектору.

1.4. Переваги впровадження енергоефективних заходів.

Впровадження енергоефективності приносить значні вигоди на різних рівнях – від окремих споживачів до національної економіки та глобального середовища.

1. Економічні переваги.

Зниження витрат на енергію є, мабуть, найочевиднішою перевагою енергоефективності. Впровадження таких заходів, як утеплення будівель, використання енергоощадливого обладнання та оптимізація енергоспоживання, безпосередньо призводить до зменшення рахунків за опалення, електроенергію, гарячу воду та інші комунальні послуги, що в довгостроковій перспективі виливається у значні заощадження. Для бізнесу зниження енергетичних витрат означає зменшення собівартості продукції та послуг, підвищуючи таким чином конкурентоздатність підприємств на ринку, а також сприяючи підвищенню продуктивності та оптимізації виробничих процесів. Енергоефективні будинки та споруди, завдяки нижчим експлуатаційним витратам та комфортнішим умовам, мають вищу ринкову вартість та є більш привабливими для покупців та орендарів, що збільшує вартість нерухомості. Впровадження енергоефективних технологій та послуг стимулює створення нових робочих місць та розвиток нових галузей економіки, оскільки потребує кваліфікованих фахівців у сферах енергетичного аудиту, проектування, встановлення енергоефективного обладнання, виробництва теплоізоляційних матеріалів та розвитку відновлюваних джерел енергії. На національному рівні підвищення енергоефективності зменшує залежність від імпорту енергоносіїв, зміцнюючи енергетичну безпеку та економічну незалежність країни, а також скорочуючи відтік валютних коштів. Крім того, прагнення до енергоефективності стимулює інновації та технологічний розвиток, спонукаючи до розробки та впровадження нових, більш ефективних технологій, матеріалів та систем управління енергоспоживанням.

2. Екологічні переваги.

Зменшення викидів парникових газів робить енергоефективність одним з найважливіших інструментів у боротьбі зі зміною клімату, адже зниження споживання енергії означає менше спалювання викопного палива, що призводить до скорочення викидів вуглекислого газу (CO₂), метану (CH₄) та інших парникових газів, які спричиняють глобальне потепління. Одночасно, зменшення використання викопного палива покращує якість повітря, знижуючи викиди забруднюючих речовин, таких як оксиди азоту (NO_x), оксиди сірки (SO_x) та тверді частинки, які негативно впливають на здоров'я людини та стан навколишнього середовища, спричиняючи смог та кислотні дощі. Енергоефективність допомагає зберегти вичерпні природні ресурси, такі як вугілля, нафта та газ, продовжуючи термін їхньої доступності для майбутніх поколінь та зменшуючи тиск на екосистеми, пов'язаний з видобутком та транспортуванням цих ресурсів. Зниження енергоспоживання також зменшує негативний вплив на екосистеми, який може виникати внаслідок виробництва,

транспортування та використання енергії, зокрема забруднення водних ресурсів та руйнування біотопів.

3. Соціальні переваги.

Покращення здоров'я населення є ще однією важливою перевагою енергоефективності, оскільки зниження забруднення повітря сприяє зменшенню захворювань дихальної та серцево-судинної систем, а також алергічних реакцій, а комфортніші умови проживання та праці в енергоефективних будівлях позитивно впливають на самопочуття та продуктивність. Енергоефективні будинки також забезпечують підвищення комфорту та якості життя завдяки стабільнішій температурі, відсутності протягів та вогкості, кращій звукоізоляції та якіснішому освітленню. Крім того, енергоефективні рішення сприяють енергетичній справедливості, роблячи енергію більш доступною для малозабезпечених верств населення, допомагаючи їм знизити витрати на комунальні послуги та уникнути енергетичної бідності. На рівні домогосподарств підвищується енергетична безпека, оскільки енергоефективні будинки менш вразливі до перебоїв з енергопостачанням та коливань цін на енергоносії, а впровадження автономних систем енергопостачання у поєднанні з енергоефективністю може забезпечити більшу незалежність. Нарешті, пропагування енергоефективності сприяє формуванню відповідального ставлення до використання ресурсів, підвищуючи екологічну свідомість та формуючи в суспільстві культуру ощадливого використання енергії та інших природних ресурсів.

4. Підвищення стійкості та надійності енергосистеми.

Зниження пікових навантажень є ще однією важливою перевагою енергоефективності, оскільки відповідні заходи допомагають зменшити пікові навантаження на енергосистему, що, своєю чергою, знижує ризик перевантажень та аварій, а також відкладає необхідність будівництва нових генеруючих потужностей. Крім того, зниження загального енергоспоживання сприяє кращій інтеграції відновлюваних джерел енергії в енергосистему, оскільки полегшує управління нестабільністю їхньої генерації та зменшує необхідний обсяг резервних потужностей.

Контрольні запитання до лекції №1

1. Як визначається енергоефективність і в чому полягає її основна мета?
2. Назвіть та коротко опишіть три основні категорії причин, що підкреслюють важливість енергоефективності.
3. Які економічні переваги несе впровадження енергоефективних заходів для споживачів, бізнесу та держави?

4. Опишіть екологічні вигоди, пов'язані зі зменшенням енергоспоживання завдяки енергоефективності.
5. Яким чином енергоефективність може вплинути на соціальну сферу та добробут населення?
6. У чому полягає різниця між поняттями «енергія» та «потужність», і які одиниці вимірювання для них використовуються в SI та позасистемно?
7. Як розрахувати енергоспоживання пристрою, знаючи його потужність та час роботи? Наведіть приклади з тексту.
8. Які п'ять основних глобальних викликів в енергетиці виділено в тексті?
9. Назвіть щонайменше три унікальні енергетичні виклики, з якими стикається Україна.
10. Які переваги для енергосистеми в цілому несе зниження пікових навантажень та інтеграція відновлюваних джерел енергії завдяки енергоефективності?

ЛЕКЦІЯ 2. ОСНОВИ ТЕРМОДИНАМІКИ ТА ПЕРЕДАЧІ ТЕПЛА В КОНТЕКСТІ ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ

2.1. Види теплопередачі: теплопровідність, конвекція, випромінювання.

Теплопередача, процес передачі теплової енергії внаслідок різниці температур, здійснюється трьома основними способами: теплопровідністю, конвекцією та випромінюванням.

Теплопровідність (кондукція) – це передача тепла через прямий контакт між частинками речовини без їхнього макроскопічного переміщення. У твердих тілах тепло передається коливаннями атомів кристалічної решітки та рухом вільних електронів (у металах), а в рідинах і газах – зіткненнями молекул. Кількість теплоти $\frac{dQ}{dt}$, що передається через площу S за час t при градієнті температури $\frac{dT}{dx}$, описується законом Фур'є:

$$\frac{dQ}{dt} = -\lambda S \frac{dT}{dx},$$

де λ – коефіцієнт теплопровідності матеріалу. Знак мінус вказує на напрямок передачі тепла – від вищої температури до нижчої.

Конвекція – це передача тепла в рідинах і газах шляхом переміщення самих нагрітих об'ємів речовини. При нагріванні густина рідини або газу зменшується, що призводить до виникнення конвекційних потоків. Розрізняють природну конвекцію, зумовлену різницею густин, і вимушену конвекцію, викликану зовнішніми силами. Кількість теплоти $\frac{dQ}{dt}$, що передається між поверхнею з температурою T_s та рухомою рідиною або газом з температурою T_∞ через площу S , визначається законом Ньютона-Ріхмана:

$$\frac{dQ}{dt} = hS(T_s - T_\infty)?$$

де h – коефіцієнт тепловіддачі, що залежить від властивостей середовища та характеру руху.

Випромінювання (радіація) – це передача теплової енергії у вигляді електромагнітних хвиль і не потребує проміжного середовища. Будь-яке тіло з температурою $T > 0$ К випромінює енергію. Енергія, що випромінюється абсолютно чорним тілом з одиниці площі за одиницю часу (E_b), визначається законом Стефана-Больцмана:

$$E = \sigma T^4,$$

де $\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8} \frac{Вт}{м^2 \cdot К^4}$ – стала Стефана-Больцмана. Для реальних тіл випромінювана енергія:

$$E = \varepsilon \sigma T^4$$

де ε – ступінь чорноти поверхні ($0 \leq \varepsilon \leq 1$). Теплообмін випромінюванням між двома тілами залежить від їхніх температур, площ поверхонь, ступенів чорноти та взаємної орієнтації. У багатьох практичних ситуаціях усі три види теплопередачі можуть відбуватися одночасно.

2.2. Теплові втрати в будівлях та їхні основні джерела.

Теплові втрати в будівлях – це кількість теплової енергії, яка виходить з опалюваного внутрішнього простору будівлі назовні або до неопалюваних зон протягом певного періоду часу. Ці втрати є однією з основних причин енергоспоживання на опалення та впливають на комфортність перебування в приміщенні. Розуміння джерел теплових втрат та вміння їх розраховувати є важливим для проектування енергоефективних будівель та впровадження заходів з енергозбереження.

Основні джерела теплових втрат у будівлях можна класифікувати наступним чином:

1. *Теплопередача через огорожувальні конструкції (будівельну оболонку).* Тепло передається через стіни, дах, підлогу, вікна та двері за рахунок трьох основних механізмів: теплопровідності, конвекції та випромінювання. Загальні теплові втрати через огорожувальні конструкції розраховуються з урахуванням усіх трьох механізмів теплопередачі та характеристик матеріалів і конструкцій.

Основні джерела теплових втрат через будівельну оболонку:

- Стіни: через велику площу є значним джерелом втрат, особливо при недостатній теплоізоляції.
- Дах (покрівля): тепле повітря піднімається вгору, тому через погано ізольований дах може втрачатися значна кількість тепла (до 25-35% загальних втрат).
- Вікна та двері: мають значно нижчий термічний опір порівняно зі стінами, особливо старі або негерметичні. Втрати можуть сягати 10-15%.
- Підлога (особливо над неопалюваним підвалом або на ґрунті): втрати становлять близько 5-8% і залежать від ізоляції та температури ґрунту.
- Теплові містки – це ділянки в конструкціях з підвищеною теплопровідністю (наприклад, стики стін, кути, місця кріплення балконів, віконні та дверні отвори), через які відбуваються інтенсивніші теплові втрати.

2. *Втрати тепла через вентиляцію та інфільтрацію.*

Вентиляція необхідна для забезпечення якості повітря в приміщеннях, але призводить до втрат тепла через виведення нагрітого повітря назовні та надходження холодного. Кількість втраченого тепла залежить від об'єму вентилязованого повітря, його теплоємності та різниці температур:

$$Q_v = V\rho c_p \Delta T t,$$

де V – об'єм вентилязованого повітря; ρ – густина повітря; c_p – питома теплоємність повітря; ΔT – різниця температур між внутрішнім та зовнішнім повітрям; t – час.

Інфільтрація – неконтрольоване проникнення холодного зовнішнього повітря в будівлю через щілини у вікнах, дверях, стінах та інших нещільностях будівельної оболонки. Ці втрати також залежать від об'єму проникаючого повітря та різниці температур.

3. Втрати тепла через димоходи та інші отвори.

Наявність нещільно закритих димоходів, вентиляційних каналів та інших отворів у будівельній оболонці також може призводити до значних втрат тепла за рахунок руху повітря (інфільтрації та ексфільтрації).

Загальні теплові втрати будівлі є сумою втрат через усі ці джерела. Для точного розрахунку теплових втрат використовуються спеціалізовані методи та програмне забезпечення, що враховують кліматичні умови, орієнтацію будівлі, характеристики огорожувальних конструкцій, системи вентиляції та інші фактори.

2.3. Матеріали для теплоізоляції: властивості та характеристики.

Теплоізоляційні матеріали відіграють ключову роль у зменшенні теплових втрат та підвищенні енергоефективності будівель, промислового обладнання та інженерних мереж. Їх основна функція полягає у створенні бар'єру для передачі тепла між областями з різними температурами. Ефективність теплоізоляційного матеріалу визначається низкою властивостей та характеристик.

Розглянемо основні властивості та характеристики теплоізоляційних матеріалів.

1. *Коефіцієнт теплопровідності (λ)* – кількість теплоти, яка проходить через одиницю площі матеріалу одиничної товщини за одиницю часу при одиничній різниці температур. Вимірюється в Вт/(м·К) або Вт/(м·°C). Чим нижчий коефіцієнт теплопровідності, тим кращі теплоізоляційні властивості матеріалу. Сучасні ефективні теплоізоляційні матеріали мають значення λ в діапазоні 0,020-0,050 Вт/(м·К).

2. *Термічний опір (R)* – опір матеріалу передачі тепла через його товщину. Вимірюється в (м²·К)/Вт або (м²·°C)/Вт. Чим вищий термічний опір, тим кращі теплоізоляційні властивості матеріалу при заданій товщині. Термічний опір можна знайти за формулою:

$$R = \frac{d}{\lambda},$$

де d – товщина матеріалу (м); λ – коефіцієнт теплопровідності (Вт/(м·К)).

3. *Питома теплоємність* (c) – кількість теплоти, необхідна для нагрівання одиниці маси матеріалу на один градус Цельсія (або Кельвіна). Вимірюється в Дж/(кг·К) або Дж/(кг·°С). Висока теплоємність може сприяти стабілізації температури в приміщенні, згладжуючи температурні коливання. Однак безпосередньо не визначає теплоізоляційні властивості.

Формула для кількості теплоти (Q) при зміні температури (ΔT) маси (m):

$$Q = cm\Delta T.$$

4. *Густина* (ρ) – маса одиниці об'єму матеріалу, вимірюється в кг/м³. Густина впливає на вагу конструкції та може бути пов'язана з іншими властивостями, такими як міцність та пористість. Зазвичай, легкі пористі матеріали мають кращі теплоізоляційні властивості.

5. *Пористість* – відношення об'єму пор до загального об'єму матеріалу. Висока пористість, особливо з дрібними замкнутими порами, сприяє низькій теплопровідності за рахунок зменшення конвекції та теплопровідності повітря, що міститься в порах.

6. *Водопоглинання* – здатність матеріалу поглинати та утримувати вологу. Вимірюється в % за масою або об'ємом. Підвищене водопоглинання може значно збільшити теплопровідність матеріалу, знижуючи його теплоізоляційні властивості. Тому для теплоізоляційних матеріалів важлива низька гігроскопічність або наявність гідрофобних властивостей.

7. *Паропроникність* (μ) – здатність матеріалу пропускати водяну пару. Безрозмірна величина (коефіцієнт опору паропроникності) або кг/(м·с·Па). Важлива характеристика для забезпечення правильного вологообміну в будівельних конструкціях та запобігання конденсації вологи всередині ізоляційного шару.

8. *Міцність на стиск та розтяг* – здатність матеріалу витримувати механічні навантаження. Вимірюється в Па (Паскаль) або кПа (кілопаскаль). Важлива характеристика залежно від застосування теплоізоляційного матеріалу (наприклад, для утеплення підлог під стяжку потрібна висока міцність на стиск).

9. *Горючість* – здатність матеріалу займатися та підтримувати горіння. Матеріали зазвичай поділяються на негорючі (НГ) та горючі (Г1-Г4). Важлива характеристика з точки зору пожежної безпеки будівлі.

10. *Екологічність та безпечність* – вплив матеріалу на навколишнє середовище та здоров'я людини під час виробництва, експлуатації та утилізації. Зростає важливість використання екологічно чистих та безпечних матеріалів.

11. *Довговічність та стійкість до біологічних факторів* – здатність матеріалу зберігати свої властивості протягом тривалого часу та чинити опір впливу грибків, плісняви та комах. Важлива для забезпечення тривалого терміну служби теплоізоляційної системи.

При виборі теплоізоляційного матеріалу необхідно враховувати комплекс цих властивостей та характеристик, а також специфічні вимоги конкретного застосування (тип конструкції, кліматичні умови, навантаження, пожежна безпека тощо). Розуміння цих параметрів дозволяє проектувати ефективні та довговічні теплоізоляційні системи, що сприяють значному зниженню енергоспоживання та підвищенню комфорту.

2.4. Технології утеплення будівель: стіни, дахи, підлоги, вікна.

Утеплення будівель є ключовим заходом для підвищення їхньої енергоефективності, зменшення витрат на опалення та кондиціонування, а також для забезпечення комфортного мікроклімату всередині приміщень. Існують різні технології утеплення для кожної з основних огорожувальних конструкцій будівлі: стін, дахів, підлог та вікон. Кожна технологія має свої особливості, переваги та недоліки, а вибір залежить від типу будівлі, кліматичних умов, наявного бюджету та вимог до енергоефективності.

1. *Утеплення стін.* Стіни є однією з найбільших поверхонь теплообміну в будівлі, тому їх якісне утеплення має значний вплив на загальні теплові втрати. Існують наступні основні технології утеплення стін:

Зовнішнє утеплення (Система «мокрый фасад»). Теплоізоляційний матеріал (мінеральна вата, пінополістирол, екструдований пінополістирол) кріпиться зовні на стіну за допомогою клейових розчинів та/або механічних елементів (дюбелів). Поверх ізоляції наноситься армуючий шар з сітки та клейового розчину, а потім – декоративний захисний шар (штукатурка, фарба). Зміщення точки роси за межі несучої стіни запобігає її промерзанню та накопиченню вологи, захист стіни від атмосферних впливів, покращення зовнішнього вигляду будівлі, відсутність зменшення внутрішнього простору.

Для розрахунку теплових втрат справедлива формула:

$$\frac{dQ}{dt} = \lambda_{\text{стін}} S \Delta T ,$$

де $\lambda_{\text{стін}}$ – загальний коефіцієнт теплопередачі утепленої стіни, який розраховується з урахуванням термічного опору всіх шарів, включаючи теплоізоляцію.

Зовнішнє утеплення (Вентильований фасад). Теплоізоляційний матеріал кріпиться до зовнішньої стіни, а поверх нього створюється вентиляційний зазор між ізоляцією та облицювальним матеріалом (сайдинг, плитка, композитні панелі). Каркас для кріплення облицювання забезпечує цей зазор. Ефективне видалення вологи з конструкції, захист від атмосферних впливів, довговічність, різноманітність архітектурних рішень.

Розрахунок теплових втрат аналогічний «мокрому фасаду», але враховується термічний опір всіх шарів.

Внутрішнє утеплення. Теплоізоляційний матеріал кріпиться до внутрішньої поверхні стін. Можливість проведення робіт поетапно, без впливу на зовнішній вигляд будівлі під час робіт. Зменшення внутрішнього простору, ризик зсуву точки роси всередину стіни та конденсації вологи, складність уникнення теплових містків. Рекомендується тільки в окремих випадках, коли зовнішнє утеплення неможливе. Розрахунок теплових втрат аналогічний зовнішньому утепленню, але шари розташовані в іншому порядку.

Утеплення в середині стіни (для багатошарових стін). Теплоізоляційний матеріал закладається між внутрішнім та зовнішнім шарами стіни (наприклад, в цегляній кладці з повітряним прошарком або в каркасних стінах). При розрахунку теплових втрат враховується термічний опір усіх шарів стіни.

2. *Утеплення дахів.* Через дах може втрачатися значна частина тепла, особливо в будівлях з поганою ізоляцією. Існують різні технології утеплення дахів залежно від їхньої конструкції (плоскі, скатні, мансардні):

Утеплення скатних дахів (мансард). Теплоізоляційний матеріал (мінеральна вата, скловата, ековата, пінополіуретан) укладається між кроквами. З внутрішньої сторони встановлюється пароізоляційна плівка, а з зовнішньої – гідроізоляційна мембрана з вентиляційним зазором.

Розрахунок теплових втрат здійснюється за формулою:

$$\frac{dQ}{dt} = \lambda_{\text{даху}} S_{\text{даху}} \Delta T ,$$

де $\lambda_{\text{даху}}$ – загальний коефіцієнт теплопередачі утепленого даху. Термічний опір шарів розраховується послідовно, враховуючи опір крокв, ізоляції, повітряних прошарків та покрівельного матеріалу.

Утеплення плоских дахів. Теплоізоляційний матеріал (екструдований пінополістирол, мінеральна вата, пінополіуретан) укладається поверх несучої конструкції даху. Зверху влаштовується гідроізоляційний шар. Можливі різні варіанти розташування шарів (традиційний, інверсійний, експлуатований дах). Розрахунок теплових втрат здійснюється аналогічно скатним дахам, при цьому враховується термічний опір усіх шарів.

Утеплення горищних перекриттів (для холодних горищ). Теплоізоляційний матеріал (мінеральна вата, ековата, керамзит, піноізол) розкладається шаром необхідної товщини на горищному перекритті. Простий та ефективний спосіб зменшення втрат тепла через стелю останнього поверху. Розрахунок теплових втрат визначається на основі термічного опору теплоізоляційного шару та перекриття.

3. *Утеплення підлог.* Утеплення підлог особливо важливе для перших поверхів, підлог над неопалюваними підвалами або ґрунтом. Основні технології включають:

Утеплення підлоги по ґрунту. Під бетонну стяжку укладається шар теплоізоляційного матеріалу (екструдований пінополістирол, пінополістирол високої щільності). При розрахунку теплових втрат враховується термічний опір теплоізоляції та шарів підлоги, а також теплопередача через ґрунт (яка залежить від глибини залягання та температури ґрунту).

Утеплення підлоги над підвалом або на лагах. Теплоізоляційний матеріал (мінеральна вата, скловата, ековата) укладається між лагами або балками перекриття. Знизу підшивається вітрозахисна мембрана, а зверху – пароізоляційна плівка (при необхідності). Розрахунок теплових втрат визначається на основі термічного опору теплоізоляційного шару та перекриття.

