



Міністерство освіти і науки України
Харківський національний університет
імені В. Н. Каразіна



Експлуатація, подовження ресурсу та утилізація електрообладнання

НАВЧАЛЬНО-МЕТОДИЧНИЙ ПОСІБНИК

для студентів першого курсу магістратури
спеціальності G3 Електрична інженерія



Харків – 2026

УДК 621.7(075.8)

Рецензенти:

Антоненко Н. С. – к. т. н., доцент, доцент кафедри автоматизації, метрології та енергоефективних технологій Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна;

Єгорова О. Ю. – к. т. н., доцент, доцент кафедри теплотехніки та енергоефективних технологій Національного технічного університету «Харківського політехнічного інституту»;

*Затверджено до друку рішенням вченої ради навчально-наукового інституту
«Українська інженерно-педагогічна академія»
Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна
(протокол № __ від _____ р.)*

Бровко К. Ю.

Експлуатація, подовження ресурсу та утилізація електрообладнання :
навчально-методичний посібник / уклад. К. Ю. Бровко, П. Ф. Буданов,
Н. Д. Винокурова. – Харків : ХНУ імені В. Н. Каразіна, 2026. – 149 с.

Навчально-методичний посібник розроблено відповідно до програми дисципліни «Експлуатація, подовження ресурсу та утилізація електрообладнання» як однієї з важливих у циклі підготовки студентів першого курсу магістратури спеціальності спеціальності G3 Електрична інженерія.

Видання містить тези лекцій, завдання до практичних занять, перелік тем для самостійної роботи, питання для поточного та підсумкового контролів знань і вмінь, рекомендовану літературу.

УДК 621.7(075.8)

© Харківський національний університет
імені В. Н. Каразіна, 2026.

© Бровко К. Ю., Буданов П. Ф.,
Винокурова Н. Д., 2026

ЗМІСТ

ЗАГАЛЬНІ ПОЛОЖЕННЯ.....	4
ОПИС НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ.....	5
СТРУКТУРА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ.....	7
ТЕМАТИЧНИЙ ПЛАН НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ.....	8
ТЕМИ І ЗМІСТ ЛЕКЦІЙНИХ ЗАНЯТЬ.....	11
Розділ 1. Основи виробництва та експлуатації енергетичного обладнання.....	11
Тема 1 Вступ до дисципліни: поняття та значення енергетичних ресурсів.....	11
Тема 2 Технології виробництва енергетичного обладнання..	25
Тема 3 Матеріали для енергетичного обладнання.....	31
Тема 4 Експлуатація теплових, електричних та ядерних енергетичних установок.....	38
Тема 5 Моніторинг та діагностика стану енергетичного обладнання.....	64
Розділ 2. Утилізація, екологічна безпека та сталий розвиток в енергетиці.....	74
Тема 6 Життєвий цикл енергетичного обладнання.....	74
Тема 7 Методи утилізації енергетичного обладнання.....	85
Тема 8 Екологічні аспекти використання та утилізації енергетичних ресурсів.....	95
Тема 9 Управління енергетичними ресурсами та сталий розвиток.....	113
Тема 10 Перспективи розвитку енергетичних технологій.....	120
ТЕМИ І ЗМІСТ ПРАКТИЧНОЇ СКЛАДОВОЇ КУРСУ.....	126
Практичне заняття №1. Виконання розрахунків енергетичної ефективності.....	126
Практичне заняття №2. Аналіз стану енергетичних систем за допомогою діагностичних інструментів.....	130
Практичне заняття №3. Моделювання процесів утилізації.....	133
Практичне заняття №4. Розрахунок і оптимізація електропостачання промислових підприємств.....	136
Практичне заняття №5. Проектування електричних систем з використанням відновлюваних джерел енергії.....	140
ТЕМИ ДЛЯ САМОСТІЙНОГО ОПРАЦЮВАННЯ.....	145
ПИТАННЯ ДЛЯ ПОТОЧНОГО ТА ПІДСУМКОВОГО КОНТРОЛІВ...	146
РЕКОМЕНДОВАНА ЛІТЕРАТУРА	148

ЗАГАЛЬНІ ПОЛОЖЕННЯ

Ефективне виробництво, експлуатація та утилізація енергетичного обладнання є ключовими чинниками забезпечення енергетичної безпеки та стійкого розвитку. Однак поняття «виробництво», «експлуатація» та «утилізація» вимагають систематичного підходу, сучасних методів та технологій, які покликані забезпечити високу ефективність та безпеку. Традиційно енергетика користувалася низкою застарілих підходів, що зумовлювали високий рівень енерговитрат та ризик виникнення аварійних ситуацій. Сучасні ж технології й методи вимагають кардинальних змін у підходах до управління енергетичними системами, спрямованих на інноваційність, інтеграцію новітніх розробок та екологічну відповідальність. Тому формування відповідних компетенцій у здобувачів вищої освіти є надзвичайно важливим аспектом підготовки фахівців у галузі енергетики.

З метою якісної підготовки магістрів за спеціальністю G3 Електрична інженерія необхідні комплексні знання й уміння, що охоплюють усі аспекти виробництва, експлуатації та утилізації енергетичного обладнання. Висока якість підготовки фахівців передбачає здобуття теоретичних знань та практичних навичок, здатність критично мислити й оперативно реагувати на зміни у галузі. Важливими є вміння застосовувати новітні технології, безпечні методи виробництва та утилізації обладнання, що сприятиме стійкому розвитку енергетичного сектору.

Методичні рекомендації, надані в цьому посібнику, розроблені на основі передових наукових досліджень і практичних напрацювань у сфері енергетики. Вони містять лекційні матеріали, завдання для практичних занять, теми для самостійної роботи, питання для поточного та підсумкового контролю знань, а також рекомендовану літературу. Мета посібника полягає у сприянні підготовці студентів до практичних занять, розвитку навичок самостійної роботи та забезпеченні міцного засвоєння матеріалу.

Навчально-методичний посібник може використовуватися не лише в процесі навчання здобувачів другого (магістерського) рівня вищої освіти, але й при підвищенні кваліфікації практикуючих фахівців у сфері енергетики. Він також буде корисним для дослідників, які вивчають проблеми виробництва, експлуатації та утилізації енергетичних ресурсів.

ОПИС НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

Програма навчальної дисципліни «Виробництво, експлуатація та утилізація енергетичного обладнання та ресурсів» розроблена відповідно до освітньо-професійної програми підготовки магістрів за спеціальністю G3 Електрична інженерія.

Основною **метою курсу** є забезпечення студентів знаннями, вміннями та навичками, необхідними для ефективного проєктування, виробництва, експлуатації та утилізації енергетичного обладнання, а також управління енергетичними ресурсами. Надати основи розуміння процесів виробництва та використання енергетичного обладнання, аналізу його життєвого циклу, а також підходів до сталого розвитку та зменшення негативного впливу на довкілля при утилізації відпрацьованих ресурсів.

Завдання курсу:

1. Формування знань про сучасні методи виробництва енергетичного обладнання та технології його експлуатації, враховуючи специфіку різних типів енергетичних систем.

2. Розвиток навичок аналізу життєвого циклу енергетичного обладнання, що охоплює процеси від розробки та виробництва до утилізації.

3. Ознайомлення з нормативно-правовою базою та стандартами, що регулюють виробництво, експлуатацію та утилізацію енергетичних ресурсів, а також вимоги до екологічної безпеки.

4. Вивчення принципів сталого розвитку та методів зменшення впливу енергетичних об'єктів на навколишнє середовище, зокрема, через впровадження сучасних технологій утилізації та переробки відходів.

5. Формування професійних компетентностей для ухвалення рішень у галузі управління енергетичними ресурсами, включаючи оцінку ефективності енергетичних систем і оптимізацію їхньої роботи.

6. Розвиток практичних навичок з експлуатації та технічного обслуговування енергетичного обладнання, забезпечення його надійності та безпечної роботи.

В результаті вивчення навчальної дисципліни студенти **мають набути таких компетентностей, як:**

Загальні компетентності:

К4. Здатність застосовувати знання у практичних ситуаціях.

Фахові компетентності спеціальності:

К11. Здатність застосовувати отримані теоретичні знання, наукові і технічні методи для вирішення науково-технічних проблем і задач електроенергетики, електротехніки та електромеханіки.

К18. Здатність досліджувати та визначити проблему і ідентифікувати обмеження, включаючи ті, що пов'язані з проблемами охорони природи, сталого розвитку, здоров'я і безпеки та оцінками ризиків в електроенергетиці, електротехніці та електромеханіці.

К19. Здатність розуміти і враховувати соціальні, екологічні, етичні, економічні та комерційні міркування, що впливають на реалізацію технічних рішень в електроенергетиці, електротехніці та електромеханіці.

К21. Здатність оцінювати показники надійності та ефективності функціонування електроенергетичних, електротехнічних та електромеханічних об'єктів та систем.

К22. Здатність розробляти плани і проекти для забезпечення досягнення поставленої певної мети з урахуванням всіх аспектів проблеми, що вирішується, включаючи виробництво, експлуатацію, технічне обслуговування та утилізацію обладнання електроенергетичних, електротехнічних та електромеханічних комплексів.

СТРУКТУРА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

Назви розділів і тем	Кількість годин											
	денна форма						заочна форма					
	усього	у тому числі					усьог	у тому числі				
		л	п	лаб	інд	с. р.		л	п	лаб	інд	с. р.
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Розділ 1. Основи виробництва та експлуатації енергетичного обладнання												
Тема 1. Вступ до дисципліни: поняття та значення енергетичних ресурсів	8	2				6						
Тема 2. Технології виробництва енергетичного обладнання	10	2	2			6						
Тема 3. Матеріали для енергетичного обладнання	8	2				6						
Тема 4. Експлуатація теплових, електричних та ядерних енергетичних установок	8	2				6						
Тема 5. Моніторинг та діагностика стану енергетичного обладнання	10	2	2			6						
Разом за розділом 1	44	10	4			30						
Розділ 2. Утилізація, екологічна безпека та сталий розвиток в енергетиці												
Тема 6. Життєвий цикл енергетичного обладнання	8	2				6						
Тема 7. Методи утилізації енергетичного обладнання	8	2				6						
Тема 8. Екологічні аспекти використання та утилізації енергетичних ресурсів	10	2	2			6						
Тема 9. Управління енергетичними ресурсами та сталий розвиток	10	2	2			6						
Тема 10. Перспективи розвитку енергетичних технологій	10	2	2			6						
Разом за розділом 2	46	10	6			30						
Усього годин	90	20	10			60						

ТЕМАТИЧНИЙ ПЛАН НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

Розділ 1. Основи виробництва та експлуатації енергетичного обладнання

Тема 1. Вступ до дисципліни: поняття та значення енергетичних ресурсів. Види енергетичних ресурсів: природний газ, нафта, вугілля, гідроенергія, ядерна енергія, відновлювані джерела енергії (сонячна, вітрова, біомаса). Економічна значущість енергетичних ресурсів: вплив на ВВП, енергетичну незалежність, сталий розвиток, стабільність цін на енергетичні ресурси. Глобальні тенденції розвитку енергетичного сектору: поточні виклики, можливості та стратегічні напрямки. Основні види енергетичного обладнання: генератори, трансформатори, турбіни, котли, лічильники, системи автоматизованого обліку. Застосування енергетичного обладнання у різних галузях: промисловість, транспорт, житлово-комунальне господарство, відновлювана енергетика.

Тема 2. Технології виробництва енергетичного обладнання. Принципи проектування та конструювання енергетичного обладнання. Основні етапи виробничого процесу: від проектування до фінального тестування. Вимоги до якості, надійності та безпеки виробничих процесів. Виготовлення генераторів, трансформаторів, турбін, електричних лічильників. Сучасні технології виробництва: зварювання, штампування, лиття, 3D-друк. Впровадження автоматизації та роботизованих технологій у виробництві енергетичного обладнання.

Тема 3. Матеріали для енергетичного обладнання. Механічні, фізичні, хімічні властивості матеріалів. Стійкість до корозії, високих температур, радіаційного випромінювання. Екологічна безпечність і можливості повторного використання матеріалів. Використання композитних матеріалів, наноматеріалів та суперсплавів. Сучасні методи обробки: термічна обробка, плазмова різка, електрополірування. Іновативні технології та матеріали для покращення ефективності та надійності енергетичного обладнання.

Тема 4. Експлуатація теплових, електричних та ядерних енергетичних установок. Основні компоненти теплових електростанцій: котли, турбіни, генератори. Етапи виробництва енергії на теплових електростанціях. Вимоги до безпечної та ефективної експлуатації теплових установок. Оптимізація процесів згоряння палива. Впровадження передових технологій теплообміну. Використання теплоутилізуючих установок. Будова та принципи роботи

енергетичних мереж. Методика експлуатації ядерних енергетичних установок. Управління ризиками та забезпечення ядерної безпеки. Вимоги до безпеки при експлуатації енергетичних установок. Оцінка ризиків та розробка заходів з підвищення надійності. Стандарти та нормативи технічної безпеки.

Тема 5. Моніторинг та діагностика стану енергетичного обладнання. Електричні та неелектричні методи діагностики. Використання тепловізорів, акустичних емісій, ультразвукових методів. Автоматизовані системи діагностики стану обладнання. Впровадження Інтернету речей (IoT) і великих даних для моніторингу. Використання штучного інтелекту і машинного навчання. Переваги дистанційного моніторингу та виявлення несправностей.

Розділ 2. Утилізація, екологічна безпека та сталий розвиток в енергетиці

Тема 6. Життєвий цикл енергетичного обладнання. Проектування та розробка енергетичного обладнання: визначення технічних характеристик, розробка прототипів та тестування. Виробництво: впровадження технологій масового виробництва, збірка та контроль якості. Експлуатація: методи забезпечення ефективної та безпечної роботи обладнання, регулярне обслуговування, модернізація. Демонтаж та утилізація: процеси безпечного демонтажу, методи утилізації та рециклінгу відпрацьованих компонентів. Виробництво: споживання ресурсів, викиди та енерговитрати на виробничих етапах. Експлуатація: енергоефективність обладнання, вплив на довкілля у процесі експлуатації. Утилізація: екологічні ризики та витрати, пов'язані із утилізацією та переробкою.

Тема 7. Методи утилізації енергетичного обладнання. Механічна утилізація: розбір на складові частини, повторне використання матеріалів. Термальна утилізація: використання високих температур для знищення невідновлювальних частин. Хімічна утилізація: використання хімічних процесів для розкладання матеріалів та отримання вторинних ресурсів. Принципи економіки замкнутого циклу: мінімізація відходів, повторне використання та переробка матеріалів. Рециркуляція матеріалів: відновлення цінних металів, використання перероблених матеріалів у нових продуктах. Інноваційні підходи до переробки: сучасні технології та практики рециклінгу в енергетиці.

Тема 8. Екологічні аспекти використання та утилізації енергетичних ресурсів. Негативні впливи на довкілля: викиди парникових газів, забруднення повітря та води, утворення відходів. Аналіз екологічних ризиків на всіх етапах життєвого циклу обладнання. Методи оцінки впливу та розробка заходів щодо зменшення негативного впливу. Впровадження екологічно чистих технологій.

Застосування відновлюваних джерел енергії. Розробка та впровадження екологічних стандартів та нормативів.

Тема 9. Управління енергетичними ресурсами та сталий розвиток. Енергетичне планування: довгострокові стратегії та плани. Управління ресурсами: оптимізація використання ресурсів, мінімізація втрат. Забезпечення енергетичної безпеки. Методи підвищення енергетичної ефективності. Енергозберігаючі технології та заходи. Політичні та економічні аспекти енергетичного управління.

Тема 10. Перспективи розвитку енергетичних технологій. Інноваційні технології: розвиток інтернету речей (IoT), штучного інтелекту (AI) та великих даних у енергетиці. Тенденції в розвитку відновлюваних джерел енергії: сонячна, вітрова, геотермальна енергія. Нові матеріали та розробки: високоефективні матеріали, нанотехнології. Виклики: зміни клімату, ресурсоощадність, зменшення викидів. Можливості: впровадження новітніх технологій, збільшення частки відновлюваних ресурсів у загальному енергобалансі. Роль науково-дослідних розробок та міжнародної співпраці у розвитку стійкої енергетики.