Система «тепла підлога». Нагрівальні елементи (труби з теплоносієм або електричні кабелі) укладаються в стяжку під фінішним покриттям підлоги. Утеплювач розміщується під нагрівальними елементами для спрямування тепла вгору та зменшення втрат вниз. При розрахунку теплових втрат враховується термічний опір шарів підлоги, теплоізоляції та тепловий потік від нагрівальних елементів.

4. *Утеплення вікон.* Вікна є найбільш «слабким» місцем з точки зору теплоізоляції порівняно з непрозорими конструкціями. Основні технології утеплення вікон включають:

Заміна старих вікон на енергоефективні склопакети. Встановлення вікон з багатокамерними склопакетами, заповненими інертним газом (аргон, криптон) та з низькоемісійним покриттям (Low-E).

Для характеристики енергоефективних вікон використовуються наступні параметри:

коефіцієнт теплопередачі вікна (U_w) – характеризує загальну теплопередачу через віконну конструкцію (рама та склопакет), Вт/(м²·К). Чим нижче значення, тим кращі теплоізоляційні властивості.

Коефіцієнт теплопередачі склопакета (U_g) – характеризує теплопередачу тільки через склопакет.

Коефіцієнт сонячного пропускання (g) – відношення сонячної енергії, що проходить через вікно, до падаючої на нього.

Коефіцієнт світлопропускання (τ_v) – відношення видимого світла, що проходить через вікно, до падаючого.

Розрахунок теплових втрат здійснюється за формулою:

$$\frac{dQ}{dt} = \lambda_{\text{вікна}} S_{\text{вікна}} \Delta T.$$

Утеплення існуючих вікон. Здійснюється наступними способами:

герметизація щілин – усунення щілин між рамою та стіною, між стулками та рамою за допомогою ущільнювачів;

встановлення додаткового скління – встановлення другої рами або плівки на скло для створення повітряного прошарку;

використання енергозберігаючих плівок – наклеювання спеціальних плівок на скло, що відбивають інфрачервоне випромінювання;

розрахунок теплових втрат. Після впровадження заходів необхідно перерахувати загальний коефіцієнт теплопередачі вікна з урахуванням нових елементів.

Вибір оптимальної технології утеплення залежить від багатьох факторів, але комплексний підхід, що включає утеплення всіх огорожувальних конструкцій, є найбільш ефективним для досягнення високої енергоефективності будівлі та значного зниження витрат на енергоносії.

Контрольні запитання до лекції №2

1. Які три основні види теплопередачі описані в тексті та в чому полягає їх принципова відмінність на мікроскопічному рівні?
2. Опишіть закон Фур'є для теплопровідності. Які фізичні величини він пов'язує і що характеризує коефіцієнт теплопровідності (λ)?
3. У чому полягає механізм конвекції в рідинах і газах? Які два основні види конвекції виділяють і чим вони відрізняються?
4. Поясніть закон Ньютона-Ріхмана для конвективного теплообміну. Від яких факторів залежить коефіцієнт тепловіддачі (h)?
5. Як відбувається передача теплової енергії шляхом випромінювання? Чи потребує цей процес наявності речовини між тілами?
6. Опишіть закон Стефана-Больцмана для випромінювання абсолютно чорного тіла. Що таке ступінь чорноти (ϵ) для реальних тіл?
7. Назвіть основні джерела теплових втрат у будівлях, що пов'язані з будівельною оболонкою. Який відсотковий діапазон втрат характерний для даху та вікон?
8. Яким чином вентиляція та інфільтрація впливають на теплові втрати в будівлі? Назвіть основні параметри, від яких залежить кількість втраченого тепла при вентиляції.
9. Які основні властивості та характеристики теплоізоляційних матеріалів перераховані в тексті? Яка формула пов'язує термічний опір (R) з товщиною (d) та коефіцієнтом теплопровідності (λ) матеріалу?
10. Опишіть технології зовнішнього та внутрішнього утеплення стін. Яка формула використовується для розрахунку теплових втрат через утеплену стіну, і що означає коефіцієнт теплопередачі ($\lambda_{\text{стіни}}$)?

ЛЕКЦІЯ 3. ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ У ПОВСЯКДЕННОМУ ЖИТТІ ТА НА РОБОЧОМУ МІСЦІ

3.1. Енергозбереження вдома та на офісі: освітлення, використання побутових приладів, опалення.

Енергозбереження вдома є важливим аспектом як для зменшення фінансових витрат, так і для збереження навколишнього середовища. Розглянемо детально основні напрямки енергозбереження в оселі, а саме оптимізацію освітлення та використання побутових приладів.

Одним із найефективніших способів економії в освітленні є заміна традиційних ламп розжарювання на енергоефективні альтернативи. Світлодіодні (LED) лампи вирізняються надзвичайно низьким енергоспоживанням, сягаючи до 80-90% економії порівняно з лампами розжарювання, а їхній термін служби в десятки разів довший. Компактні люмінесцентні лампи (КЛЛ) також значно ефективніші за лампи розжарювання, забезпечуючи до 75% економії енергії та маючи в 6-15 разів більший термін служби, проте слід пам'ятати про необхідність їхньої спеціальної утилізації через вміст невеликої кількості ртуті. Галогенні лампи є проміжним варіантом, ефективнішими за лампи розжарювання, але менш ефективними, ніж LED та КЛЛ. Кількісно економія електроенергії (ΔE) при заміні лампи може бути розрахована за формулою:

$$\Delta E = P_{old}t - P_{new}t = (P_{old} - P_{new})t,$$

де P_{old} – потужність старої лампи (у кВт), P_{new} – потужність нової енергоефективної лампи (у кВт), а t – час використання лампи (у годинах). Наприклад, заміна 100-ватної лампи розжарювання на 15-ватну LED лампу, що працює 3 години на день протягом року, дасть економію у $0,085 \text{ кВт} \cdot 1095 \text{ год} = 93,075 \text{ кВт} \cdot \text{год}$ на рік. Крім вибору ламп, важливу роль відіграє раціональне використання природного освітлення, розміщення робочих зон біля вікон та використання світлих елементів інтер'єру. Локальне освітлення, таке як настільні лампи та торшери, дозволяє освітлювати лише необхідні зони, а встановлення датчиків руху в прохідних кімнатах та регуляторів яскравості сприяє додатковій економії. Не слід забувати й про регулярне очищення світильників, оскільки пил може значно зменшувати їхню світловіддачу.

Для мінімізації енергоспоживання слід надавати перевагу обладнанню, що відповідає стандартам енергоефективності, таким як сертифікат Energy Star. Знак Energy Star на товарі свідчить про те, що цей продукт відповідає міжнародно визнаному стандарту енергоефективності, який діє в багатьох розвинених країнах. Коли є логотип Energy Star на пристрої, це означає, що його енергоспоживання щонайменше на 20-30 відсотків нижче, ніж

у подібних товарів без цієї сертифікації. Іншими словами, купуючи або використовуючи сертифіковану продукцію Energy Star, ви можете розраховувати на значне скорочення витрат електроенергії порівняно зі звичайними аналогами. Більшість сучасних принтерів, копіювальних апаратів та комп'ютерів оснащені режимами енергозбереження, які автоматично активуються після періоду бездіяльності. Забезпечення активації цих режимів є важливим кроком до економії енергії. Ключовим також є повне вимкнення оргтехніки після закінчення робочого дня, оскільки навіть у режимі очікування багато пристроїв продовжують споживати електроенергію, явище, відоме як «паразитне» енергоспоживання. Регулярне вимкнення пристроїв, що не використовуються, навіть протягом коротких періодів, може суттєво зменшити загальне енергоспоживання офісу. Окрім того, заохочення двостороннього друку та перехід на електронний документообіг не лише зменшують витрати паперу, але й опосередковано знижують енергетичні витрати, пов'язані з виробництвом та утилізацією паперової продукції.

Переходячи до використання побутових приладів, варто зазначити, що вони є значними споживачами електроенергії в домі. Для оптимізації їхнього використання слід дотримуватися певних правил. Холодильник та морозильна камера повинні бути встановлені подалі від джерел тепла та регулярно розморожуватися, оскільки намерзлий лід погіршує їхню ефективність. Важливо перевіряти щільність прилягання дверцят та не ставити всередину гарячі продукти. Оптимальні температурні режими (+5°C для холодильника та -18°C для морозильної камери) допомагають мінімізувати енергоспоживання. Пральну машину слід завантажувати повністю та використовувати режими прання при нижчих температурах, коли це можливо, уникаючи попереднього прання для не надто забрудненої білизни. Аналогічно, посудомийну машину слід використовувати при повному завантаженні та віддавати перевагу еко-режимам. При використанні електроплити та духовки важливо використовувати посуд з рівним дном, що відповідає розміру конфорки, готувати під кришкою та вимикати прилади трохи раніше, використовуючи залишкове тепло. Не рекомендується часто відкривати дверцята духовки під час приготування. Для розігрівання невеликих порцій їжі енергоефективнішою є мікрохвильова піч. Електрочайник слід використовувати, кип'ятячи лише необхідну кількість води та регулярно очищаючи від накипу. Телевізор, комп'ютер та інші електронні пристрої продовжують споживати електроенергію в режимі очікування, тому їх слід вимикати з розетки, коли вони не використовуються. Використання подовжувачів з вимикачами може спростити цей процес. На комп'ютерах та ноутбуках слід налаштовувати режими енергозбереження. Загальне споживання електроенергії приладом (E) розраховується за формулою:

$$\Delta E = Pt ,$$

де P – потужність приладу (у кВт), а t – час його роботи (у годинах).

Кондиціонування повітря є одним з найбільш енергоємних процесів в офісі, особливо в теплу пору року. Для оптимізації його роботи слід регулярно проводити технічне обслуговування систем кондиціонування, включаючи чистку або заміну фільтрів, що забезпечує їхню ефективну роботу. Підтримання оптимального температурного режиму в приміщенні (рекомендований діапазон 22-25°C) є важливим, оскільки кожний додатковий градус охолодження значно збільшує споживання електроенергії. Використання термостатів з програмуванням дозволяє автоматично регулювати температуру залежно від часу доби та присутності людей в офісі, уникаючи зайвого охолодження в неробочий час. Забезпечення належної теплоізоляції будівлі, включаючи утеплення стін, даху, а також герметизацію вікон та дверей, є критично важливим для мінімізації втрат охолодженого повітря та зменшення навантаження на систему кондиціонування.

Впровадження комплексного підходу до енергоефективності в офісі, що охоплює оптимізацію використання оргтехніки, освітлення та кондиціонування, дозволить не лише значно скоротити витрати на електроенергію, але й підвищити екологічну відповідальність підприємства.

3.2. Економія енергії при транспортуванні: вибір транспорту, стиль водіння.

Економія енергії при транспортуванні є важливим аспектом як для особистого бюджету, так і для зменшення екологічного впливу транспортної системи. Ця тема охоплює два основні напрямки: вибір найбільш енергоефективного виду транспорту та оптимізація стилю водіння для зниження споживання палива або електроенергії.

Найбільш енергоефективними способами пересування, які практично не споживають комерційної енергії та не мають викидів безпосередньо під час використання, є ходьба та їзда на велосипеді. Ці види транспорту не лише є екологічно чистими, але й корисними для здоров'я. Перехід до моторизованих видів транспорту передбачає оцінку їхньої енергоефективності. Громадський транспорт, такий як автобуси, тролейбуси, трамваї та метро, є значно ефективнішим за індивідуальні автомобілі з точки зору споживання енергії на одного пасажера, особливо в умовах високої заповнюваності. Розглянемо формулу для оцінки енергоефективності транспорту на одного пасажера:

$$E_{passenger} = \frac{E_{total}}{N_{passenger}},$$

де $E_{passenger}$ – енергоспоживання на одного пасажера (наприклад, у кВт·год/пасажиро-кілометр або л/100 пасажиро-кілометрів); E_{total} – загальне енергоспоживання транспортного засобу (наприклад, у кВт·год або літрах палива); $N_{passenger}$ – кількість пасажирів.

Очевидно, що чим більша кількість пасажирів використовує один транспортний засіб, тим нижчим є енергоспоживання на одного пасажера.

Спільне використання автомобілів є проміжним варіантом, що дозволяє підвищити ефективність використання індивідуального транспорту, розподіляючи енергоспоживання між кількома пасажерами.

Електромобілі представляють собою більш екологічну альтернативу автомобілям з двигунами внутрішнього згорання (ДВЗ), особливо якщо електроенергія для їх зарядки виробляється з відновлюваних джерел. Енергоефективність електромобілів зазвичай виражається у кіловат-годинах на 100 кілометрів (кВт·год/100 км). Порівнюючи цей показник з витратою палива автомобілів з ДВЗ (літри/100 км), слід враховувати енергетичний еквівалент палива та ефективність перетворення енергії в рух у різних типах двигунів. Загалом, електромобілі мають вищу ефективність перетворення енергії в механічну роботу порівняно з ДВЗ.

При виборі автомобіля з двигуном внутрішнього згорання слід звертати увагу на його офіційні показники витрати палива (у літрах на 100 км), які зазвичай вказуються для міського, заміського та комбінованого циклів. Автомобілі меншого розміру та з меншим об'ємом двигуна, як правило, є більш енергоефективними. Також слід враховувати клас екологічності автомобіля (наприклад, Євро-6), який відображає рівень викидів шкідливих речовин та може бути пов'язаний з ефективністю двигуна.

Другий важливий аспект економії енергії при транспортуванні – це стиль водіння. Манера керування автомобілем має значний вплив на витрату палива або електроенергії. Уникнення різких прискорень та гальмувань є ключовим для економії. Різкі розгони вимагають значно більшої кількості енергії для подолання інерції, а різке гальмування призводить до втрати кінетичної енергії, яка могла б бути використана для подальшого руху (особливо актуально для електромобілів та гібридів з рекуперативним гальмуванням).

Для більшості автомобілів з ДВЗ найекономічнішою є крейсерська швидкість у діапазоні 80-90 км/год на рівній дорозі. Збільшення швидкості призводить до значного зростання опору повітря, який пропорційний квадрату швидкості:

$$F_{drag} = \frac{1}{2} \rho C_d S v^2,$$

де ρ – густина повітря, C_d – коефіцієнт аеродинамічного опору, S – площа поперечного перерізу автомобіля, v – швидкість). Подолання цього опору вимагає більшої потужності двигуна та, відповідно, більшої витрати палива.

На автомобілях з механічною коробкою передач слід використовувати максимально високу передачу, яка дозволяє підтримувати потрібну швидкість без надмірного навантаження на двигун. Рух на низьких передачах при високих обертах є неекономічним.

Автомобілі з автоматичною коробкою передач зазвичай оптимізують перемикання передач для досягнення найкращої паливної ефективності.

Уникнення непотрібних гальмувань та прискорень шляхом завчасного прогнозування дорожньої обстановки (наприклад, зниження швидкості перед світлофорами або заторами) дозволяє підтримувати більш рівномірний рух та економити енергію.

Своєчасна заміна мастил, фільтрів, перевірка та підтримання оптимального тиску в шинах є важливими для забезпечення ефективної роботи двигуна та мінімізації опору коченню. Недостатній тиск у шинах збільшує площу контакту з дорогою та, відповідно, силу тертя, що призводить до зростання витрати палива.

Перевезення зайвого багажу на даху або у багажнику збільшує вагу автомобіля та його аеродинамічний опір, особливо на високих швидкостях. Зняття непотрібних багажних систем може покращити паливну економічність.

Впровадження цих принципів вибору транспорту та стилю водіння може призвести до значної економії енергії та зменшення витрат на паливо або електроенергію, а також сприяти зниженню викидів шкідливих речовин в атмосферу.

3.3. Роль інформаційних технологій у підвищенні енергоефективності.

Інформаційні технології (ІТ) відіграють дедалі важливішу роль у підвищенні енергоефективності в різних галузях, від промисловості та транспорту до будівель та енергетичних систем. Їхнє застосування дозволяє здійснювати точний моніторинг, аналіз даних, оптимізацію процесів та автоматизацію управління енергоспоживанням, що призводить до значного скорочення витрат енергії та зменшення негативного впливу на навколишнє середовище.

Одним із ключових напрямків є впровадження розумних енергетичних мереж (Smart Grids). Ці системи використовують цифрові технології для моніторингу та управління потоками електроенергії від виробництва до споживання в режимі реального часу. Завдяки цьому стає можливим оптимізувати розподіл енергії, зменшити втрати при передачі та інтегрувати відновлювані джерела енергії більш ефективно. Однією з формул, що відображає ефективність передачі енергії, є:

$$\eta = \frac{P_1}{P_2} \cdot 100\% ,$$

де η – коефіцієнт корисної дії (ККД) передачі енергії; P_1 – потужність, отримана споживачем; P_2 – потужність, передана від джерела.

Розумні мережі прагнуть максимізувати η шляхом мінімізації втрат на лініях електропередачі через оптимізоване управління навантаженням та виявлення несправностей.

Іншим важливим інструментом є розумні лічильники (Smart Meters), які забезпечують двосторонній зв'язок між споживачем та постачальником енергії. Вони дозволяють отримувати детальну інформацію про споживання енергії в реальному часі, що стимулює споживачів до більш усвідомленого використання ресурсів та надає постачальникам дані для оптимізації генерації та розподілу. Аналіз даних, отриманих зі смарт-лічильників, може виявити неефективні патерни споживання та допомогти розробити програми енергоефективності.

Системи управління будівлями (Building Management Systems, BMS) використовують інформаційні технології для інтегрованого управління інженерними системами будівлі, такими як освітлення, опалення, вентиляція та кондиціонування повітря (HVAC). BMS на основі даних від сенсорів та алгоритмів оптимізації можуть автоматично регулювати роботу цих систем залежно від присутності людей, часу доби, погодних умов та інших факторів, мінімізуючи таким чином енергоспоживання без шкоди для комфорту.

Інтернет речей (Internet of Things, IoT) відкриває нові можливості для енергоефективності, об'єднуючи різноманітні пристрої та системи в єдину мережу, що дозволяє збирати, обмінюватися та аналізувати великі обсяги даних. В енергетиці IoT може застосовуватися для моніторингу стану обладнання, прогнозування поломок, оптимізації режимів роботи промислових установок, а також для створення розумних домашніх систем, які автоматично керують енергоспоживанням побутових приладів.

Штучний інтелект (Artificial Intelligence, AI) та великі дані (Big Data) є потужними інструментами для аналізу складних енергетичних систем та виявлення закономірностей, які неможливо помітити традиційними методами. Алгоритми машинного навчання можуть прогнозувати попит на енергію з високою точністю, оптимізувати роботу електростанцій, виявляти аномалії в споживанні та рекомендувати заходи для підвищення енергоефективності. Наприклад, прогнозування попиту ($D(t)$) може базуватися на аналізі історичних даних (H) та поточних умов (C):

$$D(t) = g(H, C).$$

Точне прогнозування дозволяє оптимізувати виробництво та зменшити необхідність у резервних потужностях.

У промисловості IT використовуються для створення цифрових двійників (Digital Twins) – віртуальних копій фізичних об'єктів або процесів. Цифрові двійники дозволяють моделювати різні сценарії, оптимізувати режими роботи обладнання, прогнозувати його технічний стан та впроваджувати енергоефективні рішення на основі віртуальних експериментів без ризику для реальних процесів.

Таким чином, інформаційні технології є ключовим фактором для досягнення значного прогресу в підвищенні енергоефективності в різних секторах економіки. Їхнє подальше впровадження та розвиток відкривають нові можливості для більш сталого та ефективного використання енергетичних ресурсів.

3.4. Екологічна свідомість та мотивація до енергозбереження.

Екологічна свідомість та мотивація до енергозбереження є двома тісно пов'язаними поняттями, що визначають поведінку людей та їхнє прагнення до раціонального використання природних ресурсів. Екологічна свідомість відображає розуміння взаємозв'язку між людською діяльністю та станом навколишнього середовища, усвідомлення наслідків антропогенного впливу та відповідальність за збереження екосистем для майбутніх поколінь. Мотивація до енергозбереження, зі свого боку, є внутрішньою або зовнішньою рушійною силою, що спонукає до впровадження практик та прийняття рішень, спрямованих на зменшення споживання енергії.

Екологічна свідомість формується під впливом різноманітних факторів, включаючи освіту, особистий досвід, соціальні норми та інформаційне середовище. Чим глибше розуміння екологічних проблем, таких як зміна клімату, вичерпання природних ресурсів, забруднення повітря та води, тим вища ймовірність формування екологічно відповідальної поведінки. Наприклад, розуміння зв'язку між викидами парникових газів від спалювання викопного палива та зростанням середньої глобальної температури може стати потужним мотиватором для зменшення використання енергоємних технологій та переходу на відновлювані джерела енергії.

Мотивація до енергозбереження може мати різні форми. Економічна мотивація є однією з найпоширеніших. Зменшення витрат на комунальні послуги, паливо або експлуатацію енергоємних приладів є вагомим аргументом для багатьох людей. Економія коштів (ΔC) може бути розрахована як різниця між витратами до (C_{old}) та після (C_{new}) впровадження енергозберігаючих заходів:

$$\Delta C = C_{old} - C_{new},$$

де $C = E \cdot Tariff$, E – спожита енергія, $Tariff$ – вартість одиниці енергії.

Екологічна мотивація ґрунтується на бажанні зробити свій внесок у збереження довкілля. Усвідомлення негативного впливу надмірного енергоспоживання на екосистеми може спонукати до вибору енергоефективних товарів, зменшення власного енергетичного сліду та підтримки екологічних ініціатив.

Соціальна мотивація пов'язана з впливом соціальних норм та поведінки оточуючих. Якщо в суспільстві або певній соціальній групі енергозбереження є поширеною та

схвалюваною практикою, це може стимулювати інших наслідувати таку поведінку. Інформація про енергоефективність сусідів або колег (так званий «соціальний доказ») може бути потужним мотиватором.