ТЕМИ І ЗМІСТ ЛЕКЦІЙНИХ ЗАНЯТЬ

Розділ 1. Основи виробництва та експлуатації енергетичного обладнання

Тема 1. Вступ до дисципліни: поняття та значення енергетичних ресурсів

План лекції:

1. Поняття енергетичних ресурсів
2. Класифікація та види енергетичних ресурсів
3. Значення енергетичних ресурсів в економіці
4. Глобальні тенденції в енергетиці
5. Питання для самоперевірки

1. Поняття енергетичних ресурсів

Енергетичні ресурси – це різноманітні природні чи штучно створені матеріали та явища, які забезпечують можливість отримання енергії для задоволення потреб суспільства. Їх використовують для отримання тепла, електроенергії або забезпечення роботи механізмів та устаткування. Ці ресурси є основою життєзабезпечення людей, роботи промисловості, транспорту, сільського господарства та інших сфер діяльності.

Основні характеристики енергетичних ресурсів

Енергетичні ресурси мають такі важливі характеристики:

1. **Енергетична щільність:** це кількість енергії, яку можна отримати з одиниці ресурсу (наприклад, з 1 кг палива). Ресурси з високою енергетичною щільністю, як-от нафта чи уран, є особливо важливими для енергетики.
2. **Доступність:** ресурси повинні бути доступними для видобування та використання.
3. **Відновлюваність:** визначає, чи можна ресурс відновити природним або штучним шляхом (наприклад, деревина є відновлюваним ресурсом, а вугілля – ні).
4. **Вплив на довкілля:** важливим є те, наскільки використання ресурсу спричиняє забруднення або інші екологічні проблеми.

Природні джерела енергетичних ресурсів

Природні енергетичні ресурси поділяються на такі категорії:

1. **Фосильні види палива:** нафта, природний газ, вугілля. Це найпоширеніші невідновлювані ресурси, які забезпечують більшу частину енергетичних потреб світу.
2. **Ресурси відновлюваної енергії:** сонячна енергія, вітер, вода, геотермальна енергія. Вони є екологічно чистими і потенційно нескінченними.
3. **Біоенергія:** отримується з органічних матеріалів (деревина, рослинні залишки).
4. **Ядерне паливо:** уран і плутоній, які використовуються в атомній енергетиці.

Штучні джерела енергетичних ресурсів

Штучно створені енергетичні ресурси виникають завдяки технологіям, що перетворюють природну сировину чи енергію на корисні види енергії. Наприклад: Виробництво водню шляхом електролізу води; Генерація електроенергії через хімічні процеси в паливних елементах; Синтетичні види палива, отримані з переробки вуглецевих сполук.

Значення енергетичних ресурсів

Енергетичні ресурси відіграють важливу роль у житті суспільства, забезпечуючи: Роботу інфраструктури та технологій; Розвиток економіки та промисловості; Забезпечення побутових потреб людей (опалення, освітлення, приготування їжі); Розвиток транспорту і логістики.

У світі енергетичні ресурси визначають енергетичну безпеку держави, її незалежність та конкурентоспроможність на міжнародній арені.

Виклики сучасного використання

Сьогодні використання енергетичних ресурсів стикається з викликами: Необхідність переходу до відновлюваних джерел енергії. Розробка технологій для ефективного видобутку і споживання ресурсів. Розв'язання екологічних проблем, пов'язаних із викидами парникових газів.

Таким чином, енергетичні ресурси є фундаментом розвитку цивілізації. Їх ефективне використання та впровадження альтернативних джерел енергії стають ключовими завданнями сучасності.

2. Класифікація та види енергетичних ресурсів

Усі енергетичні ресурси на Землі, що є продуктами безперервної діяльності Сонця, можуть бути поділені на дві основні групи: на акумульовані природою й у більшості випадків невідновлювальні та на неакумульовані, але постійно поновлювані (табл.1.1). До першої групи належать запаси паливних копалин: нафта, кам'яне та буре вугілля, спанні, торф і підземні гази, а також термоядерна і

ядерна енергія. До другої групи належать сонячне випромінювання, вітер, потоки рік, морські хвилі та припливи, внутрішнє тепло Землі.

Таблиця 1.1 — Потенціальні запаси джерел енергії на Землі

Види енергії	Запаси енергії
<i>Невідновлювальні (кВт · год)</i>	
1. Термоядерна енергія	$1\,000\,000\,000 \cdot 10^{12}$
2. Ядерна енергія	$574\,000 \cdot 10^{12}$
3. Енергія паливних копалин	$55\,364 \cdot 10^{12}$
<i>Відновлювальні (кВт · год/рік)</i>	
1. Енергія сонячних променів	$667\,800 \cdot 10^{12}$
2. Енергія морів і океанів	$70\,000 \cdot 10^{12}$
3. Енергія вітру	$17\,369 \cdot 10^{12}$
4. Енергія внутрішнього тепла Землі	$134 \cdot 10^{12}$
5. Енергія річок	$18 \cdot 10^{12}$

Існує багато схем розподілу природних джерел енергії, в основу яких покладені різні принципи.

На рис. 1.1 приведена одна з схем, де виділяються дві основні групи: невідновлювальні і відновлювальні, альтернативні джерела енергії. У свою чергу, невідновлювальні ресурси представлені двома типами – традиційні і нетрадиційні. До першого типу відносяться рідкі і газоподібні вуглеводні, вугілля і високоякісні уранові руди. Серед нетрадиційних природних джерел енергії до деякої міри умовно виділено два види: придатні до освоєння в ХХІ ст. і перспективні джерела енергії, широке освоєння яких можливе лише в наступному столітті.

Поновлюваними джерелами енергії називаються ресурси енергії, що постійно циклічно поновлюють енергетичну цінність і можуть бути перетворені на корисну роботу. Іншими словами, відновлювальні джерела енергії поновлюються постійно, без часових обмежень, тоді як використання традиційних палив обмежене наявними запасами.

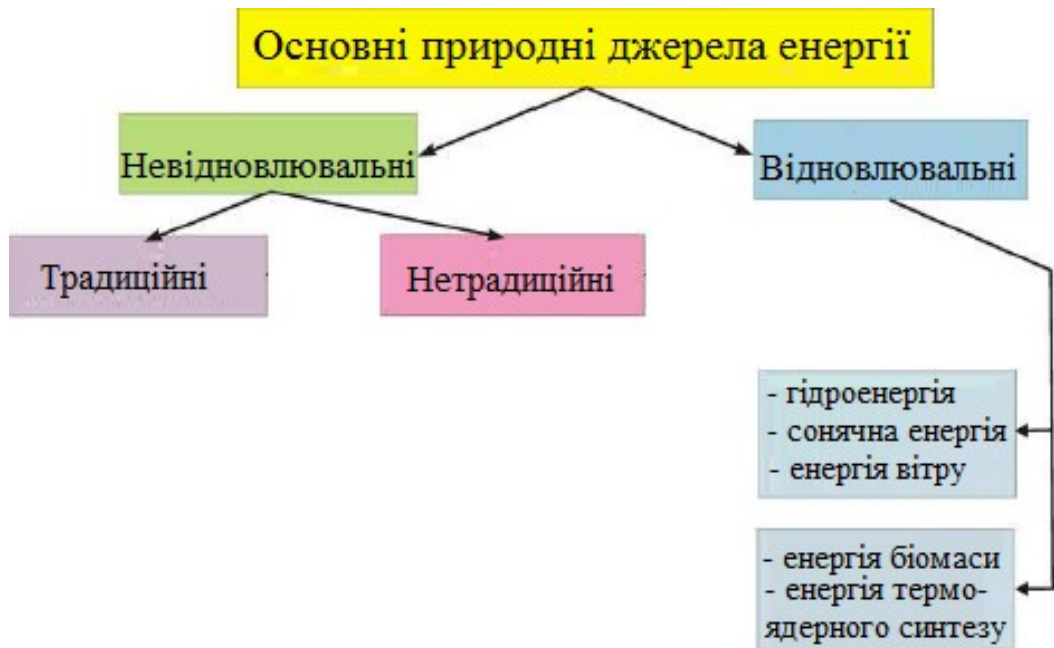


Рисунок 1.1 – Основні природні джерела енергії

Сонячна діяльність характеризується приблизними показниками, наведеними на рис. 1.2, які загалом утворюють схему теплового балансу Землі.

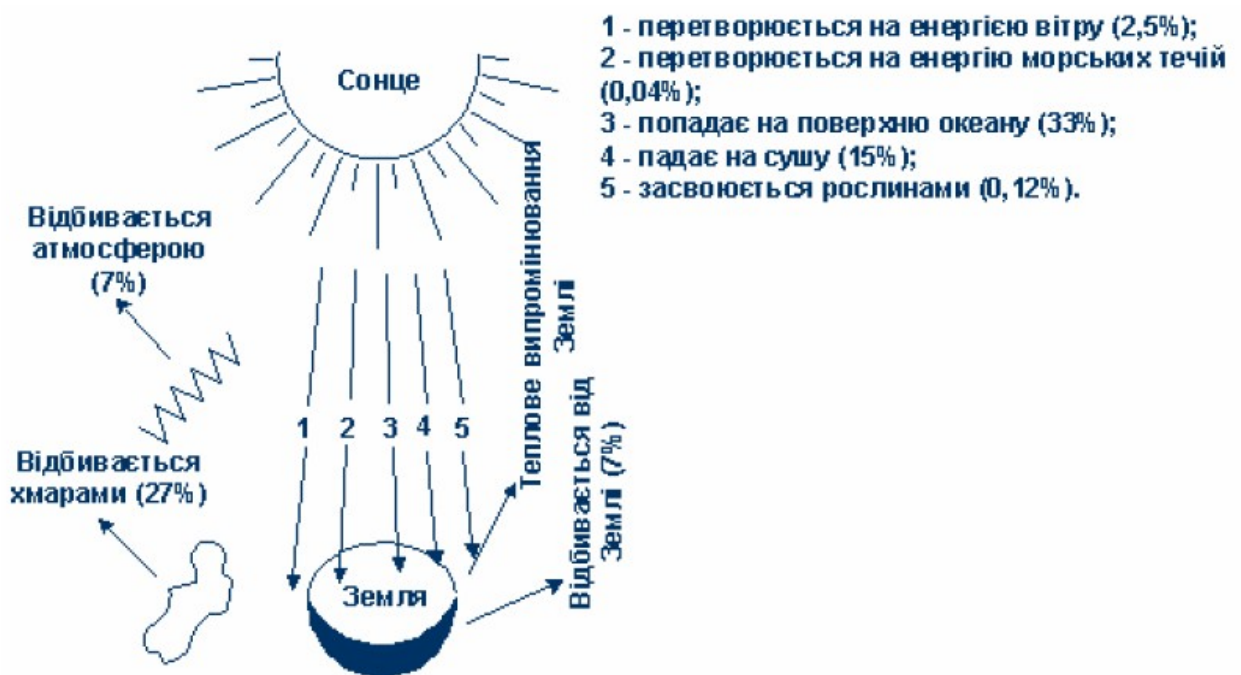


Рисунок 1.2 – Розподіл променистої енергії сонця

Енергетичні ресурси – це основа енергетичного забезпечення людства. Їх класифікація допомагає зрозуміти різноманіття джерел енергії, їхні властивості, перспективи використання та вплив на довкілля. У цьому розділі розглянемо основні критерії класифікації та детально опишемо кожен вид енергетичних ресурсів.

Класифікація за критерієм відновлюваності

Цей підхід поділяє ресурси на дві основні групи:

Відновлювані ресурси: Це ресурси, які можуть відновлюватися природним шляхом або завдяки людським зусиллям. Вони мають потенціал стати основою стійкого розвитку. До них належать:

- **Сонячна енергія:** використовується для отримання електрики (сонячні панелі) або тепла (геліосистеми).
- **Вітер:** перетворюється на електроенергію за допомогою вітрових турбін.
- **Вода:** включає енергію річок, припливів, відпливів і океанічних течій.
- **Біомаса:** органічна сировина (деревина, сільськогосподарські відходи), що використовується для отримання енергії.
- **Геотермальна енергія:** тепло Землі, яке використовується для опалення або генерації електроенергії.

Невідновлювані ресурси: Це ресурси, які не можуть бути відновлені в межах людського життя. Їх запаси обмежені, і використання часто супроводжується екологічними ризиками. Сюди належать:

- **Вуглеводні:** нафта, природний газ, вугілля.
- **Ядерне паливо:** уран і плутоній, які застосовуються в атомній енергетиці.

Класифікація за фізичним станом

Ресурси поділяються залежно від їх агрегатного стану:

Тверді ресурси:

- **Вугілля:** використовується для генерації електроенергії та в металургії.
- **Торф:** органічна копалина для опалення та отримання добрив.
- **Деревина:** традиційне паливо, що активно використовується у відновлюваній енергетиці.

Рідкі ресурси:

- **Нафта:** основа транспортного палива (бензин, дизель, мазут).
- **Біоетанол та біодизель:** виробляються з рослинної сировини як екологічна альтернатива нафтовим продуктам.

Газоподібні ресурси:

- **Природний газ:** чистіше паливо для виробництва електроенергії, тепла та транспорту.
- **Біогаз:** отримується з органічних відходів через анаеробне бродіння.

Класифікація за джерелом походження

Природні ресурси: Це ресурси, які безпосередньо надаються природою:

- Нафта, газ, вугілля, уран.
- Сонячне світло, вітер, вода.

Штучні ресурси: Ресурси, створені або перетворені людиною:

- Енергія, отримана внаслідок переробки сировини (наприклад, водень, синтетичне паливо).
- Енергія, збережена в акумуляторах.

Класифікація за сферою використання

Промислові ресурси: Забезпечують роботу промислових підприємств (нафта, газ, вугілля).

Побутові ресурси: Використовуються в домашньому господарстві (електроенергія, деревина, природний газ).

Транспортні ресурси: Основне джерело енергії для транспорту (бензин, дизель, біопаливо).

Відновлювані джерела енергії: переваги та виклики

Перехід на відновлювані ресурси енергії має низку переваг:

- Скорочення викидів парникових газів.
- Зниження залежності від викопного палива.
- Можливість сталого розвитку.
- Проте існують і виклики:
- Висока початкова вартість технологій.
- Залежність від погодних умов (сонячна і вітрова енергія).
- Потреба у великих площах для розміщення інфраструктури.

Класифікація енергетичних ресурсів дає змогу краще розуміти їхні особливості, ефективно планувати їх використання та створювати стратегії сталого розвитку. В умовах сучасного світу особливу увагу слід приділяти розвитку відновлюваних джерел енергії, адже саме вони забезпечують баланс між потребами суспільства та збереженням довкілля.

3. Значення енергетичних ресурсів в економіці

Енергетичні ресурси відіграють вирішальну роль у функціонуванні сучасної економіки, забезпечуючи необхідну енергію для виробничих, транспортних та соціальних процесів. Вони є не лише джерелом живлення для машин, обладнання та транспорту, але й базовим фактором економічного зростання, технологічного прогресу і підвищення якості життя.

Енергетичні ресурси як основа економіки. Енергетика – це фундамент промислового виробництва. Робота заводів, фабрик, підприємств сфери послуг безпосередньо залежить від стабільного постачання енергії. Наприклад, виробництво сталі, хімічна промисловість, харчова індустрія – усі ці галузі

потребують електроенергії та тепла для виконання основних технологічних операцій. Недостатність енергетичних ресурсів може призвести до зупинки виробництва та серйозних економічних втрат.

Вплив на транспорт і логістику. Енергетичні ресурси забезпечують роботу транспортного сектора, який є «кровоносною системою» економіки. Вантажний транспорт, авіація, морські перевезення – усе це потребує пального, такого як дизель, бензин, газ чи електроенергія. Стабільне постачання енергоносіїв є запорукою ефективного функціонування глобальних і локальних логістичних ланцюгів.

Роль в енергетичній безпеці. Держави, які мають значні запаси енергетичних ресурсів або розвинуту інфраструктуру для їх переробки, є більш незалежними в економічному плані. Енергетична безпека впливає на стратегічні рішення, визначає можливість залучення інвестицій та створює сприятливі умови для розвитку промисловості.

Енергетичні ресурси як джерело доходів. У багатьох країнах енергетичні ресурси є важливим джерелом доходів державного бюджету. Наприклад, експорт нафти, газу або вугілля забезпечує валютні надходження, які можуть використовуватись для фінансування соціальних програм, розвитку інфраструктури чи інвестицій у нові технології. У країнах, багатих на природні ресурси, енергетика часто становить основу економіки.