Моральна та етична мотивація впливає з внутрішніх переконань щодо відповідальності перед майбутніми поколіннями та необхідності збереження планети. Це може проявлятися у прагненні до сталого способу життя та мінімізації власного екологічного сліду незалежно від економічних вигод або соціального тиску.

Інформаційні кампанії, освітні програми та державні стимули відіграють важливу роль у формуванні екологічної свідомості та підвищенні мотивації до енергозбереження. Надання чіткої та доступної інформації про наслідки енергоспоживання, переваги енергоефективних технологій та практичні поради щодо енергозбереження може сприяти зміні поведінки.

Державні програми підтримки, такі як субсидії на придбання енергоефективного обладнання, пільгові тарифи на «зелену» енергію або податкові пільги для власників енергоефективного житла, можуть посилити економічну мотивацію до енергозбереження. Нормативні акти, що встановлюють стандарти енергоефективності для будівель та приладів, також сприяють загальному зниженню енергоспоживання.

Важливим аспектом є формування позитивного образу енергозбереження як розумної та відповідальної поведінки, а не як обмеження чи незручність. Підкреслення супутніх вигод, таких як підвищення комфорту, поліпшення якості життя та внесок у здоровіше довкілля, може посилити мотивацію.

Таким чином, екологічна свідомість є фундаментом для формування мотивації до енергозбереження. Глибоке розуміння екологічних проблем у поєднанні з різноманітними мотиваційними факторами – економічними, екологічними, соціальними та моральними – є ключем до широкого впровадження енергозберігаючих практик на індивідуальному, організаційному та суспільному рівнях.

Контрольні запитання до лекції №3

1. Які основні напрямки енергозбереження розглядаються для дому та офісу в представленому тексті?
2. Опишіть переваги використання світлодіодних (LED) та компактних люмінесцентних ламп (КЛЛ) порівняно з лампами розжарювання, згадавши ключові характеристики та потенційну економію.

3. Як розрахувати економію електроенергії при заміні однієї лампи на енергоефективнішу, використовуючи наведену формулу? Наведіть приклад розрахунку.
4. Що означає наявність знаку Energy Star на побутовому приладі або оргтехніці, і яку мінімальну економію енергії це гарантує?
5. Які практичні поради щодо енергозбереження при використанні основних побутових приладів (холодильника, пральної машини, електроплити, електрочайника, телевізора та комп'ютера)?
6. Які особливості енергоспоживання систем кондиціонування в офісі слід враховувати для його оптимізації?
7. Які види транспорту, згідно з текстом, є найбільш енергоефективними, та як можна оцінити енергоефективність громадського транспорту?
8. Опишіть ключові аспекти енергоефективного стилю водіння, які допомагають зменшити споживання палива або електроенергії автомобілем.
9. Які основні фактори впливають на формування екологічної свідомості людини, і як вона пов'язана з мотивацією до енергозбереження?
10. Які основні види мотивації до енергозбереження виділено в тексті, і як економічна мотивація може бути розрахована за допомогою наведеної формули?

ЛЕКЦІЯ 4. ЕФЕКТИВНЕ ВИКОРИСТАННЯ ЕНЕРГІЇ В СИСТЕМАХ ОПАЛЕННЯ, ВЕНТИЛЯЦІЇ ТА КОНДИЦІОНУВАННЯ ПОВІТРЯ (ОВКП)

4.1. Принципи роботи сучасних енергоефективних систем опалення.

Сучасні енергоефективні системи опалення є ключовим елементом сталого розвитку та зниження споживання енергоресурсів. Серед найбільш поширених та ефективних рішень виділяються конденсаційні котли та теплові насоси, кожен з яких базується на різних фізичних принципах для забезпечення тепла з високим коефіцієнтом корисної дії (ККД).

Конденсаційні котли є еволюцією традиційних газових котлів, що використовують не лише тепло, яке виділяється при згорянні палива (зазвичай природного газу), але й додатково тепло, що міститься у водяній парі продуктів згорання.

Розглянемо принцип роботи конденсаційного котла.

1. *Згорання палива.* Газ (метан, CH_4) змішується з повітрям і спалюється в камері згорання. Основна реакція горіння метану описується наступним хімічним рівнянням:



де Q_1 – теплота, що виділяється в процесі згорання.

2. *Теплообмін.* Гарячі продукти згорання проходять через спеціальний теплообмінник, який має більшу площу поверхні порівняно зі звичайними котлами. Цей теплообмінник передає тепло теплоносію (зазвичай воді), який циркулює в системі опалення.

3. *Конденсація водяної пари.* Ключовою особливістю конденсаційних котлів є використання тепла конденсації водяної пари, що утворюється під час згорання. Коли температура продуктів згорання знижується нижче точки роси (близько 55°C для природного газу), водяна пара конденсується на холодних поверхнях теплообмінника, виділяючи при цьому приховану теплоту пароутворення ($Q_{\text{конд}}$). Цей процес описується рівнянням:



де $Q_{\text{конд}}$ – теплота конденсації.

4. *Відведення конденсату.* Утворений конденсат є слабокислою рідиною і відводиться з котла через спеціальну систему дренажу.

Загальний ККД конденсаційного котла може бути вищим за 100% (якщо розраховувати за нижчою теплотою згорання палива), оскільки він використовує не лише явне тепло від згорання, але й приховану теплоту конденсації. Ефективність конденсаційного котла ($\eta_{\text{конд}}$) можна якісно представити як:

$$\eta_{\text{конд}} = \frac{Q_1 + Q_{\text{конд}}}{Q_{\text{палива}}} \cdot 100\%,$$

де $Q_{\text{палива}}$ – хімічна енергія, що міститься в спаленому паливі.

Для досягнення максимальної ефективності конденсаційні котли потребують низькотемпературних систем опалення (наприклад, теплих підлог, радіаторів з низькою температурою теплоносія), що забезпечує достатнє охолодження продуктів згоряння для конденсації водяної пари.

Теплові насоси є пристроями, які переносять теплову енергію з джерела з низькою температурою (наприклад, повітря, ґрунту, води) до системи опалення з вищою температурою. Вони працюють за принципом зворотного термодинамічного циклу, подібно до холодильників або кондиціонерів.

Основні компоненти теплового насоса включають:

1. *Випарник*. У випарнику холодоагент (речовина з низькою температурою кипіння) поглинає тепло з низькотемпературного джерела і перетворюється з рідкого стану в газоподібний. Процес поглинання тепла ($Q_{\text{випар}}$) описується як:

$$Q_{\text{випар}} = m_{\text{холод}}(h_{\text{г}} - h_{\text{р}})_{\text{випар}},$$

де $m_{\text{холод}}$ – маса холодоагенту, $h_{\text{г}}$ і $h_{\text{р}}$ – ентальпія газоподібного та рідкого холодоагенту відповідно у випарнику.

2. *Компресор*. Газоподібний холодоагент стискається компресором, що призводить до значного підвищення його температури та тиску. На роботу компресора витрачається електрична енергія ($W_{\text{ком}}$).

3. *Конденсатор*. Гарячий холодоагент високого тиску надходить у конденсатор, де він віддає тепло системі опалення (теплоносію) і знову конденсується в рідкий стан. Процес віддачі тепла ($Q_{\text{конд}}$) описується як:

$$Q_{\text{конд}} = m_{\text{холод}}(h_{\text{г}} - h_{\text{р}})_{\text{конд}},$$

де $h_{\text{г}}$ і $h_{\text{р}}$ – ентальпія газоподібного та рідкого холодоагенту відповідно у конденсаторі.

4. *Розширювальний клапан (дрозель)*. Рідкий холодоагент високого тиску проходить через розширювальний клапан, де його тиск і температура різко знижуються, і він знову надходить у випарник для повторення циклу.

Ефективність теплового насоса оцінюється коефіцієнтом перетворення тепла (COP – Coefficient of Performance) в режимі опалення, який визначається як відношення кількості переданої теплової енергії до спожитої електричної енергії:

$$COP = \frac{Q_{\text{конд}}}{Q_{\text{ком}}}.$$

Високий COP (>3-5) свідчить про високу енергоефективність теплового насоса, оскільки він переносить значно більше теплової енергії, ніж споживає електричної.

Існують різні типи теплових насосів залежно від джерела низькотемпературного тепла:

- повітря-вода – використовує тепло зовнішнього повітря. Ефективність може знижуватися при дуже низьких температурах повітря;
- ґрунт-вода (геотермальні) – використовує стабільну температуру ґрунту через систему підземних теплообмінників. Забезпечує високу ефективність протягом року;
- вода-вода – використовує тепло природних водойм або ґрунтових вод. Також характеризується високою ефективністю.

Таким чином, конденсаційні котли використовують приховане тепло продуктів згоряння для підвищення ефективності спалювання палива, а теплові насоси переносять тепло з низькотемпературних джерел, забезпечуючи високий ККД за рахунок використання відновлюваних джерел енергії та ефективного термодинамічного циклу. Обидва типи систем є важливими інструментами для створення енергоефективних та екологічно чистих систем опалення.

4.2. Оптимізація систем вентиляції для зменшення енергоспоживання.

Оптимізація систем вентиляції є критично важливим аспектом для зниження загального енергоспоживання будівель. Неefективно спроектовані або не належним чином керовані системи вентиляції можуть призводити до значних втрат тепла взимку та холоду влітку, а також до зайвого споживання електроенергії вентиляторами. Існує кілька ключових стратегій та технологій, спрямованих на мінімізацію енергоспоживання систем вентиляції, які базуються на принципах контролю об'єму повітря, рекуперації тепла та ефективному використанні енергії вентиляторів.

1. Контроль об'єму повітря (VAV – Variable Air Volume).

Одним з основних способів оптимізації є впровадження систем вентиляції зі змінним об'ємом повітря (VAV). Традиційні системи вентиляції з постійним об'ємом повітря (CAV – Constant Air Volume) подають незмінну кількість свіжого повітря незалежно від фактичного навантаження на приміщення (кількість людей, тепловиділення обладнання тощо). Системи VAV, навпаки, регулюють об'єм повітря, що подається, відповідно до поточних потреб, що дозволяє значно знизити енергоспоживання вентиляторів та витрати на підігрів/охолодження повітря.

Кількість необхідного свіжого повітря ($V_{\text{потр}}$) може бути визначена на основі кількості людей (N) та площі приміщення (A) з урахуванням відповідних норм ($v_{\text{люд}}$ – норма подачі повітря на одну людину, $v_{\text{площ}}$ – норма подачі повітря на одиницю площі):

$$V_{\text{потр}} = \max(N \cdot v_{\text{люд}}, A \cdot v_{\text{площ}}).$$

Системи VAV використовують датчики концентрації CO₂, датчики присутності або термостати для визначення поточних потреб у вентиляції. На основі цих даних регулюються швидкість обертання вентиляторів (за допомогою частотних перетворювачів) або положення дросельних заслінок, що змінює об'єм повітря, що подається.

Потужність, споживана вентилятором ($P_{\text{вент}}$), пропорційна кубу швидкості обертання вентилятора (n) або об'єму повітря (V):

$$P_{\text{вент}} \propto n^3 \propto V^3.$$

Таким чином, навіть невелике зменшення об'єму повітря призводить до значного зниження енергоспоживання вентилятора.

2. *Рекуперація тепла (Heat Recovery Ventilation – HRV) та рекуперація ентальпії (Energy Recovery Ventilation – ERV).*

Рекуперація тепла є технологією, що дозволяє передавати тепло між витяжним та припливним повітрям. Взимку тепле витяжне повітря нагріває холодне припливне повітря, знижуючи навантаження на систему опалення. Влітку прохолодне витяжне повітря охолоджує тепле припливне повітря, зменшуючи потребу в кондиціонуванні.

Ефективність рекуперації тепла $\eta_{\text{рек}}$ визначається як відношення фактично переданого тепла до максимально можливого переданого тепла:

$$\eta_{\text{рек}} = \frac{T_{\text{припл.вих}} - T_{\text{припл.вх}}}{T_{\text{вит.вх}} - T_{\text{припл.вх}}} \cdot 100\% ,$$

де: $T_{\text{припл.вих}}$ – температура припливного повітря після рекуператора, $T_{\text{припл.вх}}$ – температура припливного повітря до рекуператора (зовнішня температура), $T_{\text{вит.вх}}$ – температура витяжного повітря до рекуператора (температура в приміщенні).

Рекуператори можуть бути різних типів: пластинчасті, роторні, з проміжним теплоносієм тощо.

Рекуперація ентальпії (ERV) на додаток до передачі тепла також передає вологу між повітряними потоками. Це особливо корисно в умовах високої вологості влітку (для осушення припливного повітря) та взимку (для зволоження сухого припливного повітря), що сприяє підвищенню комфорту та зниженню енергоспоживання на обробку повітря.

Ефективність рекуперації ентальпії ($\eta_{\text{ент}}$) враховує як теплопередачу, так і масопередачу вологи.

3. *Ефективні вентилятори та оптимізація системи повітроводів.*

Використання високоефективних вентиляторів з енергоефективними електродвигунами (наприклад, ЕС-двигунами) може значно знизити споживання

електроенергії. ЕС-двигуни мають вищий ККД порівняно з традиційними АС-двигунами, особливо при часткових навантаженнях, що є типовим для систем VAV.

Оптимізація системи повітроводів також відіграє важливу роль. Правильно спроектована система з мінімальною кількістю поворотів, оптимальними розмірами перерізів та гладкими внутрішніми поверхнями зменшує аеродинамічний опір (ΔP). Зниження опору призводить до зменшення необхідної потужності вентиляторів для забезпечення заданого об'єму повітря:

$$P_{\text{вент}} = \frac{V\Delta P}{\eta_{\text{мех}}},$$

де $\eta_{\text{мех}}$ – механічний ККД вентилятора.

Для зменшення опору слід використовувати повітроводи більшого діаметру (де це можливо), уникати різких поворотів та звужень, а також забезпечувати герметичність з'єднань для запобігання витокам повітря.

4. Датчики та автоматизація.

Впровадження інтелектуальних систем керування вентиляцією на основі даних від різних датчиків (температури, вологості, концентрації CO₂, присутності) дозволяє точно регулювати роботу системи відповідно до фактичних потреб. Автоматизовані системи можуть оптимізувати об'єм повітря, керувати роботою рекуператорів (наприклад, байпасування в певні періоди року), а також адаптувати режими роботи вентиляторів.

5. Зонування вентиляції (Zoning).

Розділення системи вентиляції на окремі зони, які можуть керуватися незалежно, дозволяє подавати необхідну кількість повітря лише в ті приміщення, де це дійсно потрібно. Це особливо ефективно для будівель з різним режимом використання окремих зон.

Впровадження цих стратегій та технологій в комплексі дозволяє значно зменшити енергоспоживання систем вентиляції, підвищити комфорт у приміщеннях та сприяти більш сталому використанню енергоресурсів. Ефективна оптимізація систем вентиляції є важливим кроком на шляху до енергоефективних будівель майбутнього.

4.3. Енергоефективне кондиціонування: вибір обладнання, режими роботи.

Енергоефективне кондиціонування повітря є одним із ключових аспектів сучасного енергозбереження в будівлях та приміщеннях. Його основною метою є забезпечення комфортного мікроклімату з мінімальним споживанням електроенергії. З огляду на постійне зростання цін на енергоресурси та посилення вимог до енергоефективності будівель, правильний вибір кондиціонерного обладнання та грамотне налаштування режимів його

роботи стають важливими факторами зниження витрат і підвищення загальної енергоефективності системи.

Перш за все, при виборі обладнання необхідно звернути увагу на тип кондиціонера. Найбільш ефективними сьогодні вважаються інверторні моделі, які здатні змінювати потужність роботи компресора залежно від поточних потреб у охолодженні. Це дозволяє значно знизити енергоспоживання – до 30–50% у порівнянні зі звичайними (неінверторними) пристроями. У багатокімнатних приміщеннях доцільним є встановлення мультиспліт-систем або VRF-систем, які дозволяють централізовано керувати кількома внутрішніми блоками та адаптувати роботу обладнання під реальні навантаження.

Надзвичайно важливим критерієм при виборі кондиціонера є його енергетичний клас. Слід віддавати перевагу моделям класу A⁺⁺, A⁺⁺⁺ – вони мають високі коефіцієнти сезонної енергоефективності SEER (для охолодження) та SCOP (для обігріву). Важливо також враховувати тип холодоагенту, що використовується. Нові моделі працюють на холодоагенті R32, який має менший вплив на навколишнє середовище та забезпечує ефективніший теплообмін.

Крім вибору обладнання, значну роль у загальній енергоефективності відіграє правильне використання режимів роботи кондиціонера. Автоматичний режим дозволяє пристрою самостійно підбирати оптимальні параметри роботи, зменшуючи при цьому навантаження на компресор. Нічний режим (Sleep Mode) передбачає поступове підвищення температури вночі, що не тільки економить енергію, а й сприяє кращому сну. Режими вентиляції або осушення можуть бути використані як альтернатива повноцінному охолодженню в умовах підвищеної вологості або незначного теплового дискомфорту. Також більшість сучасних моделей мають функцію таймера, що дозволяє програмувати час вмикання й вимикання пристрою, що запобігає його зайвій роботі.

Для досягнення максимальної ефективності важливо дотримуватися кількох практичних рекомендацій. Система кондиціонування повинна відповідати площі приміщення – недостатньо потужне обладнання працюватиме на межі можливостей, а занадто потужне споживатиме більше енергії без потреби. Крім того, правильне розміщення кондиціонера (не під прямими сонячними променями, далеко від джерел тепла) та регулярне обслуговування (чищення фільтрів, перевірка стану теплообмінників) істотно впливають на довговічність і ефективність системи.

Отже, енергоефективне кондиціонування – це поєднання технологічно сучасного обладнання з правильним підходом до його вибору та експлуатації. Це не лише економія коштів, а й внесок у зменшення навантаження на енергосистему та охорону довкілля.

4.4. Рекуперація тепла та вологи у системах ОВК.

Рекуперація тепла та вологи в системах опалення, вентиляції та кондиціонування повітря (ОВК) є важливою технологією, що дозволяє зменшити енергоспоживання будівель і підвищити загальну ефективність кліматичних систем. Рекуперація передбачає використання тепла або вологи витяжного повітря для підігріву або зволоження припливного повітря, що зменшує навантаження на системи опалення або охолодження.

Основний принцип рекуперації тепла базується на передачі енергії між двома потоками повітря – витяжним і припливним – за допомогою теплообмінника. Найчастіше використовуються пластинчасті, роторні або ентальпійні теплообмінники.

Ефективність рекуперації тепла визначається за формулою:

$$\eta_t = \frac{T_{\text{припл}} - T_{\text{зовн}}}{T_{\text{витяж}} - T_{\text{зовн}}} \cdot 100\% ,$$

де η_t – ефективність теплоутилізації, %; $T_{\text{припл}}$ – температура повітря після рекуператора (припливного); $T_{\text{зовн}}$ – температура зовнішнього повітря; $T_{\text{витяж}}$ – температура витяжного повітря.

Цей коефіцієнт показує, яку частину теплової енергії, що міститься у витяжному повітрі, вдалося передати припливному потоку.

Для забезпечення не тільки теплової, а й вологої рекуперації використовуються ентальпійні теплообмінники. Вони мають спеціальну мембрану, яка пропускає водяну пару, але не пропускає повітряні потоки, що дозволяє передавати не лише тепло, а й частину вологи з витяжного повітря до припливного. Це особливо актуально в зимовий період, коли повітря зовні дуже сухе, а традиційна вентиляція без зволоження може призвести до дискомфорту та пересушення слизових оболонок.

Рекуперація вологи оцінюється за аналогічною формулою:

$$\eta_w = \frac{X_{\text{припл}} - X_{\text{зовн}}}{X_{\text{витяж}} - X_{\text{зовн}}} \cdot 100\% ,$$

де η_w – ефективність рекуперації вологи, %; $X_{\text{припл}}$ – абсолютна вологість припливного повітря після рекуператора; $X_{\text{зовн}}$ – абсолютна вологість зовнішнього повітря; $X_{\text{витяж}}$ – абсолютна вологість витяжного повітря.

Загальна ентальпійна ефективність, яка враховує і тепло, і вологу, може бути оцінена за формулою:

$$\eta_h = \frac{h_{\text{припл}} - h_{\text{зовн}}}{h_{\text{витяж}} - h_{\text{зовн}}} \cdot 100\% ,$$

де η_h – загальна ентальпійна ефективність; h – ентальпія повітря, яка включає тепло та вологу (в кДж/кг).

Застосування рекуператорів дозволяє значно знизити теплові навантаження на систему опалення або охолодження, скоротити витрати на електроенергію та забезпечити стабільний рівень вологості у приміщенні.

4.5. Автоматизація та керування системами ОВК для підвищення ефективності.

Автоматизація та керування системами опалення, вентиляції та кондиціонування повітря (ОВК) відіграють ключову роль у забезпеченні енергоефективної роботи будівель, створенні комфортного мікроклімату та зниженні експлуатаційних витрат. З розвитком цифрових технологій та впровадженням концепції «розумного будинку» автоматизоване керування системами ОВК стало невід'ємною складовою сучасного енергоефективного будівництва.

Суть автоматизації полягає у використанні датчиків, контролерів, програмованих логічних пристроїв (ПЛК) та систем диспетчеризації (SCADA або BMS – Building Management System), які дозволяють здійснювати точне керування температурою, вологістю, якістю повітря, обсягами подачі повітря, а також режимами роботи вентиляційного та теплотехнічного обладнання. Це забезпечує мінімізацію витрат енергії за рахунок адаптації роботи систем до реальних умов експлуатації.

Одним із найважливіших елементів ефективного керування є наявність датчиків температури, CO₂, вологості, тиску та руху. Завдяки ним система може реагувати на зміни в навколишньому середовищі та регулювати свою роботу в режимі реального часу. Наприклад, за допомогою датчика присутності система може автоматично знижувати потужність або вимикати кондиціонування та вентиляцію в приміщеннях, де тимчасово немає людей. Такі заходи значно знижують непотрібне енергоспоживання. Крім того, сучасні системи автоматизації забезпечують можливість таймерного та добового програмування режимів роботи обладнання, що дозволяє оптимізувати навантаження впродовж доби або тижня. Наприклад, система може забезпечити комфортний мікроклімат до початку робочого дня, після чого зменшити енерговитрати в неробочі години.

Інтеграція систем ОВК з централізованими системами моніторингу та диспетчеризації (BMS) дозволяє здійснювати віддалене керування та аналіз ефективності роботи всього комплексу інженерних систем будівлі. Це забезпечує швидке виявлення несправностей, прогнозування технічного обслуговування та ухвалення рішень на основі реальних даних.

У поєднанні з алгоритмами машинного навчання або штучного інтелекту системи автоматизації можуть прогнозувати поведінку обладнання, оптимізувати графіки роботи, враховувати поведінку користувачів, а також адаптуватися до змін у завантаженні приміщень, погодних умовах та енергетичних тарифах.

Загалом, автоматизація систем ОВК сприяє підвищенню енергоефективності будівель, зниженню витрат на електроенергію та експлуатацію, підвищенню комфорту для користувачів та продовженню терміну служби обладнання. В умовах сучасного ринку це є не лише технічною перевагою, а й необхідністю для досягнення високих стандартів енергоефективності та сталого розвитку.

Контрольні запитання до лекції №4

1. У чому полягає принцип дії конденсаційного котла і чому його ККД може перевищувати 100%?
2. Яке хімічне рівняння описує процес згоряння метану в конденсаційному котлі, і яку додаткову теплоту він використовує?
3. Чому для ефективної роботи конденсаційного котла потрібна низькотемпературна система опалення?
4. Як працює тепловий насос і які основні компоненти входять до його складу?
5. Який коефіцієнт ефективності теплового насоса (COP) вважається високим і що він означає?
6. Як системи вентиляції VAV зменшують енергоспоживання порівняно з CAV?
7. У чому полягає різниця між рекуперацією тепла (HRV) та ентальпії (ERV), і які їх переваги?
8. Чому навіть незначне зменшення об'єму повітря у вентиляції призводить до суттєвої економії енергії?
9. Які типи кондиціонерів вважаються найбільш енергоефективними і чому інверторні моделі кращі за звичайні?
10. Які режими роботи кондиціонера сприяють зниженню енергоспоживання без втрати.

ЛЕКЦІЯ 5. ЕФЕКТИВНЕ ВИКОРИСТАННЯ ЕНЕРГІЇ В СИСТЕМАХ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ

5.1. Актуальність та основні проблеми ефективності в системах електропостачання.

Актуальність підвищення ефективності в системах електропостачання є надзвичайно високою в сучасному світі. Зростаюче споживання електроенергії, обмеженість природних ресурсів, екологічні проблеми та економічні чинники зумовлюють необхідність оптимізації процесів виробництва, передачі та розподілу електричної енергії. Підвищення ефективності не лише знижує витрати енергоресурсів та зменшує викиди шкідливих речовин в атмосферу, але й забезпечує стабільніше та надійніше електропостачання для споживачів.

Однією з основних проблем, що впливає на ефективність систем електропостачання, є втрати енергії. Розглянемо основні етапи, на яких виникають ці втрати.

Втрати при виробництві електроенергії. На теплових електростанціях значна частина первинної енергії палива втрачається у вигляді тепла. Коефіцієнт корисної дії (ККД) теплових електростанцій ($\eta_{ТЕЦ}$) визначається як відношення виробленої електричної енергії ($E_{ел}$) до спожитої теплової енергії ($Q_{тепл}$):

$$\eta_{ТЕЦ} = \frac{E_{ел}}{Q_{тепл}}.$$

Підвищення температури та тиску пари, використання комбінованих циклів (газотурбінних та паротурбінних установок) сприяють збільшенню $\eta_{ТЕЦ}$.

Втрати при передачі та розподілі електроенергії. При проходженні електричного струму по провідниках виникають втрати на нагрівання, які пропорційні квадрату сили струму (I) та опору провідника (R) (закон Джоуля-Ленца):

$$P_{втрат} = I^2 R.$$

Для зменшення цих втрат необхідно використовувати проводи з меншим опором, підвищувати напругу передачі (оскільки при заданій потужності $P=UI$, збільшення U призводить до зменшення I) та оптимізувати конфігурацію електричних мереж.

Втрати в трансформаторах. Трансформатори, які використовуються для підвищення та зниження напруги, також мають певні втрати, що складаються з втрат у сталі (гістерезис та вихрові струми) та втрат у обмотках (омічні втрати). ККД трансформатора ($\eta_{тр}$) визначається як відношення вихідної потужності ($P_{вих}$) до вхідної потужності ($P_{вх}$):

$$\eta_{тр} = \frac{P_{вих}}{P_{вх}}.$$

Використання якісних магнітних матеріалів та оптимізація конструкції трансформаторів сприяють підвищенню їхньої ефективності.

Ще однією важливою проблемою є неефективне використання електроенергії кінцевими споживачами. Значна частина електроенергії витрачається неекономно через використання застарілого обладнання з низьким ККД (наприклад, лампи розжарювання), недотримання правил енергозбереження та відсутність систем автоматизованого керування енергоспоживанням.

Інтеграція відновлюваних джерел енергії (ВДЕ) також створює певні виклики для ефективності систем електропостачання. Змінність генерації ВДЕ (сонячної та вітрової енергії) вимагає впровадження систем накопичення енергії та інтелектуальних систем керування мережею (Smart Grid) для забезпечення стабільного електропостачання.

Застаріла інфраструктура є ще однією суттєвою проблемою. Зношені лінії електропередачі, підстанції та розподільчі пристрої призводять до збільшення втрат енергії, зниження надійності та зростання витрат на обслуговування.

Для підвищення ефективності систем електропостачання необхідний комплексний підхід, який включає:

- Модернізацію обладнання та впровадження енергоефективних технологій на всіх етапах виробництва, передачі та розподілу електроенергії.
- Розвиток та впровадження інтелектуальних мереж (Smart Grid) з системами моніторингу, керування та оптимізації потоків енергії.
- Стимулювання енергозбереження серед кінцевих споживачів шляхом впровадження відповідних тарифів, освітніх програм та технологій.
- Інтеграцію систем накопичення енергії для згладжування піків споживання та забезпечення стабільності при роботі з ВДЕ.
- Залучення інвестицій у відновлення та модернізацію електроенергетичної інфраструктури.

Вирішення цих проблем та впровадження ефективних заходів дозволить значно підвищити ефективність систем електропостачання, забезпечити сталий розвиток енергетичного сектору та зменшити його негативний вплив на навколишнє середовище.

5.2. Технічні аспекти підвищення ефективності передачі та розподілу електроенергії.

Підвищення ефективності передачі та розподілу електроенергії є ключовим завданням сучасної енергетики, спрямованим на мінімізацію втрат, забезпечення надійності та оптимізацію функціонування електричних мереж. Технічні аспекти цього включають низку

заходів, спрямованих на вдосконалення обладнання, технологій та принципів організації електропередачі.

Одним з найважливіших напрямків є зменшення втрат в лініях електропередачі. Як вже зазначалося, втрати потужності на нагрівання провідників визначаються законом Джоуля-Ленца. Опір провідника, у свою чергу, залежить від його довжини (l), питомого опору матеріалу (ρ) та площі поперечного перерізу (S):

$$R = \rho \frac{l}{S}.$$

Таким чином, для зменшення R необхідно використовувати матеріали з меншим питомим опором (наприклад, мідь або алюміній високої провідності) та збільшувати площу поперечного перерізу провідників. Однак, збільшення перерізу призводить до зростання вартості та ваги ліній.

Більш ефективним способом зменшення втрат є підвищення напруги передачі. Оскільки передана потужність $P=UI$, при збільшенні напруги U для передачі тієї ж самої потужності необхідно зменшити силу струму I . Зменшення сили струму призводить до квадратичного зменшення втрат потужності ($P_{\text{втр}} \propto I^2$). Тому в магістральних мережах використовуються високі та надвисокі напруги (сотні кіловольт). Для передачі електроенергії на менші відстані та для розподілу використовуються трансформатори для зниження напруги до прийнятної для споживачів рівня.

Оптимізація конфігурації електричних мереж також відіграє важливу роль. Застосування розімкнутих або кільцевих схем замість радіальних дозволяє підвищити надійність електропостачання та зменшити втрати за рахунок перерозподілу потоків потужності. Впровадження інтелектуальних систем керування мережею (Smart Grid) дозволяє в режимі реального часу контролювати навантаження, виявляти та локалізувати пошкодження, а також оптимізувати режими роботи обладнання для мінімізації втрат.

Використання сучасних трансформаторів з високим ККД є ще одним важливим технічним аспектом. ККД трансформатора ($\eta_{\text{тр}}$) визначається як відношення вихідної потужності ($P_{\text{вих}}$) до вхідної потужності ($P_{\text{вх}}$):

$$\eta_{\text{тр}} = \frac{P_{\text{вих}}}{P_{\text{вх}}} = \frac{P_{\text{вих}}}{P_{\text{вих}} + P_{\text{втр}}}.$$

Втрати в трансформаторах складаються з втрат у сталі (гістерезис та вихрові струми) та втрат у обмотках (омічні втрати). Застосування аморфних магнітопроводів, оптимізація конструкції обмоток та використання якісних ізоляційних матеріалів дозволяють значно зменшити ці втрати та підвищити ККД трансформаторів.

Впровадження технологій компенсації реактивної потужності є важливим для зменшення втрат активної потужності в мережах змінного струму. Передача реактивної потужності призводить до збільшення повного струму в лініях, що, відповідно, збільшує втрати активної потужності. Встановлення компенсуючих пристроїв (конденсаторних батарей, синхронних компенсаторів) поблизу споживачів дозволяє зменшити перетікання реактивної потужності по мережі та знизити втрати.

Застосування високовольтних ліній постійного струму (HVDC) для передачі електроенергії на великі відстані є ефективним способом зменшення втрат. У лініях постійного струму відсутні втрати на реактивність та скін-ефект, що дозволяє передавати більшу потужність при менших втратах на великі відстані. Однак, використання HVDC вимагає встановлення дорогих перетворювальних підстанцій на початку та в кінці лінії.

Впровадження систем моніторингу та діагностики стану обладнання дозволяє своєчасно виявляти та усувати дефекти, що можуть призводити до збільшення втрат та зниження надійності. Використання тепловізійних камер, аналізаторів якості електроенергії та інших діагностичних приладів дозволяє проводити профілактичне обслуговування та запобігати аварійним ситуаціям.

Таким чином, підвищення ефективності передачі та розподілу електроенергії є багатогранним завданням, що включає в себе вдосконалення провідникових матеріалів, підвищення напруги передачі, оптимізацію конфігурації мереж, використання сучасного високоефективного обладнання, компенсацію реактивної потужності, застосування технологій HVDC та впровадження сучасних систем моніторингу та керування. Комплексне застосування цих технічних аспектів дозволить значно зменшити втрати електроенергії, підвищити надійність електропостачання та оптимізувати роботу енергетичних систем.

5.3. Інноваційні технології та підходи до підвищення ефективності систем електропостачання.

Інноваційні технології та підходи відіграють ключову роль у підвищенні ефективності сучасних систем електропостачання, охоплюючи генерацію, передачу, розподіл та споживання електроенергії. Одним з важливих напрямків є інтеграція розподіленої генерації (Distributed Generation, DG), включаючи відновлювані джерела енергії (Renewable Energy Sources, RES), такі як сонячні фотоелектричні станції та вітрогенератори. Ефективність фотоелектричного перетворення визначається формулою:

$$\eta_{PV} = \frac{P_{out}}{GS_{PV}},$$

де η_{PV} – ефективність фотоелектричного модуля; P_{out} – вихідна електрична потужність; G – інтенсивність сонячного випромінювання; S_{PV} – площа фотоелектричного модуля. Для вітрогенераторів коефіцієнт використання встановленої потужності (C_p) є важливим показником ефективності:

$$P_{wind} = \frac{1}{2} \rho S \mathcal{V}^2 C_p,$$

де P_{wind} – потужність вітру; ρ – густина повітря; S – площа, що омитається лопатями; \mathcal{V} – швидкість вітру; C_p – коефіцієнт потужності вітротурбіни.

У сфері передачі електроенергії значний прогрес спостерігається у розвитку технологій високовольтних ліній постійного струму (High-Voltage Direct Current, HVDC). Переваги HVDC особливо помітні на великих відстанях, де втрати потужності в лініях змінного струму (AC) зростають пропорційно квадрату струму. HVDC дозволяє зменшити ці втрати та підвищити пропускну здатність ліній.

Інтелектуальні електричні мережі (Smart Grids) є ще однією ключовою інновацією. Вони використовують інформаційно-комунікаційні технології для моніторингу, контролю та оптимізації потоків електроенергії. Одним з елементів Smart Grids є системи управління попитом (Demand Side Management, DSM), які спрямовані на зміну профілю споживання електроенергії кінцевими споживачами у відповідь на сигнали від енергосистеми або зміни цін. Ефективність DSM може бути оцінена за допомогою коефіцієнта пікового навантаження (Load Factor, LF):

$$LF = \frac{E_{avg}}{E_{peak}},$$

де E_{avg} – середнє навантаження за певний період; а E_{peak} – пікове навантаження за той самий період. Підвищення LF свідчить про більш рівномірне використання генеруючих потужностей.

Розвиток систем накопичення енергії (Energy Storage Systems, ESS), таких як акумуляторні батареї, відіграє важливу роль у балансуванні виробництва та споживання електроенергії, особливо при інтеграції RES з їх нестабільним характером генерації. Ємність акумуляторної батареї (C) визначає кількість енергії, яку вона може зберігати, і вимірюється в ампер-годинах (Ah) або ват-годинах (Wh):

$$E = C \cdot V,$$

де E – енергія; V – напруга батареї. Ефективність заряду-розряду є важливим параметром, що характеризує втрати енергії в процесі накопичення та віддачі.

Застосування силової електроніки та FACTS (Flexible AC Transmission Systems) пристроїв дозволяє покращити керуваність та стабільність мереж змінного струму. Наприклад, статичні синхронні компенсатори (STATCOM) використовуються для компенсації реактивної потужності та підтримки напруги в мережі.

Впровадження передових методів діагностики та моніторингу стану обладнання, включаючи використання штучного інтелекту та машинного навчання для прогнозування відмов, сприяє підвищенню надійності та ефективності роботи системи електропостачання, мінімізуючи непланові відключення та пов'язані з ними втрати.

Таким чином, інноваційні технології та підходи, що охоплюють інтеграцію RES, розвиток HVDC та Smart Grids, застосування ESS та силової електроніки, а також впровадження інтелектуальних систем моніторингу та управління, є ключовими факторами для створення більш ефективної, надійної та сталої системи електропостачання майбутнього.

5.4. Перспективи розвитку ефективних систем електропостачання.

Перспективи розвитку ефективних систем електропостачання пов'язані з інтеграцією новітніх технологій, зміною парадигми управління енергосистемами та зростаючим усвідомленням необхідності сталого енергетичного розвитку. Одним з ключових напрямків є подальша децентралізація енергогенерації за рахунок масового впровадження відновлюваних джерел енергії (RES). Прогнозується значне зростання встановленої потужності сонячних фотоелектричних станцій та вітрогенераторів. Сумарна енергія, вироблена розподіленими генераторами (E_{DG}), може бути визначена як сума енергії від окремих установок:

$$E_{DG} = \sum_{i=1}^n E_i ,$$

де E_i – енергія, вироблена i -м розподіленим генератором, а n - їх кількість.

Розвиток інтелектуальних електричних мереж (Smart Grids) є критично важливим для ефективної інтеграції RES та управління складними енергетичними потоками. Очікується впровадження більш досконалих систем моніторингу та контролю, включаючи розширене використання інтелектуальних лічильників (smart meters) та сенсорних мереж. Обсяг даних, що збираються такими системами (D), може зростати експоненційно з часом (t):

$$D(t) = D_0 e^{\alpha t} ,$$

де D_0 – початковий обсяг даних; α – коефіцієнт зростання. Аналіз цих великих даних за допомогою штучного інтелекту (AI) та машинного навчання (ML) дозволить оптимізувати режими роботи енергосистеми, прогнозувати попит та пропозицію, а також виявляти потенційні проблеми на ранніх стадіях.

Системи накопичення енергії (ESS) відіграватимуть все більш важливу роль у забезпеченні стабільності та гнучкості енергосистем майбутнього. Очікується значне зниження вартості акумуляторних технологій та збільшення їхньої енергоємності (E_{storage}) та потужності (P_{storage}). Загальна ємність накопичувачів в енергосистемі (C_{total}) може зростати відповідно до цільових показників інтеграції RES:

$$C_{\text{total}} \propto \int P_{\text{RES}}(t) dt,$$

де $P_{\text{RES}}(t)$ – потужність відновлюваних джерел енергії в часі.

Подальший розвиток силової електроніки та FACTS (Flexible AC Transmission Systems) пристроїв сприятиме підвищенню пропускної здатності та керованості існуючих та нових ліній електропередачі. Очікується розширене застосування високовольтних ліній постійного струму (HVDC) для передачі великих обсягів енергії на значні відстані з мінімальними втратами. Економічна ефективність HVDC ліній стає вищою при збільшенні відстані передачі (L):

$$\text{Cost}_{\text{HDVC}} < \text{Cost}_{\text{AC}} \text{ при } L > L_{\text{critical}},$$

де L_{critical} – критична відстань, що залежить від конкретних параметрів мережі.

Активне управління попитом (Active Demand Management, ADM) стане невід’ємною частиною ефективних енергосистем. Це включає впровадження динамічних тарифів, програм реагування на попит та розвиток інтелектуальних енергетичних співтовариств. Зміна споживання електроенергії споживачами (ΔE_{demand}) у відповідь на цінові сигнали (ΔPrice) може бути змодельована за допомогою коефіцієнта цінової еластичності попиту (χ):

$$\frac{\Delta E_{\text{demand}}}{E_{\text{demand}}} = \chi \frac{\Delta \text{Price}}{\text{Price}}.$$

Подальша цифровізація та автоматизація всіх рівнів енергосистеми, від генерації до споживання, відкриває нові можливості для оптимізації, підвищення надійності та зменшення експлуатаційних витрат. Застосування технологій блокчейн може забезпечити прозорість та безпеку транзакцій на енергетичних ринках, особливо при розвитку peer-to-peer торгівлі електроенергією.

Таким чином, перспективи розвитку ефективних систем електропостачання пов’язані з глибокою трансформацією енергетичного сектору, що характеризується децентралізацією, інтелектуалізацією, активним управлінням попитом та широким впровадженням інноваційних технологій накопичення та передачі енергії. Ці зміни спрямовані на створення більш стійкої, надійної та екологічно чистої енергетичної системи майбутнього.

Контрольні запитання до лекції №5

1. Які основні фактори зумовлюють високу актуальність підвищення ефективності в сучасних системах електропостачання?
2. На яких основних етапах виробництва, передачі та розподілу електроенергії виникають втрати енергії?
3. Як визначається коефіцієнт корисної дії (ККД) теплових електростанцій, і які заходи сприяють його збільшенню?
4. Опишіть закон Джоуля-Ленца та поясніть, які методи використовуються для зменшення втрат при передачі та розподілі електроенергії, пов'язаних з цим законом.
5. Які основні складові втрат у трансформаторах, і як визначається їхній ККД?
6. Які проблеми для ефективності систем електропостачання створює неефективне використання електроенергії кінцевими споживачами та інтеграція відновлюваних джерел енергії?
7. Назвіть основні складові комплексного підходу до підвищення ефективності систем електропостачання.
8. Як опір провідника залежить від його фізичних характеристик, і які матеріали є кращими для зменшення втрат в лініях електропередачі?
9. Поясніть принцип дії систем управління попитом (DSM) та як оцінюється їхня ефективність за допомогою коефіцієнта пікового навантаження (LF).
10. Які інноваційні технології та підходи, окрім згаданих HVDC та Smart Grids, розглядаються в тексті як перспективні для підвищення ефективності систем електропостачання?

ЛЕКЦІЯ 6. ЕКОНОМІЧНІ ТА ПОЛІТИЧНІ АСПЕКТИ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ: СТИМУЛИ ТА РЕГУЛЮВАННЯ

6.1. Методологія проведення енергетичного аудиту.

Методологія проведення енергетичного аудиту є систематизованим процесом, спрямованим на отримання достовірної інформації про поточне енергоспоживання об'єкта (будівлі, промислового підприємства, транспортної системи тощо), виявлення можливостей для підвищення енергоефективності та розробку економічно обґрунтованих рекомендацій щодо їх впровадження. Процес енергетичного аудиту зазвичай складається з кількох ключових етапів.