Інновації та технологічний розвиток. Енергетика є рушієм інновацій. Розробка нових способів видобутку ресурсів, впровадження відновлюваних джерел енергії, створення енергоефективних технологій – усе це сприяє підвищенню конкурентоспроможності економіки. Наприклад, розвиток сонячної та вітрової енергетики стимулює інженерні дослідження і створення нових робочих місць.

Соціальне значення енергетичних ресурсів. Доступність енергії безпосередньо впливає на якість життя населення. Тепло, електрика, транспорт – усе це є базовими елементами сучасної цивілізації. У регіонах із розвиненою енергетичною інфраструктурою люди мають більше можливостей для освіти, праці та відпочинку.

Світові запаси і динаміка їх освоєння

Нафта. Накопичена світова здобич нафт оцінюється більше 190 млрд. т. При цьому дуже важливо, що в останні 5 років (починаючи з 2020 р.) вона стала близькою до 4,0 млрд. т/рік і росте трохи, незважаючи на високий рівень світових цін. При цьому в накопиченій здобичі провідну роль зіграли традиційні нафтовидобувні країни. На долю країн Близького і Середнього Сходу доводиться близько 28%, Північної Америки - 24% і країн СНД - 15%. Доля 10 країн, що досягли найбільшого рівня витягання нафти з надр, сьогодні, досягає 65% від

загальної світової річної її здобичі. Ці ж країни мають і найбільші розвідані доведені запаси нафти. Проте приведені нижче дані (таблиця. 1.2) про їх рівні здобичі і розвідані запаси свідчать про широкий діапазон коливань відношення – розвідані запаси/річна здобич. Це відношення прямо не відбиває забезпеченість ресурсами нафтовидобувної промисловості в літах. Його зменшення найчастіше вказує на недостатній розмах геолого-дослідницьких робіт, зниження якості нафти, вичерпання ресурсів великих родовищ і системні помилки державного управління ресурсним потенціалом надр.

В цілому розвідані доведені світові запаси, включаючи важкі нафти і бітумінозні піщаники Атабаски (Канада), близькі до 200,0 млрд. т. Крім того, не менше 200 млрд. т є в заздалегідь оцінених відомих родовищах і прогнозних геологічних ресурсах в нафтоносних зонах і басейнах, включаючи шельфи Північного Льодовитого океану. При прогнозованому максимальному зростанні рівнів річного нафтовидобутку в 30-40-і роки XXI століття - 4,2-4,5 млрд. т/рік розвідані сьогодні світові запаси нафти і прогнозні ресурси дозволяють у кінці поточного століття можливість видобутку нафти на рівні 3,5-2,5 млрд. т/рік.

Природні горючі гази. Накопичений світовий видобуток природного горючого газу (вільного і попутного) оцінюється в 90,0 трлн. м³. При цьому важливо підкреслити, що за останні 20 років видобуток природного газу зріс в 1,7 разів і перевищив в 2023 році 3,0 трлн. м³. На росію і США, при цьому доводиться майже 40% світової його здобичі. Розвідані доведені запаси природного газу у світі складають близько 190 трлн. м³. Сумарні здобуті світові ресурси газу оцінюються в 460-480 трлн. м³, з яких більше 45% доводиться на росію, 17-18% - на Близький і Середній Схід, 6-7% на Африку і 4-5% на Північну Америку.

Таблиця 1.2 – Рівень здобичі і розвіданих запасів нафти у світі

Країна	Здобич (млн.т./рік)	Розвідані запаси (млрд.т.)
Саудівська Аравія	525	36,0
росія	500	10,0
США	310	<4,0
Іран	210	19,0
Китай	190	2,0
Мексика	180	1,5
Канада	160	>24,0
Венесуела	150	14,0
Кувейт	140	>14,0
ОАЕ	140	>13,0

Намічене збільшення світового видобутку природного газу цілком забезпечене його ресурсами до кінця поточного століття. При цьому потрібно мати на увазі, що прогнозні ресурси горючого газу (вільного і попутного) істотно перевищують ресурси нафти. У зв'язку з успішним розвитком газохімічних технологій найближчими роками стане можливим і ефективним отримання з газу (включаючи і попутний нафтовий газ) бензину і інших палив для транспортних засобів за цілком прийнятними цінами. Вирішення цієї проблеми допоможе надійно забезпечити паливом транспортні і інші технічні засоби принаймні до кінця поточного століття.

При істотному зниженні споживання газу для виробництва електроенергії природний газ, поза сумнівом, міг би істотно посилити свою роль в забезпеченні потреб в паливі транспортних засобів і в наступному столітті.

Кам'яне вугілля. Накопичена здобич кам'яного і бурого вугілля для енергетики, на жаль, може бути оцінена лише за непрямыми даними, оскільки системний облік об'ємів їх здобичі був організований лише в післявоєнний період, в другій половині XX століття. За останні 20 років (з 2003 до 2023 рр.) у світі було здобуто більше 1,0 трлн. т кам'яного і бурого вугілля (без тих, що коксуються).

У таблиці. 1.3 приведені основні країни, що видобувають сьогодні вугілля, використовуване в енергетиці.

Таблиця 1.3 – Перелік основних країн, що видобувають вугілля, використовуване в енергетиці

Країна	Здобич	Запаси
Китай	>2,5 млрд. т./ рік	115,0 млрд. т (розвідані)
США	>1,0 млрд. т/рік	130,0 млрд. т (розвідані)
Індія	500 млн. т/рік	5,0 млрд. т (розвідані) >40,0 млрд. т (загальні)
Австралія	400 млн. т/рік	>75,0 млрд. т (розвідані)
Росія	300 млн. т/рік	>200 млрд. т (розвідані)
ЮАР	250 млн. т/рік	30 млрд. т (розвідані)
Німеччина	200 млн. т/рік	>20,0 млрд. т (загальні)

В цілому розвідані підтверджені запаси вугілля у світі перевищують 850,0 млрд. т, при загальних розвіданих запасах 3,6 трлн. т.

Поза сумнівом, що запаси вугілля для забезпечення намічених рівнів виробництва електроенергії цілком достатні не лише на XXI століття, але і на триваліший час. Як добре відомо, розвиток електроенергетики, що базується на використанні вугілля, стримується високим рівнем викидів парникових газів, сильним забрудненням довкілля, а також високими витратами на здобич і транспорт вугілля.

Ресурси ядерної енергетики. З двох можливих природних джерел ядерної енергетики – урану і торія, поки в практичному використанні знаходиться лише уран. В майбутньому можливо буде потрібно і торій.

Сумарні ресурси урану, використані в атомній енергетиці, не можуть оцінюватися по кількості його здобичі з надр. Як відомо, деяка його частина була використана і для інших цілей, зокрема для виробництва зброї. Проте основна частина здобутого урану сьогодні знаходиться в сховищах опроміненого ядерного палива (ОЯП), оскільки ККД використання енергії в урані, на жаль не перевищує 1%. У світі доки використовуються в основному легководні реактори на теплових нейтронах у відкритому паливному циклі, без використання технологій рециклінга ОЯП.

Нові технології сучасного етапу розвитку атомної енергетики іменуються ренесансними і пов'язані з її переведенням на замкнутий паливний цикл з використанням реакторів на швидких нейтронах. Проте цей процес відбувається на тлі прискореного введення в дію легководних реакторів. За даними МАГАТЕ у кінці 2010 р. знаходився в експлуатації 441 енергетичний реактор, будувалося 60 нових блоків. Вже сьогодні Франція, Литва Словаччина, Бельгія, Швеція і Україна на АЕС виробляють більше половини електроенергії. До 2030 р. настановна потужність АЕС може скласти 1000 ГВт при 370 ГВт в 2010 р.

Класифікацію поновлюваних джерел енергії наведено на рис. 1.3. Результатами прямої сонячної діяльності є тепловий ефект і фотоефект, внаслідок чого Земля отримує теплову енергію та світло. Результатом побічної діяльності Сонця є відповідні ефекти в атмосфері, гідросфері та геосфері, що викликають появлення вітру, хвиль, зумовлюють течію річок, створюють умови для збереження внутрішнього тепла Землі.