Першим етапом є *підготовка та планування*. На цьому етапі визначаються цілі та обсяг аудиту, формується аудиторська група, збирається первинна інформація про об'єкт (технічна документація, дані про енергоспоживання за попередні періоди). Важливим є визначення базового рівня енергоспоживання (E_{base}) за певний період часу (t_{base}), що використовується для порівняння з майбутніми показниками після впровадження енергоефективних заходів. Середнє енергоспоживання (\bar{P}) може бути розраховане як:

$$\bar{P} = \frac{E_{base}}{t_{base}} .$$

Другий етап включає *збір даних та проведення вимірювань*. Аудитори здійснюють безпосередній огляд об'єкта, аналізують роботу енергетичного обладнання (системи опалення, вентиляції, кондиціонування, освітлення, технологічне обладнання тощо), проводять необхідні інструментальні вимірювання (температури, вологості, освітленості, електричних параметрів – струму I , напруги U , коефіцієнта потужності $\cos\phi$, витрати енергоносіїв тощо). Для оцінки споживання електроенергії окремим обладнанням використовується формула потужності:

$$P=U \cdot I \cdot \cos\phi,$$

а загальне споживання енергії за певний час (Δt) розраховується як:

$$\Delta E=P \cdot \Delta t.$$

Третій етап – *аналіз отриманих даних*. Зібрана інформація обробляється та аналізується для виявлення неефективних областей енергоспоживання та причин їх виникнення. Проводиться порівняння фактичних показників з нормативними або найкращими доступними практиками. Розраховуються питомі показники енергоспоживання (на одиницю продукції, площі, об'єму тощо). Наприклад, питоме споживання електроенергії на одиницю продукції (e) може бути визначене як:

$$e = \frac{E_{\text{total}}}{V_{\text{production}}},$$

де E_{total} – загальне споживання електроенергії, а $V_{\text{production}}$ – обсяг виробленої продукції.

Четвертий етап – *розробка енергоефективних заходів*. На основі проведеного аналізу аудитори розробляють перелік технічно можливих та економічно доцільних заходів, спрямованих на зниження енергоспоживання. Для кожного заходу оцінюються потенційна економія енергії (ΔE_{save}), вартість його впровадження (C_{invest}), термін окупності (T_{payback}):

$$T_{\text{payback}} = \frac{C_{\text{invest}}}{\text{Cost}_{\text{energy}} \cdot \Delta E_{\text{save}}},$$

де $\text{Cost}_{\text{energy}}$ – вартість одиниці енергії. Також може розраховуватися чиста приведена вартість (Net Present Value, NPV) та внутрішня норма прибутковості (Internal Rate of Return, IRR) для оцінки економічної привабливості інвестицій.

П'ятий етап – *підготовка звіту з енергетичного аудиту*. Звіт містить детальну інформацію про об'єкт аудиту, методологію проведення, результати аналізу енергоспоживання, перелік розроблених енергоефективних заходів з оцінкою їхньої технічної та економічної доцільності, а також рекомендації щодо їх впровадження.

Шостий етап – представлення результатів та супровід впровадження (за необхідності). Аудиторська група представляє звіт замовнику, відповідає на запитання та може надавати консультаційну підтримку на етапі впровадження рекомендованих заходів.

Таким чином, методологія енергетичного аудиту є комплексним та ітеративним процесом, що поєднує збір даних, їхній аналіз, розробку технічних та економічних рішень для підвищення енергоефективності об'єкта. Використання кількісних показників та економічних розрахунків є ключовим для обґрунтування доцільності впровадження енергозберігаючих заходів.

6.2. Аналіз енергоспоживання та виявлення потенціалу енергозбереження.

Аналіз енергоспоживання та виявлення потенціалу енергозбереження є ключовим етапом на шляху до підвищення енергоефективності будь-якого об'єкта, будь то будівля, промислове підприємство чи транспортна система. Цей процес передбачає збір, систематизацію та дослідження даних про споживання різних видів енергії з метою ідентифікації неефективних областей та розробки заходів для їх оптимізації.

Першим кроком є *збір даних про енергоспоживання*. Це включає аналіз рахунків за енергоресурси (електроенергію, теплову енергію, природний газ, воду тощо) за певний період часу. Загальне споживання енергії (E_{total}) може бути розраховане як сума споживання

кожного виду енергії, переведеного в єдину одиницю виміру (наприклад, кіловат-години або гігаджоулі) з урахуванням відповідних коефіцієнтів переведення (k_i):

$$E_{\text{total}} = \sum_{i=1}^n V_i k_i,$$

де V_i – обсяг споживання i -го виду енергоресурсу, а n – кількість видів енергоресурсів.

Другим етапом є *структурування та категоризація енергоспоживання*. Зібрані дані розподіляються за основними споживачами або системами (освітлення, опалення, вентиляція, технологічне обладнання, побутові прилади тощо). Визначається частка кожного споживача у загальному енергоспоживанні. Наприклад, частка споживання електроенергії системою освітлення ($\% E_{\text{lighting}}$) може бути розрахована як:

$$\% E_{\text{lighting}} = \frac{E_{\text{lighting}}}{E_{\text{total}}} \cdot 100\% .$$

Третім етапом є *порівняльний аналіз*. Фактичні показники енергоспоживання порівнюються з нормативними значеннями, проектними даними, показниками аналогічних об'єктів або найкращими доступними практиками (бенчмаркінг). Розраховуються питомі показники енергоспоживання (на одиницю площі, об'єму, продукції тощо). Наприклад, питома споживання теплової енергії на опалення одного квадратного метра площі (q_{heating}) визначається як:

$$q_{\text{heating}} = \frac{Q_{\text{heating}}}{S},$$

де Q_{heating} – загальне споживання теплової енергії на опалення, а S – опалювана площа. Відхилення фактичних показників від порівняльних значень вказують на потенційні зони неефективного енергоспоживання.

Четвертим етапом є *інструментальне обстеження та вимірювання*. Для більш глибокого розуміння процесів енергоспоживання проводяться безпосередні вимірювання параметрів роботи енергетичного обладнання (потужність, струм, напруга, температура, витрата, тиск тощо) за допомогою спеціальних приладів. Це дозволяє виявити неоптимальні режими роботи, втрати енергії та інші проблеми, які неможливо ідентифікувати лише за рахунками.

П'ятим етапом є *виявлення потенціалу енергозбереження*. На основі проведеного аналізу та вимірювань визначаються конкретні енергоефективні заходи, впровадження яких може призвести до зниження енергоспоживання. Потенційна економія енергії ($\Delta E_{\text{potentia}}$) для кожного заходу оцінюється на основі технічних характеристик обладнання та режимів його роботи. Наприклад, заміна ламп розжарювання на світлодіодні дозволить заощадити

енергію, яка розраховується як різниця між споживанням старих та нових ламп за певний період часу.

Шостим етапом є *оцінка економічної доцільності енергозберігаючих заходів*. Для кожного запропонованого заходу розраховуються витрати на його впровадження (C_{invest}) та очікувана річна економія коштів (S_{annual}):

$$S_{annual} = \Delta E_{potential} \cdot Cost_{energy},$$

де $Cost_{energy}$ – вартість одиниці енергії. На основі цих даних визначаються термін окупності ($T_{payback}$), чиста приведена вартість (NPV) та інші економічні показники, що дозволяють оцінити ефективність інвестицій в енергозбереження.

6.3. Розробка планів енергоефективності та їх впровадження.

Розробка планів енергоефективності є ключовим етапом у реалізації стратегії сталого енергетичного розвитку на будь-якому рівні – від окремого підприємства до національної економіки. Ці плани являють собою комплекс взаємопов'язаних заходів, спрямованих на оптимізацію споживання енергоресурсів, зниження витрат та зменшення негативного впливу на навколишнє середовище. Процес розробки та впровадження таких планів включає кілька послідовних етапів.

Першим етапом є *визначення цілей та завдань*. На цьому етапі формулюються конкретні, вимірювані, досяжні, релевантні та обмежені в часі (SMART) цілі в галузі енергоефективності. Наприклад, ціллю може бути зниження загального енергоспоживання підприємства на певний відсоток ($\% \Delta E_{target}$) протягом заданого періоду (t_{target}). Ціль може бути виражена формулою:

$$\frac{E_{initial} - E_{final}}{E_{initial}} \cdot 100\% \geq \% \Delta E_{target} \text{ за час } t_{target},$$

де $E_{initial}$ – початкове енергоспоживання, а E_{final} – цільове енергоспоживання.

Другим етапом є *проведення енергетичного аудиту*. Як було описано раніше, енергетичний аудит дозволяє отримати детальну інформацію про поточне енергоспоживання, виявити неефективні області та потенціал енергозбереження. Результати енергоаудиту є основою для розробки конкретних енергоефективних заходів.

Третім етапом є *розробка переліку енергоефективних заходів*. На основі результатів енергоаудиту формується список технічно можливих та економічно доцільних заходів. Для кожного заходу визначаються очікувана економія енергії (ΔE_i), вартість його впровадження ($C_{i,invest}$) та термін окупності ($T_{i,payback}$):

$$T_{i,\text{payback}} = \frac{C_{i,\text{invest}}}{\text{Cost}_{\text{energy}} \cdot \Delta E_i},$$

де $\text{Cost}_{\text{energy}}$ – вартість одиниці енергії.

Четвертим етапом є *пріоритезація та вибір заходів для включення до плану*. Заходи оцінюються за різними критеріями, такими як потенціал економії енергії, економічна ефективність, технічна складність впровадження, екологічні переваги та соціальний вплив. На основі цієї оцінки визначається послідовність впровадження заходів та формується план енергоефективності. План може включати часовий графік реалізації кожного заходу із зазначенням відповідальних осіб та необхідних ресурсів.

П'ятим етапом є *розробка детального плану впровадження*. Для кожного обраного заходу розробляється детальний план, що включає технічну документацію, кошторис, графік виконання робіт, процедури закупівель та навчання персоналу. Загальний бюджет плану (C_{total}) є сумою витрат на впровадження всіх включених заходів:

$$C_{\text{total}} = \sum_{i=1}^n C_{i,\text{invest}},$$

де n – кількість заходів, включених до плану.

Шостим етапом є *впровадження плану*. На цьому етапі здійснюється безпосереднє виконання запланованих заходів: закупівля та встановлення нового обладнання, модернізація існуючих систем, впровадження систем автоматизованого керування, проведення навчань тощо.

Сьомим етапом є *моніторинг та оцінка результатів*. Після впровадження заходів здійснюється регулярний моніторинг фактичного енергоспоживання та порівняння його з базовим рівнем та цільовими показниками. Розраховується фактична економія енергії (ΔE_{actual}) та економічний ефект (S_{actual}):

$$S_{\text{actual}} = \Delta E_{\text{actual}} \cdot \text{Cost}_{\text{energy}}.$$

Проводиться аналіз відхилень від запланованих показників та вносяться необхідні корективи до плану. Ефективність впроваджених заходів може бути оцінена за допомогою таких показників, як термін окупності, чиста приведена вартість (NPV) та внутрішня норма прибутковості (IRR), розрахованих на основі фактичних даних.

Восьмим етапом є *підтримка та подальше вдосконалення*. Енергоефективність є безперервним процесом. Тому після впровадження першого етапу плану необхідно забезпечити належну експлуатацію оновленого обладнання та систем, проводити регулярні перевірки та аналіз енергоспоживання, а також постійно шукати нові можливості для

підвищення енергоефективності та оновлювати план відповідно до нових технологій та економічних умов.

6.4. Системи енергетичного менеджменту (ISO 50001).

Системи енергетичного менеджменту (СЕМ) згідно зі стандартом ISO 50001 являють собою структурований підхід до постійного поліпшення енергетичної результативності організації, включаючи енергоефективність, використання та споживання енергії. Стандарт надає framework для встановлення, впровадження, підтримки та поліпшення СЕМ, дозволяючи організаціям систематично управляти енергетичними аспектами своєї діяльності та досягати значної економії енергоресурсів.

В основі ISO 50001 лежить цикл PDCA (Plan-Do-Check-Act), що забезпечує безперервний процес удосконалення.

Етап Plan (Планування) включає:

1. *Визначення сфери застосування та меж СЕМ.* Організація визначає, до яких видів діяльності та об'єктів буде застосовуватися СЕМ.

2. *Розробку енергетичної політики.* Вище керівництво встановлює енергетичну політику, яка відображає зобов'язання організації щодо поліпшення енергетичної результативності.

3. *Проведення енергетичного аналізу.* Цей етап передбачає збір даних про енергоспоживання за минулі періоди, ідентифікацію значних споживачів енергії (Significant Energy Users, SEUs) та оцінку поточного рівня енергетичної результативності. Для визначення питомого споживання енергії (e) для певного SEU використовується формула:

$$e = \frac{E_{SEU}}{P_{output}},$$

де E_{SEU} – енергія, спожита значним споживачем енергії, а P_{output} – відповідний показник випуску продукції або інший релевантний показник діяльності.

4. *Встановлення базових рівнів енергоспоживання (EnB).* EnB є кількісним еталоном для порівняння майбутньої енергетичної результативності. Він може бути виражений як функція відповідних змінних (наприклад, обсягу виробництва, температури навколишнього середовища):

$$EnB = f(\text{relevant variables}).$$

5. *Визначення показників енергетичної результативності (EnPIs).* EnPIs є кількісними значеннями, що використовуються для моніторингу та оцінки енергетичної результативності. Вони можуть бути виражені у вигляді питомого споживання енергії або інших відносних показників.

6. *Встановлення цілей, завдань та розробка планів дій.* На основі енергетичної політики, аналізу та EnPIs встановлюються конкретні цілі та завдання щодо поліпшення енергетичної результативності, а також розробляються плани дій для їх досягнення.

Етап Do (Виконання) включає впровадження запланованих дій, необхідних для досягнення енергетичних цілей та завдань. Це може включати:

- Модернізацію обладнання.
- Впровадження енергозберігаючих технологій.
- Навчання персоналу.
- Зміни в операційних процедурах.

Етап Check (Перевірка) передбачає моніторинг та вимірювання ключових показників енергетичної результативності (EnPIs) та порівняння фактичних результатів з встановленими цілями та завданнями. Для оцінки поліпшення енергетичної результативності ($\% \Delta EnP$) використовується формула:

$$\% \Delta EnP = \frac{EnPI_{base} - EnPI_{current}}{EnPI_{base}} \cdot 100\% ,$$

де $EnPI_{base}$ – базове значення показника енергетичної результативності, а $EnPI_{current}$ – поточне значення показника. Також проводиться внутрішній аудит СЕМ для оцінки її відповідності вимогам ISO 50001 та ефективності функціонування.

Етап Act (Дія) включає вжиття коригувальних та запобіжних дій на основі результатів моніторингу, вимірювань та аудитів з метою постійного поліпшення СЕМ та енергетичної результативності. Проводиться аналіз невідповідностей та розробляються заходи для їх усунення та запобігання їх повторному виникненню. Керівництво здійснює періодичний аналіз функціонування СЕМ для забезпечення її постійної придатності, адекватності та ефективності.

Впровадження ISO 50001 дозволяє організаціям не лише знизити свої енергетичні витрати та зменшити викиди парникових газів, але й підвищити свою конкурентоздатність, поліпшити імідж та забезпечити відповідність законодавчим вимогам у сфері енергоефективності.

Контрольні запитання до лекції №6

1. Яка основна мета проведення енергетичного аудиту?
2. Назвіть шість основних етапів методології проведення енергетичного аудиту.
3. Як розраховується середнє енергоспоживання об'єкта на етапі підготовки та планування енергетичного аудиту?

4. Які основні параметри вимірюються на етапі збору даних та проведення вимірювань під час енергетичного аудиту?
5. Поясніть, як визначається питоме споживання електроенергії на одиницю продукції на етапі аналізу отриманих даних.
6. Які основні критерії використовуються для оцінки економічної доцільності енергозберігаючих заходів, розроблених на четвертому етапі енергетичного аудиту?
7. Які основні кроки включає процес аналізу енергоспоживання та виявлення потенціалу енергозбереження?
8. Як розраховується загальне споживання енергії об'єктом з урахуванням різних видів енергоресурсів?
9. Які основні етапи розробки та впровадження планів енергоефективності?
10. Опишіть цикл PDCA, що лежить в основі систем енергетичного менеджменту ISO 50001, та назвіть основні дії, які включає кожен етап.

ЛЕКЦІЯ 7. ВІДНОВЛЮВАНІ ДЖЕРЕЛА ЕНЕРГІЇ ТА ЇХ ІНТЕГРАЦІЯ В ЕНЕРГОСИСТЕМУ

7.1. Огляд основних видів ВДЕ: сонячна енергія, вітрова енергія, біомаса, гідроенергія, геотермальна енергія.

Відновлювані джерела енергії (ВДЕ) є ключовим елементом у сучасному енергетичному ландшафті, пропонуючи стійкі та екологічно чисті альтернативи викопному паливу. Їх використання сприяє зменшенню викидів парникових газів та забезпечує енергетичну незалежність.

Сонячна енергія перетворюється на електричну або теплову енергію за допомогою фотоелектричних панелей або сонячних колекторів.

Фотоелектричні системи використовують фотоелектричний ефект, де фотони світла вибивають електрони з напівпровідникового матеріалу (зазвичай кремнію), створюючи електричний струм. Потужність, що генерується фотоелектричною панеллю, може бути виражена як:

$$P = \eta SG,$$

де P – електрична потужність (Вт); η – коефіцієнт корисної дії панелі; S – площа панелі (м^2); G – інтенсивність сонячного випромінювання ($\text{Вт}/\text{м}^2$).

Сонячні колектори нагрівають рідину, яка потім використовується для опалення води або приміщень. Теплова потужність, що генерується колектором, може бути виражена як:

$$Q = SI\eta_t,$$

де Q – теплова потужність (Вт); S – площа колектора (м^2); I – інтенсивність сонячного випромінювання ($\text{Вт}/\text{м}^2$); η_t – тепловий коефіцієнт корисної дії колектора.

Вітрова енергія перетворюється на електричну за допомогою вітрових турбін. Принцип роботи базується на використанні кінетичної енергії вітру. Потужність, що генерується вітровою турбіною, може бути розрахована за формулою:

$$P = \frac{1}{2} \rho S v^3 C_p,$$

де P – електрична потужність (Вт); ρ – густина повітря ($\text{кг}/\text{м}^3$); S – площа, що «омітається» лопатями ротора (м^2); v – швидкість вітру ($\text{м}/\text{с}$); C_p – коефіцієнт потужності (коефіцієнт використання енергії вітру, зазвичай до 0,593 за законом Беца).

Біомаса – це органічна речовина рослинного або тваринного походження, що може бути використана для виробництва енергії шляхом спалювання, газифікації, піролізу або анаеробного зброджування. Теплотворна здатність біомаси залежить від її типу та вологості. Енергія, що виділяється при спалюванні біомаси, може бути розрахована як:

$$E = qm,$$

де E – вироблена енергія (Дж); m – маса біомаси (кг); q – питома теплота згоряння біомаси (Дж/кг).

Гідроенергія використовує потенційну енергію води, що знаходиться на певній висоті, для обертання турбін та генерації електроенергії. Потужність гідроелектростанції може бути виражена як:

$$P = \eta \rho g H Q,$$

де P – електрична потужність (Вт); η – коефіцієнт корисної дії турбіни та генератора; ρ – густина води (кг/м³); g – прискорення вільного падіння; H – напір води (висота падіння) (м); Q – витрата води (м³/с).

Геотермальна енергія використовує тепло Землі, що виходить з її надр. Це тепло може бути використане для виробництва електроенергії або для прямого опалення. Теплова потужність, що може бути отримана з геотермального джерела, залежить від температури та дебіту термальної води або пари. Загальна теплова потужність системи може бути виражена як:

$$Q = m c_p \Delta T,$$

де Q – теплова потужність (Вт); m – масовий потік геотермальної рідини (кг/с); c_p – питома теплоємність рідини (Дж/(кг·°C)); ΔT – різниця температур між гарячою та охолодженою рідиною (°C).

7.2. Інтеграція ВДЕ в системи енергопостачання будівель та промислових об'єктів.

Інтеграція відновлюваних джерел енергії (ВДЕ) в енергопостачання будівель та промислових об'єктів – це ключовий крок до енергетичної незалежності, зниження витрат та декарбонізації. Цей процес вимагає не лише встановлення обладнання, а й оптимізації енергетичних потоків.

Успішна інтеграція ВДЕ базується на енергетичному балансі, що досягається трьома способами:

1. **Пряме споживання:** негайне використання виробленої енергії.
2. **Накопичення енергії:** зберігання надлишків для пікових періодів або недостатньої генерації (в акумуляторах чи теплових баках).
3. **Обмін з мережею:** продаж надлишків або отримання енергії ззовні за потреби.

Ефективність інтеграції оцінюється за коефіцієнтом самоспоживання (частка ВДЕ, спожитої об'єктом) та коефіцієнтом самозабезпечення (рівень покриття власних потреб за рахунок ВДЕ).

Інтеграція ВДЕ в системи енергопостачання будівель. Для будівель – від приватних домів до комерційних та адміністративних об'єктів – найпопулярнішими є сонячні фотоелектричні (PV) системи, сонячні теплові колектори та геотермальні теплові насоси.

Сонячні PV-системи зазвичай розміщують на дахах, перетворюючи сонячне світло на електроенергію. Вони бувають мережевими (підключені до загальної електромережі, обмінюючись з нею енергією), автономними (повністю незалежні, вимагають акумуляторів) або гібридними (поєднують обидва варіанти для максимальної гнучкості та надійності). Основна перевага – зниження рахунків за електроенергію та вуглецевого сліду, хоча їхня робота залежить від погоди.

Сонячні теплові колектори використовують енергію Сонця для нагріву води для побутових потреб або систем опалення. Це дозволяє суттєво економити на опаленні, забезпечуючи екологічно чисте джерело тепла.

Геотермальні теплові насоси використовують стабільну температуру ґрунту для опалення, охолодження та гарячого водопостачання будівель. Їхня висока енергоефективність (один кіловат електроенергії може дати 3-5 кіловат тепла) робить їх привабливим рішенням, попри вищі початкові витрати на монтаж.

Інтеграція ВДЕ в системи енергопостачання промислових об'єктів. Промислові підприємства, з їхніми значними потребами в електроенергії та теплі, також активно впроваджують ВДЕ. Масштабні сонячні PV-системи часто встановлюються на величезних виробничих дахах або прилеглих територіях. Їхнє головне завдання – суттєво зменшити витрати на електроенергію та підвищити сталий імідж компанії. Ефективність таких систем часто оптимізується за допомогою управління навантаженням, щоб споживання максимально збігалось з піками сонячної генерації.

Для промисловості біомаса та когенераційні установки (ТЕЦ) є потужним рішенням, адже вони одночасно виробляють тепло й електроенергію, утилізуючи відходи виробництва або сільськогосподарські відходи. Також, промислові теплові насоси забезпечують високотемпературне тепло для технологічних процесів, використовуючи низькопотенційні джерела.

Ключову роль в інтеграції ВДЕ відіграють системи накопичення енергії (батареї, теплові баки) для стабілізації живлення та нівелювання переривчастості генерації, а також інвертори та контролери. Важливими є й системи моніторингу та управління енергією

(EMS), які аналізують дані, прогнозують генерацію та оптимізують розподіл енергії для максимального самоспоживання та ефективності.

Попри виклики, такі як переривчастість генерації, високі початкові інвестиції, просторові обмеження та необхідність адаптації нормативно-правової бази, перспективи інтеграції ВДЕ надзвичайно оптимістичні. Зниження вартості технологій, розвиток «розумних мереж» (Smart Grids) та поширення гібридних систем роблять майбутнє енергопостачання децентралізованим, стійким та екологічно відповідальним. Інтеграція ВДЕ – це фундаментальна трансформація енергетичної системи.

7.3. Ефективне використання сонячних колекторів та фотоелектричних систем.

Ефективне використання сонячної енергії є ключовим елементом сучасної енергетики, що дозволяє отримувати теплову або електричну енергію безпосередньо від Сонця. Це досягається за допомогою двох основних технологій: сонячних колекторів та фотоелектричних (PV) систем, кожна з яких має свої особливості та вимоги до оптимізації.

Сонячні колектори призначені для збору сонячного випромінювання та перетворення його на теплову енергію, яка потім використовується для нагріву води для побутових потреб, підтримки систем опалення або для інших теплових процесів. Ефективність колектора залежить від його здатності поглинати сонячне випромінювання та мінімізувати тепловтрати.

Теплова потужність, що генерується сонячним колектором, може бути описана формулою:

$$Q_{терм} = S_k I_c \eta_m - \alpha S_k (T_k - T_3),$$

де $Q_{терм}$ – корисна теплова потужність, вироблена колектором (Вт); S_k – площа абсорбуючої поверхні колектора (m^2); I_c – інтенсивність сонячного випромінювання, що падає на поверхню колектора ($Вт/m^2$); η_m – оптичний коефіцієнт корисної дії колектора, що відображає ефективність поглинання сонячного випромінювання (без урахування тепловтрат); α – коефіцієнт тепловтрат колектора ($Вт/(m^2 \cdot ^\circ C)$), що характеризує втрати тепла через ізоляцію та конструкцію; T_k – середня температура абсорбера колектора ($^\circ C$); T_3 – температура навколишнього середовища ($^\circ C$).

Для досягнення максимальної ефективності сонячних колекторів необхідно враховувати наступні фактори.

Орієнтація та кут нахилу. Колектори повинні бути орієнтовані на південь (у Північній півкулі) для максимального отримання сонячного світла протягом дня. Оптимальний кут нахилу залежить від географічної широти та сезонних потреб (наприклад, для цілорічного ГВП кут може дорівнювати широті, для опалення взимку – дещо більший).

Вибір типу колектора. Плоскі колектори простіші та дешевші, але вакуумні колектори (з меншим коефіцієнтом α) значно ефективніші, особливо в холодну пору року або при необхідності високих температур, завдяки кращій ізоляції.

Розмір системи та система накопичення. Важливо правильно розрахувати площу колекторів відповідно до потреби в теплі. Не менш важливим є достатній об'єм теплового акумулятора (бака гарячої води), щоб зберігати тепло, вироблене протягом сонячних годин, для використання у вечірній час або в похмурі дні. Якісна ізоляція бака критично важлива для мінімізації втрат тепла.

Інтеграція та допоміжні системи. Сонячні колектори часто інтегруються з традиційними котлами або тепловими насосами, які слугують як допоміжні джерела тепла у періоди недостатньої сонячної інсоляції.

Обслуговування. Регулярне очищення поверхні колекторів від пилу, бруду та снігу, а також періодична перевірка на герметичність системи та стану теплоносія є запорукою довготривалої ефективної роботи.

Фотоелектричні системи безпосередньо перетворюють сонячне світло на електричну енергію за допомогою фотоелектричного ефекту в напівпровідникових матеріалах (найчастіше кремнії).

Електрична потужність, вироблена фотоелектричною панеллю, розраховується за формулою:

$$P = \eta SG,$$

де P – вироблена електрична потужність (Вт); η – коефіцієнт корисної дії фотоелектричної панелі (виражається у відсотках, типово 15-22% для комерційних панелей), що відображає ефективність перетворення сонячної енергії в електричну; S – сумарна площа всіх фотоелектричних панелей (м^2); G – інтенсивність сонячного випромінювання, що падає на поверхню панелей ($\text{Вт}/\text{м}^2$).

Для досягнення максимальної ефективності PV-систем необхідно врахувати наступні фактори.

Орієнтація та кут нахилу, а також уникнення затінення. Так само як і для колекторів, оптимальна орієнтація на південь і правильний кут нахилу є критичними. Проте для PV-систем особливо важливим є повне уникнення затінення панелей деревами, іншими будівлями або елементами даху. Навіть часткове затінення однієї комірки може суттєво знизити виробництво електроенергії всією панеллю або стрічкою панелей. Застосування мікроінверторів або оптимізаторів потужності на кожній панелі може пом'якшити вплив затінення.

Вибір компонентів системи. PV-модулі: вибір між монокристалічними (вища ефективність на меншій площі) та полікристалічними (дешевші) панелями залежить від доступного простору та бюджету. Важливо звертати увагу на якість та гарантії виробника. Інвертор: Перетворювач постійного струму від панелей на змінний струм для використання в мережі або для споживачів. Ефективність інвертора (зазвичай понад 95% для сучасних моделей) безпосередньо впливає на загальну продуктивність системи.

Оптимізація споживання та накопичення енергії. Для мережевих систем з високим коефіцієнтом самоспоживання, тобто коли вироблена енергія максимально використовується безпосередньо на об'єкті, ефективність значно зростає. Системи накопичення енергії (аккумуляторні батареї) дозволяють зберігати надлишкову електроенергію, вироблену вдень, для використання у вечірній час або вночі, підвищуючи енергетичну незалежність.

Моніторинг та обслуговування. Системи моніторингу дозволяють відстежувати генерацію електроенергії в реальному часі, виявляти несправності або зниження продуктивності. Регулярне очищення поверхні панелей від пилу, снігу та листя, а також періодичні перевірки електричних з'єднань гарантують максимальну ефективність протягом усього терміну служби системи.

7.4. Перспективи розвитку ВДЕ в Україні.

Перспективи розвитку відновлюваних джерел енергії (ВДЕ) в Україні є надзвичайно значними, визначаючись як глобальними трендами декарбонізації та енергетичної трансформації, так і внутрішніми потребами країни, особливо в умовах війни та необхідності відновлення та підвищення енергетичної безпеки.

Україна має амбітні цілі щодо збільшення частки ВДЕ у своєму енергетичному балансі. Згідно з Національним планом дій з відновлюваної енергетики до 2030 року, Україна прагне досягти щонайменше 27% частки ВДЕ у загальному кінцевому споживанні енергії. Зокрема, у виробництві електроенергії цей показник має сягнути 29%, у системах тепло- та холодопостачання – 33%, а в транспортному секторі – 17%. Для досягнення цих цілей необхідні значні інвестиції, що оцінюються в понад 20 млрд євро до 2030 року.

Розглянемо основні напрямки розвитку ВДЕ в Україні.

Сонячна та вітрова енергетика. Ці види ВДЕ мають найбільший потенціал для масштабного зростання. За оцінками, Україна до 2050 року може наростити потужності вітрової генерації до 140 ГВт, а сонячної – до 94 ГВт. Навіть попри значні руйнування об'єктів ВДЕ на півдні та сході країни внаслідок військових дій, ці сектори залишаються пріоритетними для відновлення та подальшого розвитку. Існує тенденція до помірною

зростання кількості сонячних електростанцій, зокрема у приватних домогосподарствах, що сприяє розвитку розподіленої генерації та підвищенню енергонезалежності регіонів.

Біоенергетика. Розвиток біоенергетики, особливо використання біомаси для виробництва тепла, електроенергії та біопалива, є вкрай перспективним, враховуючи значний аграрний потенціал України. Біомаса може відігравати ключову роль у декарбонізації секторів, де альтернативи обмежені, таких як промислове теплопостачання та транспорт. Прогнозується збільшення виробництва електроенергії з біомаси до 3850 ГВт*год до 2030 року.

Гідроенергетика. Хоча потенціал для будівництва великих ГЕС обмежений, модернізація існуючих та розвиток малих гідроелектростанцій, а також гідроакumuлюючих електростанцій (ГАЕС) для балансування енергосистеми, залишаються актуальними.

Геотермальна енергетика. Потенціал геотермальної енергетики в Україні менш досліджений, але має перспективи для прямого теплопостачання та виробництва електроенергії в окремих регіонах з відповідними геологічними умовами.

Можна виділити наступні ключові фактори, що сприятимуть розвитку ВДЕ.

Євроінтеграція. У контексті євроінтеграції Україна гармонізує своє законодавство з європейським, впроваджуючи директиви ЄС у сфері ВДЕ та енергетичної ефективності. Це створює сприятливіші умови для інвестицій та подальшої інтеграції української енергосистеми до європейської.

Державна підтримка. Хоча система «зелених» тарифів зазнала змін, Україна продовжує працювати над стабільними механізмами підтримки, такими як «зелені» аукціони та інші стимули, що дозволять залучати інвестиції.

Енергетична безпека. Війна підкреслила критичну важливість децентралізації енергосистеми та зменшення залежності від великих централізованих об'єктів. ВДЕ, особливо розподілена генерація (домашні СЕС, невеликі промислові установки), є ключем до підвищення стійкості та безпеки енергопостачання.

Інвестиції та фінансування. Залучення понад 20 млрд євро інвестицій потребуватиме створення максимально сприятливого інвестиційного клімату, міжнародної фінансової підтримки та розвитку партнерств.

Розвиток ВДЕ в Україні стикається з кількома основними викликами. По-перше, це відновлення зруйнованих об'єктів на окупованих територіях та в зонах бойових дій, що потребує значних зусиль. По-друге, балансування енергосистеми стає складнішим через зростання частки переривчастої генерації (сонце, вітер), що вимагає інвестицій у накопичувачі енергії (energy storage) та гнучкі потужності. По-третє, необхідна модернізація

та розширення електромереж для інтеграції великих обсягів ВДЕ. Нарешті, регуляторні та політичні ризики можуть стримувати інвестиції.

Попри ці перешкоди, Україна має значний потенціал стати регіональним лідером у сфері ВДЕ, відбудовуючи енергетичний сектор на нових, сталих засадах. Зростання інвестицій у власну енергонезалежність, розвиток розподіленої генерації та систем накопичення енергії, а також продовження інтеграції до європейського енергетичного простору – це ключові тренди, що визначатимуть майбутнє ВДЕ в Україні.

Контрольні запитання до лекції №7

1. Які основні переваги використання відновлюваних джерел енергії (ВДЕ)?
2. Як відрізняється принцип роботи фотоелектричних систем від сонячних колекторів у контексті перетворення сонячної енергії?
3. Назвіть три основні показники, що впливають на потужність, яка генерується вітровою турбіною.
4. Які різні методи перетворення біомаси на енергію?
5. Що таке «напір води» (H) у формулі потужності гідроелектростанції, і як він впливає на її ефективність?
6. Які два ключові показники використовуються для оцінки ефективності інтеграції ВДЕ в системи енергопостачання будівель та промислових об'єктів?
7. Чим відрізняються мережеві, автономні та гібридні сонячні PV-системи?
8. Яку роль відіграють системи накопичення енергії та системи моніторингу та управління енергією (EMS) в ефективній інтеграції ВДЕ?
9. Які амбітні цілі щодо частки ВДЕ у загальному кінцевому споживанні енергії Україна прагне досягти до 2030 року згідно з Національним планом дій?
10. Назвіть щонайменше три основні виклики, які стоять на шляху розвитку ВДЕ в Україні.

ЛЕКЦІЯ 8. ІННОВАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА МАТЕРІАЛИ В ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ

8.1. Розумні будівельні матеріали з покращеними теплоізоляційними властивостями.

«Розумні будівельні матеріали з покращеними теплоізоляційними властивостями» – це інноваційне рішення в сучасній будівельній індустрії, спрямоване на підвищення енергоефективності будівель та створення комфортного мікроклімату. Ці матеріали відрізняються від традиційних не лише своєю структурою та складом, але й здатністю реагувати на зовнішні зміни (температуру, вологість) та адаптувати свої теплоізоляційні властивості.

Одним з ключових напрямків розвитку є використання матеріалів зі змінною теплопровідністю. Наприклад, деякі «розумні» матеріали можуть містити фазоперехідні речовини (PCM – Phase Change Materials), які здатні поглинати та виділяти велику кількість теплової енергії під час зміни агрегатного стану (плавлення/затвердіння). Це дозволяє стабілізувати температуру в приміщенні, зменшуючи потребу в опаленні взимку та кондиціонуванні влітку. Коли температура в приміщенні перевищує поріг плавлення PCM, матеріал поглинає тепло, охолоджуючи простір. І навпаки, при зниженні температури PCM застигає, виділяючи накопичене тепло.

Іншим перспективним напрямком є розробка аерогелів та інших нанопористих матеріалів. Аерогелі, завдяки своїй унікальній структурі з високим вмістом повітря, є одними з найкращих теплоізоляторів у світі. Вони можуть бути інтегровані в будівельні елементи, такі як панелі, штукатурки або покриття, значно зменшуючи теплові втрати при мінімальній товщині. Крім того, досліджуються можливості створення вакуумних ізоляційних панелей (VIP), які забезпечують надзвичайно низьку теплопровідність, усуваючи конвективний і кондуктивний теплообмін.

Також важливим аспектом «розумних» теплоізоляційних матеріалів є їхня здатність до «саморегуляції». Деякі матеріали можуть змінювати свою пористість або структуру залежно від вологості, тим самим запобігаючи накопиченню вологи в стінах і підтримуючи оптимальний рівень теплоізоляції. Це особливо важливо для довговічності будівель та запобігання розвитку цвілі та грибка.

Впровадження таких матеріалів у будівельну практику має значні переваги: істотне зниження енергоспоживання будівель (до 30-50% і більше), зменшення викидів парникових газів, підвищення комфорту для мешканців та продовження терміну служби будівельних конструкцій. Попри те, що наразі «розумні» будівельні матеріали можуть бути дорожчими у

виробництві, їхня ефективність та довгострокова економічна вигода роблять їх привабливою інвестицією у майбутнє сталого будівництва.

8.2. Технології Smart Grid та їхній вплив на ефективність енергоспоживання.

Технології Smart Grid, або «розумні мережі», являють собою глибоку трансформацію традиційних електромереж, інтегруючи цифрові технології для підвищення ефективності, надійності та стійкості виробництва, передачі та споживання електроенергії. На відміну від застарілих систем, які працюють за принципом односпрямованого потоку енергії та інформації, Smart Grid створює двосторонній зв'язок між усіма учасниками енергосистеми – від генераторів до кінцевих споживачів.

Основний вплив Smart Grid на ефективність енергоспоживання полягає в його здатності надавати детальну інформацію та забезпечувати інтелектуальне управління. Розглянемо ключові елементи такої мережі.

Розумні лічильники. Ці пристрої замінюють традиційні лічильники, дозволяючи збирати та передавати дані про споживання електроенергії в режимі реального часу. Це дає змогу як енергокомпаніям, так і споживачам ефективно відстежувати та аналізувати споживання, що сприяє оптимізації та підвищенню рівня енергозбереження. Споживачі отримують можливість бачити, скільки енергії вони використовують і в який час, що стимулює їх до зміни поведінки та економії.

Системи реагування на попит (Demand Response). Smart Grid дозволяє впроваджувати програми реагування на попит, які заохочують споживачів зменшувати споживання електроенергії в години пікового навантаження. Це може бути досягнуто за допомогою гнучких тарифів, які змінюються залежно від попиту, або автоматизованих систем, що тимчасово зменшують споживання певних приладів. Це допомагає збалансувати навантаження на мережу, уникнути перевантажень та зменшити потребу у запуску дорогих та менш ефективних пікових електростанцій.

Інтеграція відновлюваних джерел енергії. Smart Grid значно спрощує та оптимізує інтеграцію децентралізованих джерел енергії, таких як сонячні панелі та вітрові турбіни. Завдяки двосторонньому потоку енергії та інформації, надлишки електроенергії, вироблені домогосподарствами або невеликими підприємствами, можуть бути продані назад у мережу, а також розподілені туди, де є потреба. Це зменшує залежність від традиційних джерел енергії та сприяє декарбонізації енергетичного сектору.

Автоматизація та оптимізація мережі. Smart Grid використовує датчики та системи автоматичного управління для моніторингу стану мережі, виявлення несправностей та оптимізації розподілу енергії. Це дозволяє швидше реагувати на аварії, зменшувати втрати

електроенергії під час передачі та розподілу, а також підвищувати загальну надійність системи. Завдяки аналізу даних, що надходять в режимі реального часу, енергокомпанії можуть ефективніше прогнозувати попит, що призводить до більш раціонального використання ресурсів.

Керування та моніторинг у реальному часі. Постійний моніторинг та аналіз даних про споживання та виробництво енергії дозволяє ідентифікувати неефективні ділянки та вживати заходів для їх оптимізації. Це може стосуватися як крупних промислових об'єктів, так і окремих домогосподарств.

Таким чином, технології Smart Grid трансформують енергоспоживання, роблячи його більш прозорим, гнучким та ефективним. Це призводить до значного зниження енергоспоживання, зменшення операційних витрат, підвищення надійності енергопостачання та сприяє розвитку «зеленої» енергетики, що в кінцевому підсумку позитивно впливає на економічний розвиток та екологічну стійкість.

8.3. Системи накопичення енергії (акумулятори) для оптимізації використання ВДЕ.

Системи накопичення енергії, зокрема акумулятори, відіграють критично важливу роль в оптимізації використання відновлюваних джерел енергії (ВДЕ), таких як сонячні та вітрові електростанції. Основна проблема ВДЕ полягає в їхній нестабільності та залежності від погодних умов: сонце світить не завжди, а вітер дме не постійно. Це створює дисбаланс між виробництвом та споживанням електроенергії, що може призвести до нестабільності в мережі та неефективного використання потенціалу ВДЕ. Саме тут на допомогу приходять системи накопичення енергії.

Розглянемо основні функції акумуляторів для ВДЕ.

Згладжування піків та провалів. Акумулятори дозволяють накопичувати надлишкову енергію, вироблену ВДЕ в періоди високої генерації (наприклад, сонячним днем або при сильному вітрі), і віддавати її в мережу або споживачам, коли генерація ВДЕ знижується (вночі, в похмуру погоду, при штилі). Це згладжує коливання потужності, забезпечуючи більш стабільне та прогнозоване енергопостачання.

Забезпечення базового навантаження. Для деяких регіонів або автономних систем акумулятори можуть забезпечувати постійне базове навантаження, дозволяючи ВДЕ працювати ефективніше, не турбуючись про миттєве задоволення попиту.

Підвищення надійності та стійкості мережі. Впровадження систем накопичення енергії зменшує потребу в резервних потужностях традиційних електростанцій, які часто є

менш екологічними та більш дорогими в експлуатації. Це також допомагає уникнути перевантажень мережі та забезпечити стабільність частоти та напруги.

Економічна оптимізація. Завдяки акумуляторам, енергія, вироблена ВДЕ, може бути збережена і використана в періоди пікових цін на електроенергію, що дозволяє оптимізувати витрати та максимізувати прибуток для власників сонячних чи вітрових електростанцій. Це також може сприяти розвитку програм «реагування на попит» у рамках концепції Smart Grid, де споживачі адаптують своє споживання до наявних ресурсів.

Резервне живлення. В автономних або гібридних системах акумулятори забезпечують резервне живлення, що є критично важливим у випадку збоїв у централізованій мережі або для віддалених об'єктів.

Розглянемо найбільш поширені типи акумуляторів, що застосовуються у сфері відновлюваної енергетики.

Літій-іонні акумулятори (особливо LiFePO₄ – літій-залізо-фосфатні). Вони набирають популярність завдяки високій енергетичній щільності, тривалому терміну служби (до 6-7 тисяч циклів заряджання-розряджання), високій ефективності та відносно швидкому заряду/розряду. Хоча їхня початкова вартість вища, вони є одними з найбільш перспективних для великомасштабних систем накопичення енергії та побутових сонячних станцій.

Свинцево-кислотні акумулятори (включаючи гелеві та AGM). Це традиційний та економічно вигідний варіант. Вони відносно недорогі, але мають меншу енергетичну щільність, обмежену кількість циклів заряду-розряду (200-300 циклів для звичайних, більше для гелевих/AGM) та потребують певного обслуговування. Гелеві та AGM акумулятори є більш стійкими до глибокого розряду та менш вибагливими в експлуатації.

Проточні акумулятори. Ця технологія дозволяє накопичувати енергію безпосередньо в розчині електроліту, що забезпечує дуже тривалий термін служби та миттєве спрацювання. Вони добре підходять для масштабних систем накопичення енергії.