Переваги поновлюваних джерел енергії порівняно з традиційними є: - вони практично невичерпними;

- не забруднюється навколишнє середовище;
- відпадає необхідність у добуванні, переробці та доставці палива;
- немає потреби використовувати воду для охолодження, вилучати залові відходи або продукти розпаду;
- немає необхідності у дефіцитних високотемпературних матеріалах, за винятком сонячних концентраторів тепла;
- можуть працювати без обслуговування; - немає потреби в транспортуванні енергії.

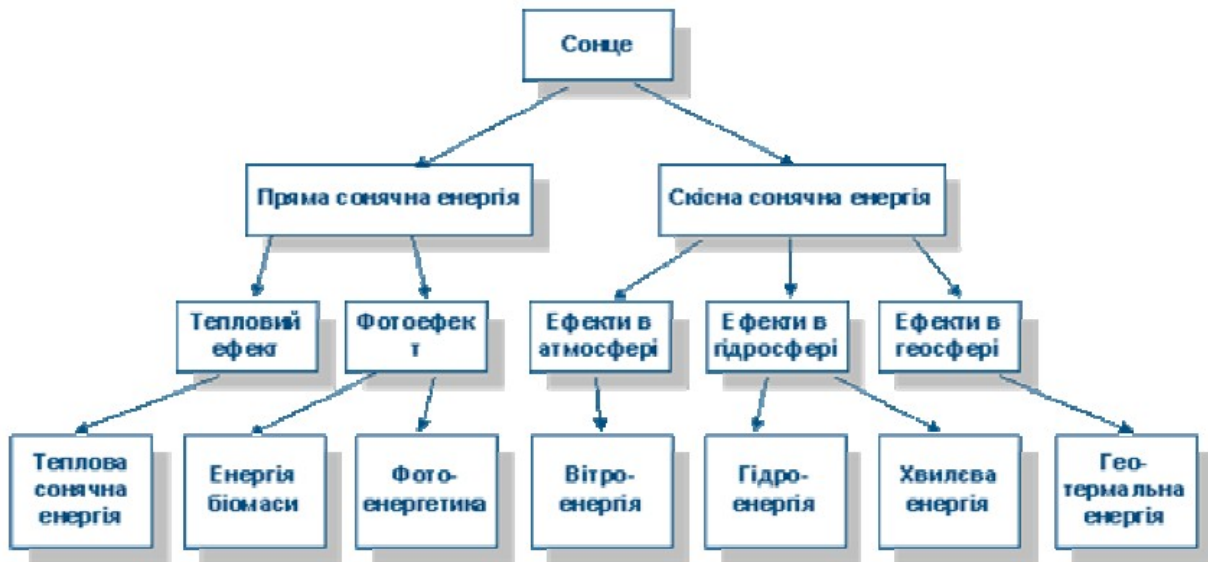


Рисунок 1.3 – Класифікація відновлювальних джерел енергії

Основним недоліком більшості поновлюваних джерел енергії є непостійність їхнього енергетичного потенціалу.

Необхідність використання поновлюваних джерел енергії визначається такими факторами:

- швидким зростанням потреби в електричній енергії, споживання якої через 50 років, за деякими оцінками, зросте в середньому в 3-4 рази, а в розвинутих країнах – в 5-бразів;
- вичерпуванням у найближчому майбутньому розвіданих запасів органічного палива;
- забрудненням навколишнього середовища оксидами азоту та сірки, вуглекислим газом, пилоподібними останками від згорання видобувного палива, радіоактивним забрудненням і тепловим перегрівом при використанні ядерного палива.

Необхідність і можливість розвитку енергетики України на базі поновлюваних джерел зумовлені такими причинами:

- дефіцитом традиційних для України паливно-енергетичних ресурсів;
- дисбалансом у розвитку енергетичного комплексу України, орієнтованого на значне виробництво електроенергії на атомних електростанціях (до 25-30%) за фактичної відсутності виробництв і отримання ядерного палива, утилізації та переробки відходів, а також виробництв з модернізації обладнання діючих АЕС (ядерних реакторів, котельного обладнання тощо);
- сприятливими клімато-метеорологічними умовами для використання основних видів поновлюваних джерел енергії;
- наявністю промислової бази, придатної для виробництва практично всіх видів обладнання для поновлюваної енергетики.

Енергетичні ресурси є основою економічної діяльності та впливають на всі аспекти життя суспільства. Вони визначають стабільність економіки, сприяють

зростанню національного доходу та технологічному розвитку. Ефективне управління енергетичними ресурсами – це не лише запорука економічної стабільності, а й важливий крок до сталого розвитку та збереження довкілля.

4. Глобальні тенденції в енергетиці

Інтеграція відновлюваних джерел енергії (ВДЕ). Перехід до чистої енергетики стає глобальним трендом, проте інтеграція ВДЕ до існуючих енергосистем пов'язана з низкою технічних складностей. Нестабільність генерації сонячної та вітрової енергії створює проблеми для балансування мережі, особливо при високій частці ВДЕ в енергосистемі.

Для вирішення цих проблем активно розвиваються технології накопичення енергії великої потужності, включаючи електроакумулятори електростанцій, батареї великої ємності та водневі технології. Паралельно проводиться робота над створенням інтелектуальних систем управління енергосистемою, здатних оптимально розподіляти навантаження з урахуванням прогнозів генерації ВДЕ.

Перспективним напрямом є модернізація мережевої інфраструктури підвищення її гнучкості та здатності приймати енергію від розподілених джерел. Це включає розвиток технологій Smart Grid і впровадження сучасних систем управління потоками потужності.

Підвищення надійності та стійкості енергосистем. В умовах екстремальних погодних явищ, що частішали, і зростаючих кіберзагроз, питання забезпечення надійності енергопостачання виходить на перший план. Старіння інфраструктури у розвинених країнах додатково посилює цю проблему.

Для підвищення стійкості енергосистем розробляються передові системи моніторингу, які використовують супутникові технології та безпілотні літальні апарати. Ці рішення дозволяють оперативно виявляти потенційні загрози та запобігати аварійним ситуаціям.

Концепція самовідновлюваних мереж та розвиток мікрогридів дозволять локалізувати наслідки аварій та забезпечити безперебійне енергопостачання критично важливих об'єктів. Одночасно ведеться робота з посилення фізичної та кібербезпеки енергетичних об'єктів, що стає невід'ємною частиною стратегії розвитку енергетичних компаній.

Розвиток технологій високовольтних ліній постійного струму (ВЛПС). Зі зростанням частки ВДЕ та необхідністю передачі великих обсягів енергії на далекі відстані, технології ВЛПС набувають особливого значення. Вони дозволяють мінімізувати втрати під час передачі енергії та з'єднувати несинхронізовані енергосистеми.

Основні напрями розвитку ВЛПС включають вдосконалення силової електроніки підвищення ефективності перетворення, розробку нових ізоляційних матеріалів і створення мультитермінальних ВЛПС -систем. Останні особливо перспективні створення супергрідів, що об'єднують енергосистеми цілих континентів.

Незважаючи на високу вартість перетворювальних підстанцій, економічна ефективність ВЛПС ліній при передачі енергії на відстані понад 500-700 км робить цю технологію ключовою для розвитку глобальних енергетичних мереж.

Цифровізація та впровадження штучного інтелекту. Цифрова трансформація енергетики відкриває нові можливості оптимізації роботи енергосистем. Ключові напрями включають розвиток передиктивної аналітики для запобігання аваріям, впровадження систем машинного навчання для оптимізації режимів роботи мережі та створення цифрових двійників енергосистем.

Обробка великих обсягів даних у реальному часі дозволяє підвищити точність прогнозування споживання та генерації, що є критично важливим для ефективного управління енергосистемою з високою часткою ВДЕ. Штучний інтелект також застосовується для оптимізації торгівлі на енергетичних ринках та планування інвестицій у розвиток мережевої інфраструктури.

Екологічна стійкість та управління життєвим циклом обладнання. Зниження впливу енергетики на довкілля стає одним із пріоритетів галузі. Це включає не лише перехід до чистих джерел енергії, а й розробку екологічно безпечних матеріалів та технологій для енергетичної інфраструктури.