Загалом, системи накопичення енергії є невід'ємною частиною сучасних енергетичних систем, що базуються на ВДЕ, дозволяючи максимізувати їхню ефективність, забезпечити стабільність мережі та прискорити перехід до сталого енергетичного майбутнього.

8.4. Використання цифрових технологій (IoT, Big Data, AI) для керування енергоспоживанням.

У сучасних енергетичних системах цифрові технології відіграють вирішальну роль у підвищенні ефективності споживання енергії, зменшенні втрат і забезпеченні стабільності

мереж. До ключових інструментів відносяться Інтернет речей (IoT), великі дані (Big Data) та штучний інтелект (AI).

IoT-системи складаються з мережі сенсорів, що вимірюють енергоспоживання, температуру, вологість, рух, освітлення тощо, і передають ці дані на центральні платформи керування. Наприклад, розумні лічильники фіксують миттєве споживання електроенергії:

$$E(t) = \int_0^t P(t) dt,$$

де $E(t)$ – загальне споживання енергії до моменту часу t ; $P(t)$ – миттєва потужність у момент часу t .

Ці дані передаються через IoT-мережі до хмарних сховищ для подальшої обробки.

Великі дані (Big Data) є наступним етапом, оскільки IoT-пристрої генерують колосальні обсяги інформації, які необхідно зберігати, обробляти та аналізувати. Системи Big Data призначені для роботи з такими масивами даних, які характеризуються «3V», а саме: *об'єм (Volume)* – велика кількість даних; *швидкість (Velocity)* – швидкість генерації та обробки даних; *різноманітність (Variety)* – різні формати та джерела даних.

Для ефективного аналізу даних про енергоспоживання з урахуванням об'єму, швидкості та різноманітності, використовуються розподілені файлові системи (наприклад, Apache Hadoop) та NoSQL бази даних. Ці системи дозволяють зберігати та обробляти агреговані дані про споживання.

Штучний інтелект (AI), зокрема машинне навчання (Machine Learning), є ключовим інструментом для перетворення цих необроблених даних на корисні інсайти та автоматизовані рішення. Алгоритми AI аналізують історичні та поточні дані, виявляючи приховані закономірності, прогнозуючи майбутнє споживання та ідентифікуючи можливості для оптимізації.

Розглянемо основні напрямки застосування AI для керування енергоспоживанням.

Прогнозування енергоспоживання та генерації. Одним із найважливіших застосувань AI є точне прогнозування попиту на енергію та обсягів генерації з різних джерел, зокрема з відновлюваних (сонце, вітер). Моделі машинного навчання, такі як рекурентні нейронні мережі (RNN), довгострокова короткочасна пам'ять (LSTM) або ансамблеві методи, аналізують історичні дані про споживання, погодні умови, час доби, сезонність, економічні показники та інші фактори. Це дозволяє енергетичним компаніям оптимізувати планування виробництва, мінімізувати необхідність у дорогих пікових електростанціях, які запускаються під час непередбачених навантажень, та ефективніше інтегрувати нестабільні відновлювані джерела енергії. Для споживачів точні прогнози допомагають оптимізувати використання енергії, наприклад, запускаючи енергоємні прилади в періоди низьких тарифів.

Оптимізація роботи енергетичних систем. AI застосовується для оптимізації функціонування всієї енергетичної мережі, від електростанцій до кінцевих споживачів. Алгоритми оптимізації, такі як алгоритми підкріплювального навчання, можуть керувати потоками енергії в "розумних мережах" (Smart Grids), балансуючи попит і пропозицію в режимі реального часу. Це включає оптимізацію роботи розподільчих підстанцій, управління системами накопичення енергії (акумуляторами) для зберігання надлишкової енергії та її віддачі в мережу, коли це необхідно, а також зменшення втрат при передачі та розподілі. В промисловості AI оптимізує енергоємні виробничі процеси, налаштовуючи параметри обладнання для досягнення максимальної ефективності.

Управління попитом (Demand Response). AI відіграє ключову роль у програмах управління попитом, де споживачів заохочують змінювати свій графік споживання електроенергії у відповідь на сигнали мережі (наприклад, високі ціни або дефіцит енергії). Розумні системи, керовані AI, можуть автоматично регулювати роботу приладів у будинках та на підприємствах – вмикати/вимикати кондиціонери, опалення, освітлення або заряджати електромобілі в періоди, коли енергія дешевша або її надлишок. Це допомагає згладжувати пікові навантаження на мережу, що зменшує ризик відключень та потребу в будівництві нових генеруючих потужностей.

Виявлення аномалій та несправностей. AI-алгоритми моніторять енергоспоживання в режимі реального часу, виявляючи аномалії, які можуть свідчити про несправності обладнання, витоки енергії або несанкціоноване підключення. Методи машинного навчання, такі як кластеризація або виявлення викидів, можуть швидко ідентифікувати відхилення від нормальних шаблонів споживання, що дозволяє оперативно реагувати та запобігати значним втратам.

Персоналізована оптимізація для кінцевих споживачів. Для домогосподарств та комерційних будівель AI може аналізувати звички мешканців/працівників, їхні переваги та зовнішні умови, щоб автоматично налаштовувати системи опалення, вентиляції, кондиціонування та освітлення. Розумні термостати, керовані AI, можуть вивчати оптимальну температуру для різних часів доби, автоматично вимикати світло в порожніх кімнатах, оптимізувати роботу побутової техніки, що призводить до значної економії енергії без шкоди для комфорту.

Можна виділити наступні переваги застосування AI в енергоменеджменті.

Значне зниження витрат. Оптимізація споживання та виробництва енергії безпосередньо призводить до економії коштів для енергокомпаній та кінцевих споживачів.

Підвищення енергоефективності. AI дозволяє максимізувати ефективність використання кожного кіловата енергії, мінімізуючи втрати на всіх етапах.

Зменшення вуглецевого сліду. Більш ефективного використання енергії та краща інтеграція відновлюваних джерел сприяють зменшенню викидів парникових газів.

Підвищення надійності та стійкості мережі. Завдяки кращому прогнозуванню та управлінню, енергосистеми стають менш схильними до збоїв та перевантажень.

Створення «розумних» міст та будівель. AI є основою для розробки інтелектуальних інфраструктур, які адаптуються до потреб мешканців та навколишнього середовища.

8.5. Перспективні напрямки досліджень та розробок у сфері енергоефективності.

Перспективні напрямки досліджень у сфері енергоефективності охоплюють інновації, спрямовані на зменшення енергоспоживання, оптимізацію його використання та інтеграцію сталої енергетики як відповідь на виклики кліматичних змін, зростання вартості енергоносіїв та вичерпність традиційних ресурсів.

Ключовим вектором є розвиток «розумних» технологій, зокрема Smart Grid, IoT, Big Data та AI, які забезпечують двосторонню комунікацію в енергомережах, прогнозування попиту, управління навантаженням (Demand Response) і виявлення аномалій у режимі реального часу. Розробляються уніфіковані платформи керування енергією для розумних будівель та промислових об'єктів.

Другий напрямок стосується інноваційних енергозберігаючих матеріалів: адаптивних до клімату будматеріалів з фазоперехідними речовинами (PCM), аерогелів, вакуумних панелей та прозорих покриттів для вікон. Такі технології покращують теплоізоляцію та сприяють пасивній терморегуляції будівель.

Третій фокус – системи накопичення енергії нового покоління: твердотільні акумулятори, проточні батареї, метало-повітряні рішення та гібридні комбінації технологій. Вони мають вирішальне значення для надійної інтеграції ВДЕ в енергосистему.

Четвертий напрямок – децентралізація та мікромережі, які дозволяють створювати автономні або напівавтономні енергетичні кластери з локальним зберіганням та управлінням ресурсами, підвищуючи енергобезпеку та стійкість.

Останній напрямок – поведінкові аспекти споживання. Інтерактивні застосунки з елементами гейміфікації мотивують користувачів до енергозбереження, надаючи аналітику, поради та порівняння з іншими споживачами.

Контрольні запитання до лекції №8

1. Які основні відмінності «розумних будівельних матеріалів з покращеними теплоізоляційними властивостями» від традиційних?

2. Як фазоперехідні речовини (PCM) допомагають стабілізувати температуру в приміщенні? Опишіть їхній механізм дії.
3. Назвіть два приклади нанопористих матеріалів, що використовуються для покращення теплоізоляції будівель, та поясніть їхні переваги.
4. Які переваги, згідно з текстом, дає впровадження «розумних» будівельних матеріалів у будівельну практику?
5. Як технології Smart Grid трансформують традиційні електромережі та який основний принцип їхньої роботи?
6. Опишіть роль «розумних лічильників» у технологіях Smart Grid та їхній вплив на ефективність енергоспоживання.
7. Чому системи накопичення енергії, такі як акумулятори, є критично важливими для оптимізації використання відновлюваних джерел енергії (ВДЕ)?
8. Назвіть три типи акумуляторів, що застосовуються для ВДЕ, та коротко охарактеризуйте їхні особливості.
9. Яку роль відіграє штучний інтелект (AI) у виявленні аномалій та несправностей в енергоспоживанні?
10. Які два перспективні напрямки досліджень у сфері енергоефективності, крім «розумних» технологій та інноваційних матеріалів?

ЛЕКЦІЯ 9. ТРАНСПОРТ ТА ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІСТЬ: АЛЬТЕРНАТИВНІ ВИДИ ПАЛИВА ТА ГІБРИДНІ ТЕХНОЛОГІЇ

9.1. Сучасні види транспорту та їх енергоспоживання.

Сучасні види транспорту відіграють ключову роль у глобальній економіці та повсякденному житті, забезпечуючи пересування людей і вантажів. Проте їхнє функціонування нерозривно пов'язане з енергоспоживанням та впливом на довкілля. Енергоспоживання транспорту залежить від багатьох факторів, включаючи тип рушія, джерело енергії, вагу транспортного засобу, швидкість руху, аеродинамічний опір та ефективність використання енергії.

Автомобільний транспорт залишається найпоширенішим видом транспорту. Його енергоспоживання визначається в основному типом двигуна. Двигуни внутрішнього згоряння (ДВЗ) споживають бензин або дизельне паливо. Енергетична ефективність ДВЗ, що перетворює хімічну енергію палива на механічну роботу, становить приблизно 20–40%. Решта енергії втрачається у вигляді тепла. Питоме споживання палива може бути виражене в літрах на 100 км пробігу (L/100 км). Для розрахунку енергоспоживання можна використовувати формулу:

$$E = q\rho V,$$

де E – енергія (Дж); V – об'єм палива (м^3); ρ – густина палива ($\text{кг}/\text{м}^3$); q – питома теплота згоряння палива (Дж/кг). Наприклад, для бензину $q \approx 44$ МДж/кг, для дизельного палива $q \approx 43$ МДж/кг.

Електромобілі (EV) живляться від акумуляторних батарей. Енергоспоживання вимірюється в кіловат-годинах на 100 км пробігу (кВт·год/100 км). Ефективність перетворення електричної енергії на механічну енергію руху електромобілів значно вища, ніж у ДВЗ, і може сягати 70–90%. Зарядка акумуляторів також має втрати, тому загальна ефективність «від розетки до колеса» дещо нижча.

Гібридні автомобілі поєднують ДВЗ та електродвигун, що дозволяє оптимізувати споживання палива за рахунок рекуперації енергії гальмування та роботи двигунів у найбільш ефективних режимах.

Залізничний транспорт є одним з найбільш енергоефективних видів транспорту для перевезення великих обсягів вантажів і пасажирів на великі відстані.

Електричні поїзди живляться від контактної мережі або акумуляторів. Їхнє енергоспоживання залежить від ваги складу, швидкості та рельєфу місцевості. Електричні локомотиви мають високу ефективність (близько 80–90%) перетворення електричної енергії

на механічну. Дизельні поїзди використовують дизельні двигуни, що є менш ефективними порівняно з електричними (близько 30–40%).

Авіаційний транспорт відрізняється високою швидкістю, але й значним енергоспоживанням через високі швидкості та необхідність подолання опору повітря.

Пасажи́рські та вантажні літаки переважно використовують реактивні двигуни, що спалюють авіаційний гас (керосин). Енергоспоживання літака залежить від його ваги, швидкості, висоти польоту, аеродинамічної форми та дальності польоту. Формула для питомого споживання палива (TSFC) виражається як:

$$\varepsilon = \frac{m_f}{F}$$

де m_f – масова витрата палива (кг/с), F – тяга двигуна (Н). Ефективність реактивних двигунів становить близько 30–45%.

Водний транспорт є найбільш енергоефективним для перевезення великих обсягів вантажів на великі відстані, особливо по морським шляхам.

Морські судна використовують дизельні двигуни, що працюють на важкому мазуті або дизельному паливі. Енергоспоживання залежить від розміру судна, швидкості, опору води та стану моря. Великі вантажні судна можуть мати відносно низьке питоме споживання палива на тонну вантажу на кілометр. Електричні судна з'являються у внутрішньому судноплавстві та для коротких маршрутів, живлячись від акумуляторів.

На сьогодні спостерігаються наступні сучасні тенденції в енергоспоживанні транспорту.

Електрифікація. Зростання частки електромобілів, електричних поїздів, а також розробка електричних літаків та суден.

Використання альтернативних палив. Водень (для паливних елементів), біопаливо, синтетичні палива.

Підвищення енергоефективності. Оптимізація аеродинаміки, зменшення ваги транспортних засобів, вдосконалення двигунів, використання систем рекуперації енергії.

Розвиток інтелектуальних транспортних систем (ІТС). Спрямовані на оптимізацію транспортних потоків, зменшення заторів та, як наслідок, зниження енергоспоживання.

Енергоспоживання транспорту залишається одним з ключових викликів у контексті зміни клімату та обмеженості викопних ресурсів. Подальший розвиток транспорту буде зосереджений на пошуку балансу між мобільністю, економічною ефективністю та екологічною стійкістю.

9.2. Альтернативні види палива.

Біопаливо, водень, природний газ (CNG/LNG) та електрика – це альтернативні джерела енергії, що розглядаються як замітники традиційного викопного палива у транспортному секторі. Кожен з цих видів має свої переваги, недоліки та рівень придатності для використання в різних сферах транспорту.

Біопаливо, що включає біоетанол та біодизель, виготовляється з рослинної сировини або відходів сільського господарства. Його головна перевага – це відновлюваність та менший рівень викидів парникових газів порівняно з бензином чи дизелем. Біопаливо добре підходить для змішування з традиційним паливом, що дозволяє поступово зменшувати залежність від нафти без необхідності значних технічних змін у двигунах. Проте його виробництво може конкурувати з вирощуванням продовольчих культур, що викликає занепокоєння з боку екологів і аграріїв. У легковому і сільськогосподарському транспорті біопаливо має потенціал для широкого застосування.

Водень розглядається як перспективне джерело енергії, особливо для важкого транспорту, зокрема вантажівок, поїздів та морських суден. Він не створює шкідливих викидів при згорянні або в паливних елементах – побічним продуктом є лише вода. Серед переваг – висока енергоємність та швидке заправлення. Однак недоліки включають складність зберігання, високу вибухонебезпечність і потребу у значних інвестиціях в інфраструктуру (заправки, транспорт водню). Виробництво «зеленого» водню (за допомогою електролізу з відновлюваних джерел) залишається дорогим, тому потенціал водню як заміни викопного палива наразі найвищий у секторах, де електрифікація складна.

Природний газ, як у формі CNG (стиснений) так і LNG (зріджений), є менш шкідливою альтернативою бензину та дизеля, з меншими викидами CO₂ та шкідливих речовин. Його перевагою є доступна інфраструктура та технологічна зрілість. Він особливо популярний у громадському транспорті (автобуси), комерційних вантажівках і навіть деяких видах залізничного транспорту. Недоліком є те, що природний газ – це все ще викопне паливо, яке при витоку метану спричиняє серйозний вплив на клімат. Його потенціал як проміжного рішення є високим, але у довгостроковій перспективі він менш сталий.

Електрика – один із найперспективніших напрямків декарбонізації транспорту, особливо у легкових автомобілях, міському транспорті (трамваї, тролейбуси, електробуси) та навіть у вантажівках середньої вантажності. Перевагами є нульові викиди на рівні транспортного засобу, висока енергоефективність, простота обслуговування електродвигунів та можливість використання відновлюваних джерел енергії. Проблеми електротранспорту пов'язані з обмеженим запасом ходу, тривалим часом заряджання, обмеженою мережею

зарядних станцій і впливом виробництва акумуляторів на довкілля. Проте з розвитком технологій ці недоліки поступово зменшуються.

Загалом, потенціал заміни викопного палива залежить від типу транспорту. У легковому транспорті найперспективнішою є електрика. У вантажному і громадському транспорті – комбінація електротяги, водню та природного газу. Морський та авіаційний транспорт поки що залишаються складними для електрифікації, але водень і біопаливо можуть відігравати значну роль у їх декарбонізації.

Усі ці альтернативи є частиною ширшої стратегії поступового переходу до сталого транспорту, де кожен вид енергії має свою нішу в залежності від технічних та економічних можливостей.

9.3. Гібридні та електричні технології.

Гібридний транспорт, зокрема HEV (гібридні електромобілі) та PHEV (плагін-гібриди), є важливим етапом переходу до екологічно чистого транспорту. Їх принцип роботи ґрунтується на поєднанні традиційного двигуна внутрішнього згоряння (ДВЗ) та електродвигуна, що дозволяє оптимізувати споживання пального, зменшити викиди шкідливих речовин та підвищити загальну ефективність транспортного засобу. У HEV електродвигун працює паралельно з ДВЗ і заряджається під час руху – зокрема під час гальмування (рекуперація енергії) або від самого двигуна. Автомобіль самостійно перемикається між електричним і бензиновим режимом залежно від швидкості, навантаження і дорожніх умов. PHEV, на відміну від HEV, мають більший акумулятор, який можна заряджати від електромережі, що дозволяє проїжджати значну відстань лише на електротязі – зазвичай 30–80 км, а далі активується ДВЗ як резерв.

Електромобілі (Battery Electric Vehicles, BEV) стали символом сучасної мобільності. Вони повністю працюють на електроенергії й не мають традиційного двигуна внутрішнього згоряння. Останні роки демонструють стрімке зростання виробництва та попиту на електрокари: компанії, як-от Tesla, BYD, Volkswagen, Hyundai та інші, активно впроваджують нові моделі з дедалі більшим запасом ходу, швидшою зарядкою і нижчими витратами на експлуатацію. Уряди багатьох країн надають фінансові стимули, пільги, безкоштовне паркування та дозволяють проїзд у спеціальних смугах, стимулюючи перехід до електротранспорту. Країни ЄС, США та Китай – лідери цього процесу, однак і в Україні спостерігається стабільне зростання кількості електромобілів, особливо в міських умовах.

Використання гібридного та електричного транспорту має потужний вплив на зниження шкідливих викидів. Електромобілі не викидають CO₂ чи інших забруднювальних речовин під час руху, що особливо важливо для міст із перевищеним рівнем забруднення

повітря. Гібриди, хоч і мають ДВЗ, значно знижують його використання, особливо в режимі міської їзди. Окрім цього, рекуперація енергії при гальмуванні допомагає зменшити загальне споживання енергії. Електромобілі також дозволяють використовувати відновлювані джерела енергії – сонце, вітер, гідроелектрику – тим самим зменшуючи залежність від викопного палива на рівні енергосистеми.

З економічної точки зору, електромобілі мають менші експлуатаційні витрати: електроенергія дешевша за бензин, а конструкція електродвигуна – простіша і надійніша, що зменшує потребу в обслуговуванні. Однак високі початкові витрати та обмежена інфраструктура для зарядки все ще є бар'єрами, хоча технології акумуляторів стрімко вдосконалюються, зростає швидкість заряджання, а також зменшується вартість батарей.

Отже, гібридні та електричні транспортні засоби – це не лише технологічний тренд, а реальний шлях до екологічної мобільності, що дозволяє суттєво знизити шкідливі викиди, заощадити енергію і зробити транспортну систему сталішою. Їх подальший розвиток тісно пов'язаний із модернізацією інфраструктури, державною політикою підтримки та розвитком інновацій у сфері збереження енергії.

9.4. Перспективи розвитку транспорту з низьким рівнем викидів.

Світові та українські ініціативи у сфері транспорту дедалі активніше спрямовані на зменшення залежності від викопного палива, скорочення викидів парникових газів і підвищення якості життя у містах. На міжнародному рівні ключову роль відіграють кліматичні угоди, зокрема Паризька угода, що зобов'язує країни скорочувати викиди CO₂, зокрема й у транспортному секторі. Європейський Союз впроваджує стратегію «Fit for 55», яка передбачає повну відмову від продажу нових авто з двигунами внутрішнього згорання до 2035 року. Аналогічні ініціативи діють у США, Канаді, Японії, Китаї. Ці заходи підтримуються активною розбудовою інфраструктури: будівництвом зарядних станцій, оновленням громадського транспорту, запровадженням зон з нульовим рівнем викидів у містах.

В Україні також формується законодавча база для «зеленого» транспорту. Держава скасувала ввізне мито й ПДВ на електромобілі, створила податкові пільги для підприємств, що займаються виробництвом електротранспорту, та сприяє розвитку зарядної інфраструктури. В окремих містах, як-от Львів, Київ та Вінниця, реалізуються проекти модернізації громадського транспорту: закуповуються електробуси, трамваї, розвивається мережа велодоріжок. Дедалі більше українських компаній цікавляться зеленою логістикою, використовуючи електромобілі у доставці та оптимізуючи логістичні маршрути для зменшення споживання пального.

Усі ці ініціативи мають значний вплив на економіку, екологію та якість життя. Економічно розвиток електромобільності створює нові робочі місця у сфері виробництва батарей, обслуговування зарядних станцій, IT-рішень для управління мобільністю. Водночас зменшуються витрати на імпорт пального. Екологічно це означає менше шкідливих викидів у повітря, менше шуму, чистіше довкілля – що особливо важливо для великих міст. У соціальному аспекті – зменшується кількість хронічних хвороб, пов'язаних із забрудненням повітря, а міський простір стає безпечнішим та комфортнішим для людей.

Майбутнє транспорту напряму пов'язане з інноваційними рішеннями. Автономні електрокари – машини, що можуть пересуватись без участі водія, – вже проходять тестування у багатьох країнах. Вони мають потенціал знизити кількість ДТП, оптимізувати міський трафік та забезпечити мобільність для людей з обмеженими можливостями. Зелена логістика передбачає не лише використання електротранспорту, а й цифрову трансформацію ланцюгів постачання, застосування штучного інтелекту для маршрутизації та зменшення викидів на кожному етапі перевезення товарів. Паралельно з цим, урбаністичні рішення, як от концепції «міста для людей» чи «міста 15 хвилин», змінюють підхід до мобільності загалом: пріоритет отримують пішоходи, велосипедисти, громадський транспорт, а не автомобілі.

Контрольні запитання до лекції №9

1. Які основні фактори впливають на енергоспоживання сучасних видів транспорту?
2. Назвіть діапазон енергетичної ефективності двигунів внутрішнього згоряння та електромобілів, і поясніть, чому ефективність електромобілів вища.
3. Чим відрізняються повні гібриди (HEV) від плагін-гібридів (PHEV) за принципом зарядки акумуляторів та запасом ходу на електротязі?
4. Який вид транспорту є найбільш енергоефективним для перевезення великих обсягів вантажів на великі відстані, і які типи двигунів використовуються в ньому?
5. Назвіть три сучасні тенденції в енергоспоживанні транспорту.
6. Які переваги має водень як альтернативне паливо для транспорту, і в яких секторах його потенціал заміни викопного палива є найвищим?
7. Які основні недоліки природного газу (CNG/LNG) як транспортного палива, незважаючи на його переваги?
8. Опишіть, як використання гібридного та електричного транспорту впливає на зниження шкідливих викидів та економію енергії.

9. Які світові та українські ініціативи (законодавство, інфраструктура) сприяють розвитку «зеленого» транспорту?

10. Яким чином автономні електрокари, зелена логістика та урбаністичні рішення можуть змінити майбутнє транспорту та вплинути на якість життя?

ЛЕКЦІЯ 10. ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ АЛЬТЕРНАТИВНОЇ ЕНЕРГЕТИКИ НА ВОЛИНІ

10.1. Оцінка наявного потенціалу Волинської області для розвитку альтернативної енергетики.

Волинська область має значний потенціал для розвитку альтернативної енергетики завдяки своєму природно-кліматичному різноманіттю, розвинутому аграрному сектору та наявності водних ресурсів. Розглянемо детально основні напрями: сонячну енергетику, біоенергетику, вітрову енергію та потенціал малих гідроелектростанцій.

Волинська область розташована у зоні помірної сонячної інсоляції. Середньорічна кількість сонячних днів тут становить близько 170–190 днів, а середній рівень сонячного випромінювання – приблизно 1000–1100 кВт·год/м² на рік. Це дозволяє ефективно використовувати сонячні панелі, особливо у приватному секторі та на дахах громадських будівель. Великою перевагою є наявність значної кількості сільських будівель, господарств і підприємств, де дахи можуть бути використані під встановлення фотомодулів. Крім того, у сільській місцевості та на околицях міст є можливості для спорудження невеликих наземних сонячних електростанцій потужністю до 1 МВт, що відповідає потребам місцевих громад або підприємств.

Волинь – аграрний регіон із потужним потенціалом біомаси. Основними джерелами є відходи сільськогосподарського виробництва (солома, кукурудзяні стебла, гній), лісові відходи (гілля, кора, тирса), а також можливість вирощування енергетичних культур (наприклад, міскантусу або енергетичної верби). За попередніми оцінками, щорічно на території області утворюється десятки тисяч тонн агровідходів, які можуть бути використані для виробництва теплової енергії або біогазу. Біогазові установки можуть ефективно працювати на основі фермерських господарств та агропідприємств, що займаються тваринництвом. Також існує потенціал для створення локальних котелень на біомасі в громадах, що знизить залежність від викопного палива та підвищить енергетичну автономію.

Хоча Волинська область не є традиційно вітровим регіоном, у її північній частині (зокрема, поблизу Шацького краю) фіксуються середні швидкості вітру на рівні 5–6 м/с на висоті 50–80 метрів, що є достатнім для встановлення сучасних вітротурбін малого та середнього класу. Роза вітрів свідчить про переважання західних і північно-західних напрямків, що варто враховувати при виборі локацій. Для розвитку вітроенергетики перспективними є відкриті ділянки з мінімальними перешкодами (поля, луки), які мають зручний доступ до ліній електропередач. Однак широке впровадження вітрових установок потребує додаткових метеорологічних досліджень та оновлення інфраструктури.

Волинська область має густу річкову мережу, до якої належать Стир, Турія, Західний Буг, Іква та багато менших приток. Більшість річок мають невеликий, але стабільний річний стік, а в окремих місцях – природні або штучні перепади висот, які можна використати для будівництва або відновлення малих гідроелектростанцій. Деякі з ГЕС, що діяли в радянський період, можуть бути відновлені з урахуванням сучасних екологічних вимог. Зокрема, це стосується об'єктів на річці Стир поблизу Луцька та Ківерців. Проте при плануванні таких проєктів важливо дотримуватись принципів збереження водно-болотних угідь, особливо у районах Шацького національного природного парку.

Отже, Волинська область володіє достатнім потенціалом для розвитку всіх основних напрямів альтернативної енергетики. Найперспективнішими наразі є сонячна енергетика та біоенергетика, що можуть бути ефективно використані як у промислових масштабах, так і на рівні місцевих громад. Розвиток вітрової енергії та малих ГЕС потребує додаткових досліджень і врахування екологічних чинників, але також відкриває можливості для диверсифікації енергетичного балансу регіону. Усі ці напрямки можуть суттєво підвищити енергетичну незалежність Волині та сприяти зеленому переходу України в цілому.

10.2. Основні напрямки та пріоритети розвитку альтернативної енергетики на Волині.

Основні напрямки та пріоритети розвитку альтернативної енергетики на Волині відповідають сучасним викликам енергетичної безпеки, кліматичним цілям України та потребам місцевих громад у сталому розвитку. У контексті децентралізації, воєнного ризику та екологічних змін Волинська область має усі передумови, щоб стати прикладом регіону, який активно впроваджує відновлювану енергетику на місцевому рівні.

Децентралізація енергопостачання є одним із ключових стратегічних напрямків. Упровадження малої та середньої генерації на основі відновлюваних джерел енергії (ВДЕ) дозволяє громадам забезпечувати себе електроенергією незалежно від централізованих постачальників. Це особливо важливо для сільських територій та віддалених населених пунктів, де інфраструктура застаріла або вразлива до аварій. Локальні енергетичні проєкти – як-от дахові сонячні електростанції, біогазові установки, котельні на біомасі – створюють стабільне, стійке до зовнішніх загроз середовище, зменшують втрати при транспортуванні енергії та підвищують економічну автономію громад.

Використання біомаси для теплопостачання є ще одним важливим пріоритетом. Волинь має доступ до значної кількості місцевої сировини – деревної тріски, пелетів, аграрних відходів. Перехід комунальних котелень, шкіл, лікарень та підприємств на біопаливо дає змогу знизити витрати на опалення, скоротити імпорт енергоносіїв і зменшити

викиди парникових газів. У багатьох громадах вже є позитивний досвід заміщення газових котелень на твердопаливні. Цей напрям можна масштабувати шляхом створення муніципальних енергетичних програм і пільгових кредитів для підприємців.

Розвиток сонячної генерації також є пріоритетним. Завдяки доступності сонячної інсоляції та наявності великої кількості дахових площ, область має потенціал для широкого впровадження приватних СЕС. Важливими інструментами підтримки є «зелений» тариф, пільгові програми кредитування, а також проекти енергокооперативів, коли жителі села або громади об'єднуються для спільного будівництва сонячної електростанції. Крім того, на Волині є потенціал для розвитку промислових наземних сонячних станцій, особливо на деградованих землях або територіях, що не використовуються в сільському господарстві.

Залучення інвестицій є критичним фактором успішного впровадження альтернативної енергетики. Для цього необхідно створити сприятливі умови – прозорі правила доступу до мереж, підтримку на етапі проєктування, мінімізацію бюрократичних бар'єрів. Регіональні органи влади можуть стимулювати інвесторів шляхом запровадження пільг, співфінансування або державно-приватного партнерства. Крім того, важливо популяризувати позитивний досвід реалізованих проєктів і розвивати місцеву інженерну, енергетичну та будівельну базу.

10.3. Економічні, екологічні та соціальні вигоди від розвитку альтернативної енергетики в регіоні.

Розвиток альтернативної енергетики у Волинському регіоні відкриває широкі можливості не лише для енергетичної трансформації, а й для покращення економічного, екологічного та соціального стану області. Впровадження відновлюваних джерел енергії – це не просто технічне оновлення енергосистеми, а комплексна стратегія сталого розвитку, що впливає на всі сфери життя.

Економічні вигоди насамперед стосуються зменшення залежності від дорогих імпортованих енергоносіїв. Виробництво енергії з місцевих ресурсів – біомаси, сонця, вітру чи води – дозволяє суттєво скоротити витрати для домогосподарств, комунальних установ і підприємств. Власне виробництво енергії стимулює економічну активність на місцевому рівні та створює нові робочі місця в галузях енергетичного будівництва, експлуатації установок, обслуговування техніки й логістики. У результаті збільшується надходження до місцевих бюджетів у вигляді податків, орендних платежів та інвестицій. Крім того, розвиток галузі підвищує інвестиційну привабливість Волині як регіону, відкритого до інновацій та «зеленої» економіки.

Екологічні вигоди є не менш важливими. Альтернативна енергетика значно знижує рівень викидів парникових газів, що є ключовим кроком у боротьбі зі зміною клімату. Використання біопалива, сонячної та вітрової енергії сприяє покращенню якості повітря, адже не супроводжується викидами сірки, оксидів азоту чи твердих частинок, на відміну від спалювання вугілля або газу. Це особливо актуально для густозаселених районів і населених пунктів поблизу промислових зон. Зменшення залежності від викопного палива також допомагає зберегти природні ресурси та сприяє більш дбайливому ставленню до лісів, ґрунтів і вод.

Соціальні вигоди проявляються у підвищенні енергетичної безпеки Волині. Децентралізована генерація на основі ВДЕ дозволяє зменшити ризики перебоїв електропостачання, особливо в умовах війни або надзвичайних ситуацій. Завдяки альтернативній енергетиці покращується якість життя населення: зниження комунальних витрат, стабільне тепло- та енергопостачання, покращення умов в лікарнях, школах, адміністративних будівлях. Особливо важливим є доступ до чистої енергії у віддалених або сільських районах, де часто існують проблеми з централізованими мережами. Участь громад у створенні енергетичних кооперативів або мікростанцій сприяє соціальній згуртованості, розвитку місцевої ініціативи та відповідального споживання.

10.4. Виклики та бар'єри на шляху розвитку альтернативної енергетики на Волині та шляхи їх подолання.

Розвиток альтернативної енергетики на Волині, попри значний природний та економічний потенціал, стикається з низкою викликів, які уповільнюють впровадження сучасних рішень у сфері відновлюваних джерел енергії (ВДЕ). Ці бар'єри мають законодавчий, фінансовий, технічний і соціальний характер. Для їх подолання необхідне системне бачення, комплексна підтримка з боку держави, регіону, бізнесу та громадянського суспільства.

Законодавчі та регуляторні бар'єри залишаються одними з найбільш серйозних. Часті зміни умов «зеленого» тарифу, невизначеність у сфері підтримки нових проєктів, а також складні дозвільні процедури стримують інвесторів і ініціативи громад. Процеси отримання ліцензій, погоджень, підключення до мереж часто супроводжуються тривалою бюрократією. Вирішенням може стати удосконалення законодавства на національному рівні – запровадження прозорих та стабільних правил гри, спрощення процедур для малих ВДЕ-проєктів, а також прийняття регіональних нормативних документів, які б конкретно регулювали реалізацію проєктів на Волині.

Фінансові виклики також є суттєвими. Будівництво сонячних електростанцій, біогазових установок або котелень на біомасі потребує значних стартових інвестицій. Для багатьох громад чи малих підприємств це стає непосильним тягарем, особливо в умовах обмеженого доступу до довгострокових та пільгових кредитів. Рішенням може стати розробка обласних програм фінансування або співфінансування муніципальних проєктів, залучення коштів міжнародних екологічних фондів, кредитів від банків розвитку, а також створення механізмів гарантування кредитів для малих виробників енергії.

Технічні бар'єри пов'язані з тим, що існуюча енергетична інфраструктура Волині не завжди готова до інтеграції значних обсягів децентралізованої енергії. Електричні мережі в окремих районах потребують модернізації, а системи управління – цифровізації. Крім того, бракує кваліфікованих спеціалістів у галузі проєктування, монтажу та обслуговування ВДЕ-об'єктів. Подолання цих викликів передбачає інвестиції у модернізацію мереж, підтримку технічної освіти на регіональному рівні, створення програм навчання та перекваліфікації енергетичних кадрів, співпрацю з університетами та технічними коледжами.

Суспільна свідомість населення також є важливим фактором. У багатьох громадах спостерігається недостатній рівень обізнаності щодо переваг ВДЕ: частина людей не розуміє економічних чи екологічних переваг, інші – висловлюють спротив будівництву великих енергооб'єктів поблизу населених пунктів. Щоб змінити ситуацію, необхідно проводити постійні інформаційно-просвітницькі кампанії, долучати громади до обговорення проєктів ще на етапі планування, впроваджувати моделі енергокооперативів, де мешканці самі стають співвласниками джерел енергії.

Шляхи подолання окреслених бар'єрів мають бути міжсекторальними. Необхідно:

- удосконалити національну та регіональну законодавчу базу;
- створити стимулюючі програми підтримки малих ВДЕ-проєктів на місцях;
- активніше залучати кошти ЄС, міжнародних програм та грантових інституцій;
- проводити широку інформаційну роботу серед населення;
- формувати нову енергетичну культуру через освіту та громадську участь.

Таким чином, хоча шлях до розвитку альтернативної енергетики на Волині супроводжується низкою перешкод, він є цілком реальним за умов об'єднання зусиль влади, бізнесу, громад і міжнародних партнерів. Комплексний підхід до подолання бар'єрів дозволить не лише розкрити енергетичний потенціал регіону, а й забезпечити його стійке, безпечне та екологічно відповідальне майбутнє.

10.5. Роль органів місцевого самоврядування, бізнесу та громадськості у розвитку альтернативної енергетики.

Розвиток альтернативної енергетики на Волині є спільним завданням для органів місцевого самоврядування, бізнесу, громадськості та міжнародних партнерів. Лише завдяки ефективній взаємодії цих учасників можливо досягти значного прогресу у впровадженні відновлюваних джерел енергії (ВДЕ), зміцнити енергетичну безпеку регіону та забезпечити сталий розвиток громад.

Органи місцевого самоврядування відіграють ключову роль у створенні умов для розвитку ВДЕ. Вони мають розробляти й реалізовувати регіональні стратегії, які включають цілі щодо децентралізації енергетики, збільшення частки чистої енергії та покращення енергоефективності. Спрощення дозвільних процедур для інвесторів, прозорість у виділенні земельних ділянок, оперативне надання технічних умов на підключення до мереж – усе це сприяє швидшій реалізації проєктів. Важливим аспектом є також підтримка освітніх і просвітницьких програм – як для посадовців, так і для громадян, щоб сформувати свідоме ставлення до відновлюваної енергетики.

Бізнес є рушієм технологічного прогресу та основним джерелом інвестицій у сферу альтернативної енергетики. Волинські та національні компанії можуть інвестувати у будівництво сонячних, біогазових, твердопаливних або вітрових електростанцій, модернізацію теплопостачання та розвиток «розумних» енергомереж. Особливо перспективним є створення публічно-приватних партнерств, у межах яких бізнес працює у співпраці з громадами – як співінвестор, оператор або технологічний партнер. Інноваційні рішення – наприклад, енергосховища, енергоаудит, автоматизовані системи управління – стають дедалі доступнішими й можуть застосовуватися навіть у малих проєктах.

Громадськість відіграє вирішальну роль у формуванні попиту на чисту енергію та забезпеченні прозорості процесів. Активні мешканці громад можуть ініціювати створення енергетичних кооперативів, брати участь у громадських слуханнях, контролювати екологічні та соціальні наслідки реалізації енергопроєктів. Завдяки участі громадян можна зменшити соціальний спротив, зробити проєкти більш прийнятними для місцевого населення, а також сприяти поширенню знань про переваги ВДЕ – через освітні заходи, локальні форуми, тематичні фестивалі тощо.

Міжнародна співпраця відкриває для Волині доступ до передового досвіду та фінансових ресурсів. Програми Європейського Союзу, ООН, Міжнародного банку реконструкції та розвитку, Європейського банку реконструкції і розвитку, USAID та інших донорів вже успішно реалізуються в Україні та можуть бути використані для підтримки ВДЕ-проєктів на Волині. Крім фінансування, міжнародні партнери надають експертну

допомогу, тренінги, юридичний супровід і консультації з адаптації найкращих практик до українських умов.

Контрольні запитання до лекції №10

1. Які чотири основні напрями розвитку альтернативної енергетики на Волині і який потенціал має кожен з них?
2. Які конкретні чинники (крім середньорічної кількості сонячних днів та рівня випромінювання) роблять сонячну енергетику особливо перспективною для Волинської області?
3. Назвіть основні джерела біомаси на Волині, які можуть бути використані для виробництва теплової енергії або біогазу, та де ці біогазові установки можуть бути ефективно розміщені?
4. Чому Волинська область не є традиційно вітровим регіоном, і які умови (висота, швидкість вітру, роза вітрів) необхідні для ефективного встановлення вітротурбін малого та середнього класу?
5. Які економічні вигоди очікуються від розвитку альтернативної енергетики на Волині, окрім зменшення залежності від імпортованих енергоносіїв?
6. Як розвиток альтернативної енергетики на Волині сприятиме покращенню екологічної ситуації в регіоні?
7. Які соціальні вигоди відзначаються у тексті як результат впровадження ВДЕ, особливо щодо підвищення енергетичної безпеки та якості життя населення?
8. Які основні групи бар'єрів (законодавчі, фінансові, технічні, соціальні) уповільнюють розвиток альтернативної енергетики на Волині, і які загальні шляхи їх подолання пропонуються?
9. Як органи місцевого самоврядування можуть сприяти розвитку ВДЕ на Волині, крім розробки регіональних стратегій?
10. Яку роль відіграють бізнес та громадськість у розвитку альтернативної енергетики на Волині, і як міжнародна співпраця може підтримати цей процес?

Список використаних джерел

1. Відновлювані джерела енергії / За заг. ред. С.О. Кудрі. Київ: Інститут відновлюваної енергетики НАНУ, 2020. 392 с.
2. Енергоефективні технології : навчальний посібник / за заг. ред. А. С. Мандрики. Суми : Сумський державний університет, 2021. 330 с.
3. Кевшин А. Г., Галян В. В. Електроніка : конспект лекцій. Луцьк : Вежа-Друк, 2018. 87 с. Рекомендовано НМР СНУ ім. Лесі Українки (протокол № 6 від 21 березня 2018 р.) (<https://evnuir.vnu.edu.ua/handle/123456789/19595>)
4. Кевшин А. Г., Галан В. В. Фізика з основами радіоелектроніки: конспект лекцій. 113 с. Рекомендовано НМР ВНУ ім. Лесі Українки (протокол № 6 від 23.02.2022 р.) (<https://evnuir.vnu.edu.ua/handle/123456789/20761>).
5. Кевшин А. Г., Новосад О. В., Федосов С. А. Електротехніка : навчальний посібник. Луцьк : Вежа-Друк, 127 с. (<https://evnuir.vnu.edu.ua/handle/123456789/19575>).
6. Кириленко О.В. Заходи та засоби перетворення енергетики України на інтелектуальну екологічно безпечну систему. *Вісник Національної академії наук України*. 2022. № 3. С. 18–23.
7. Кириленко О. В., Денисюк С. П., Блінов І. В. Енергетичний менеджмент: нові пріоритети ххі століття. *Енергетика: економіка, технології, екологія*. 2024. № 1. С. 7–27.
8. Козирський В.В., Волошин С.М. Основи електропостачання: підруч. К.: Компринт, 2021. 497с.
9. Охріменко В. М. Споживачі електричної енергії : підручник. Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова. Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2019. 286 с.
10. Режими систем пересилання та споживання електричної енергії. Навчальний посібник / За заг. ред. проф. М. С. Сегеди. Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2021. 304 с.
11. Соловей О. І., Розен В. П., Ситник О. О. та ін. Силові споживачі електричної енергії : [навч. посіб.]. Черкаси : ФОП Кандич С. Г., 2016. 121 с.
12. Стаднік М.І., Видмиш А.А., Штуць А.А., Колісник М.А. Інтелектуальні системи в електроенергетиці. Теорія та практика: навчальний посібник. Вінниця: ТОВ «ТВОРИ», 2020. 332 с.

Навчально-методичне видання

Кевшин Андрій Григорович
Галян Володимир Володимирович

Основи ефективного використання енергії

Конспект лекцій

Друкується в авторській редакції