Особлива увага приділяється методам оцінки та продовження терміну служби обладнання, що дозволяє оптимізувати інвестиції та знизити обсяги відходів. Розвиваються технології рециклінгу компонентів енергетичного обладнання, що сприяє створенню економіки замкнутого циклу в енергетичному секторі.

Адаптація інфраструктури до змін клімату також стає важливим напрямом роботи, що потребує нових підходів до проектування та експлуатації енергетичних об'єктів.

Аналізуючи головні тренди, можна говорити, що енергетична галузь стоїть на порозі фундаментальної трансформації, що охоплює весь спектр процесів генерації, передачі та розподілу електроенергії. Конвергенція технологічних інновацій у сферах відновлюваної енергетики, цифровізації, високовольтних систем постійного струму, підвищення надійності інфраструктури та екологічної стійкості формує основу для якісного стрибка у розвитку енергосистем.

Реалізація передових проектів за зазначеними напрямками потенційно призведе до створення енергетичних систем нового покоління, що

характеризуються підвищеною екологічністю, надійністю та ефективністю. Ці системи матимуть необхідну гнучкість і стійкість для задоволення зростаючого попиту на електроенергію в умовах кліматичної волатильності і посилення екологічних вимог.

Ключовим чинником успіху у цій трансформації стане здатність галузі інтегрувати міждисциплінарні підходи, поєднуючи досягнення у галузі матеріалознавства, інформаційних технологій, силової електроніки та системного інжинірингу. Така інтеграція дозволить не лише вирішити поточні проблеми енергетичного сектору, а й створити основу для довгострокового сталого розвитку глобальної енергетичної інфраструктури.

5. Питання для самоперевірки

1. Що таке енергетичні ресурси, і як вони класифікуються?
2. Чому енергетичні ресурси відіграють ключову роль у розвитку суспільства?
3. Назвіть основні джерела енергії та дайте їхню характеристику.
4. У чому полягає різниця між відновлюваними та невідновлюваними енергетичними ресурсами?
5. Які існують екологічні аспекти використання енергетичних ресурсів?
6. Як змінювались пріоритети використання енергетичних ресурсів протягом історії?
7. Які енергетичні ресурси є найважливішими для вашої країни і чому?
8. Що таке енергетична безпека, і які чинники на неї впливають?
9. Як світові тенденції у сфері енергетики впливають на стратегії енергозабезпечення?
10. У чому полягає значення альтернативних джерел енергії в сучасному світі?

Тема 2. Технології виробництва енергетичного обладнання

План лекції:

1. Основні технологічні процеси
2. Вплив цифрових технологій
3. Екологічні аспекти у виробництві енергетичного обладнання
4. Питання для самоперевірки

1. Основні технологічні процеси

Енергетичне обладнання є основою сучасної промисловості та життєзабезпечення, оскільки воно забезпечує виробництво, передачу та споживання енергії. Розвиток технологій у цій галузі визначається глобальними тенденціями, такими як перехід до використання відновлюваних джерел енергії, підвищення енергоефективності, цифровізація виробничих процесів і впровадження екологічних стандартів.

Сировинна база та матеріали. Процес виробництва енергетичного обладнання починається з вибору матеріалів. Використовуються сучасні композити, сплави та матеріали з унікальними властивостями. Наприклад, у виробництві турбін для вітроенергетичних установок застосовуються скловолокно та карбонові матеріали, які поєднують міцність і легкість. Для котельного обладнання використовуються сталі з високою термостійкістю, здатні витримувати значні температурні та тискові навантаження.

Особливу увагу приділяють екологічності матеріалів. Сучасні технології дозволяють знижувати вплив на довкілля шляхом використання вторинних матеріалів і зменшення кількості відходів.

Лиття та зварювання. Лиття є одним із найдавніших і водночас найсучасніших методів обробки матеріалів. Воно використовується для виготовлення великих і складних за формою компонентів енергетичного обладнання, таких як корпуси турбін, ротори або камери згоряння.

– Метод точного лиття забезпечує отримання деталей із мінімальними допусками та високою якістю поверхонь, що знижує потребу у подальшій механічній обробці.

– Лиття в піщані форми часто застосовується для великих деталей, що мають складну геометрію. Цей метод забезпечує гнучкість у виготовленні різних типів компонентів.

– Вакуумне лиття дозволяє уникнути утворення порожнин у структурі матеріалу, що критично важливо для деталей, які працюють під високим тиском.

Зварювання є основним методом з'єднання металевих частин у великих конструкціях. Для енергетичного обладнання широко використовуються передові зварювальні технології:

- лазерне зварювання забезпечує високу точність і мінімальні теплові деформації. Цей метод часто використовується для з'єднання тонких листів металу або складних деталей;
- електронно-променеве зварювання застосовується для з'єднання деталей у вакуумі, що гарантує високу якість шва без окислення;
- плазмове зварювання дозволяє працювати з матеріалами, які важко піддаються зварюванню традиційними методами, наприклад з нікелевими сплавами або титановими компонентами.

Механічна обробка. Після виготовлення базових деталей виконується їх механічна обробка для досягнення точних розмірів і геометричних параметрів. Тут важливу роль відіграють верстати з числовим програмним управлінням (ЧПУ), які дозволяють досягти високої точності та автоматизації процесу.

Механічна обробка є важливим етапом виготовлення деталей, що забезпечує точність їхніх геометричних параметрів та відповідність технічним вимогам:

- верстати з числовим програмним управлінням (ЧПУ) дозволяють виготовляти складні деталі з мінімальними відхиленнями від заданих розмірів. Наприклад, обробка лопатей турбін чи валів генераторів;
- шліфування та полірування використовуються для створення ідеально гладких поверхонь, що важливо для деталей, які піддаються тертю чи впливають на аеродинаміку;
- свердління глибоких отворів застосовується для створення каналів у теплообмінниках чи паропроводах, що забезпечує ефективну передачу тепла.

Термічна обробка. Для підвищення міцності, зносостійкості та інших експлуатаційних властивостей матеріалів використовуються методи термічної обробки, такі як гартування, відпал, нормалізація. Це забезпечує тривалу надійність обладнання в умовах високих навантажень.

Методи термічної обробки спрямовані на покращення фізико-механічних властивостей матеріалів:

- гартування підвищує твердість і зносостійкість деталей, що працюють у зонах високого навантаження, наприклад, зубчастих коліс редукторів чи валів;
- відпал дозволяє знизити внутрішні напруження у великих компонентах, що виникають після лиття або зварювання;
- нормалізація покращує структуру сталі, забезпечуючи рівномірний розподіл властивостей по всьому об'єму матеріалу.

Поверхнєве зміцнення. Для підвищення стійкості поверхонь деталей до корозії чи зношування застосовуються методи плазмового напилення, гальванічного покриття та іонного азотування. Ці технології важливі у виробництві енергетичного обладнання, яке працює у важких умовах, наприклад, турбіни у вугільних електростанціях чи морські енергетичні установки.

Для підвищення довговічності деталей використовуються методи обробки поверхонь, що зменшують зношування і корозійне руйнування:

- плазмове напилення дозволяє наносити захисні покриття з жаростійких або корозійно-стійких матеріалів, наприклад на лопаті турбін;
- гальванічне покриття (цинкове, нікелеве або хромове) створює бар'єр для вологи та агресивних хімічних середовищ;
- іонне азотування підвищує твердість поверхні сталевих деталей, забезпечуючи захист від зношування при терті.

Складання та тестування. Останнім етапом виробництва є складання обладнання та його тестування. На цьому етапі проводяться випробування на витривалість, перевірка герметичності, функціональності та відповідності технічним характеристикам.

Остаточне складання є надзвичайно важливим етапом виробництва, оскільки саме тут формується кінцевий продукт:

- попереднє складання дозволяє перевірити сумісність компонентів перед основним збиранням. Це мінімізує ризик помилок і забезпечує швидкість процесу;
- тестування під навантаженням включає перевірку обладнання у штатних умовах експлуатації. Наприклад, випробування турбін під впливом високих температур і тиску;
- перевірка герметичності проводиться на компонентах, що працюють з рідинами чи газами, таких як трубопроводи або теплообмінники;
- функціональне тестування включає запуск обладнання в умовах, наближених до реальних, для перевірки його працездатності, точності та надійності.

2. Вплив цифрових технологій

Цифрові технології стають невід'ємною частиною виробництва енергетичного обладнання, оскільки вони дозволяють підвищити ефективність, знизити витрати та забезпечити високий рівень контролю на кожному етапі створення продукції. Інтеграція таких технологій, як Інтернет речей (IoT), штучний інтелект (ШІ), великі дані, доповнена реальність (AR) і системи автоматизації, створює нові можливості для промисловості.

Комп'ютерне моделювання та проєктування (CAD/CAE)

Комп'ютерні системи автоматизованого проєктування (CAD) і комп'ютерного інженерного аналізу (CAE) є основою цифровізації у виробництві:

- оптимізація конструкції: інженери можуть розробляти складні моделі обладнання, прогнозуючи їх поведінку під час експлуатації. Наприклад, у

проектуванні турбін CAD дозволяє прорахувати оптимальні форми лопатей для максимального ККД;

- аналіз навантажень: CAE використовується для оцінки стійкості матеріалів до високих температур, вібрацій чи агресивного середовища.

- зниження помилок: завдяки цифровому моделюванню усуваються дефекти ще на етапі проектування, що знижує витрати на виробництво.

Системи управління виробництвом

Інтеграція цифрових систем управління виробництвом забезпечує автоматизацію та контроль усіх етапів виробничого циклу.

MES (Manufacturing Execution Systems): системи управління виробничими процесами в режимі реального часу дозволяють відслідковувати виконання завдань, контроль якості та витрати ресурсів.

SCADA-системи: вони забезпечують моніторинг і управління промисловими процесами, такими як робота зварювальних роботів або термічних установок.

Інтернет речей (IoT)

IoT дозволяє зв'язувати обладнання, машини та сенсори у єдину мережу для обміну даними.

Моніторинг стану обладнання: сенсори, встановлені на виробничих лініях або готових виробах, відстежують параметри, такі як температура, вібрація чи тиск. Це дозволяє проводити діагностику в реальному часі.

Прогнозне обслуговування: дані, отримані від IoT-сенсорів, аналізуються для прогнозування можливих несправностей, що зменшує ризик аварій і простоїв.

Штучний інтелект (ШІ) та машинне навчання

Штучний інтелект знаходить широке застосування в автоматизації аналізу великих обсягів даних.

Оптимізація виробничих процесів: алгоритми ШІ визначають найбільш ефективні маршрути виготовлення деталей, враховуючи витрати часу, матеріалів і ресурсів.

Аналіз дефектів: системи машинного навчання аналізують зображення деталей після обробки, що дозволяє автоматично виявляти мікротріщини чи інші дефекти.

Прогнозування попиту: завдяки аналізу ринкових даних ШІ допомагає компаніям планувати обсяги виробництва.

Доповнена та віртуальна реальність (AR/VR)

Доповнена (AR) і віртуальна реальність (VR) знаходять застосування в навчанні, обслуговуванні та проектуванні.

Навчання персоналу: використання VR-тренажерів дозволяє інженерам і технікам освоїти роботу з обладнанням у безпечних умовах.

Монтаж та обслуговування: технології AR надають візуальні інструкції в режимі реального часу, що спрощує складні монтажні роботи.

Проектування: завдяки VR-функціям проєктувальники можуть оцінити зовнішній вигляд і функціональність обладнання ще до його виготовлення.

Впровадження цифрових технологій у виробництво енергетичного обладнання радикально змінює цю галузь, роблячи її більш гнучкою, ефективною та екологічною. Використання IoT, III, AR/VR, CAD/CAE та інших цифрових інструментів дозволяє створювати високотехнологічне обладнання, здатне відповідати викликам сучасного світу.

3. Екологічні аспекти у виробництві енергетичного обладнання

Сучасні технології виробництва енергетичного обладнання орієнтовані на мінімізацію екологічного впливу. Використання технологій замкнутого циклу, зменшення викидів CO₂ та оптимізація енерговитрат у процесі виробництва стали стандартом для провідних компаній.

Крім того, розвиток відновлюваної енергетики стимулює створення нового типу обладнання, такого як сонячні панелі, акумулятори високої ємності та вітротурбіни. Для їхнього виробництва застосовуються технології з низьким впливом на довкілля, що відповідає концепції сталого розвитку.

Екологічна складова у виробництві енергетичного обладнання є ключовою, адже сучасні виклики, пов'язані зі зміною клімату, забрудненням довкілля та вичерпанням природних ресурсів, потребують нових підходів у промисловості. Енергетичне обладнання має не лише забезпечувати ефективну роботу, а й відповідати високим екологічним стандартам на всіх етапах виробництва.

Одним із пріоритетів є зменшення споживання енергії та матеріалів під час виробничих процесів.

Енергоефективність виробництва. Виробничі процеси постійно вдосконалюються для зниження енергоспоживання. Використання нових технологій, наприклад, енергоощадних плавильних печей, дозволяє значно зменшити кількість енергії, необхідної для обробки металів. Крім того, тепло, яке виділяється під час роботи, може бути повторно використане у системах опалення або для інших потреб підприємства.

Зменшення витрат матеріалів. Новітні композити та легкі сплави забезпечують створення деталей, що потребують менше матеріалу для виготовлення, але зберігають високу міцність і довговічність.

Вторинне використання матеріалів. У виробництві активно використовуються перероблені матеріали. Наприклад, сталь, отримана зі старих конструкцій, може бути повторно використана у створенні нових компонентів.

У майбутньому основними тенденціями стануть:

- Подальша автоматизація виробничих процесів.
- Розвиток адитивних технологій (3D-друку), які дозволяють виготовляти складні компоненти з мінімальними витратами матеріалів.
- Використання водневих технологій у виробництві обладнання для нових типів енергетики.

Технології виробництва енергетичного обладнання є складною та багатогранною галуззю, яка визначає майбутнє світової енергетики. Вдосконалення процесів, впровадження інновацій і дотримання принципів екологічності дозволяють створювати ефективні та безпечні рішення, що відповідають сучасним викликам.

4. Питання для самоперевірки

1. Що таке енергетичне обладнання, і які його основні види?
2. Які основні етапи виробництва енергетичного обладнання?
3. Які матеріали найчастіше використовуються у виробництві енергетичного обладнання, і чому?
4. Як впровадження сучасних технологій впливає на якість і ефективність енергетичного обладнання?
5. У чому полягають особливості виробництва обладнання для відновлюваної енергетики?
6. Як технології автоматизації та роботизації використовуються у виробництві енергетичного обладнання?
7. Які стандарти якості застосовуються у процесі виробництва енергетичного обладнання?
8. Чим відрізняється виробництво обладнання для теплової, гідро- та атомної енергетики?
9. Які інноваційні рішення сьогодні впроваджуються у сфері виробництва енергетичного обладнання?
10. Як екологічні вимоги впливають на процес створення сучасного енергетичного обладнання?

Тема 3. Матеріали для енергетичного обладнання

План лекції:

1. Основні типи матеріалів
2. Вимоги до матеріалів для енергетичного обладнання
3. Використання матеріалів у різних типах енергетичного обладнання
4. Питання для самоперевірки

Матеріали, які використовуються у виробництві енергетичного обладнання, відіграють ключову роль у забезпеченні надійності, ефективності та довговічності енергетичних систем. Ця сфера постійно розвивається під впливом науково-технічного прогресу та глобальних тенденцій у сфері екології й сталого розвитку. Розглянемо основні групи матеріалів, їх властивості, використання та перспективи розвитку.

1. Основні типи матеріалів

Матеріали, що використовуються для виробництва енергетичного обладнання, можна класифікувати за їх фізико-хімічними властивостями, функціональними характеристиками та сферою застосування. Серед основних типів матеріалів вирізняють металеві, полімерні, керамічні та композитні матеріали, кожен із яких відіграє важливу роль у забезпеченні роботи енергетичних систем.

Металеві матеріали. Метали та їхні сплави є найпоширенішими матеріалами для виготовлення енергетичного обладнання, завдяки їхній міцності, термостійкості та здатності витримувати високі механічні навантаження.

Вуглецеві сталі. Ці матеріали є базовими для виготовлення корпусів котлів, трубопроводів і резервуарів. Вони мають високу механічну міцність і добре витримують навантаження, але вимагають спеціального покриття для захисту від корозії.

Використовуються у конструкціях, що працюють у помірних температурних умовах, таких як паропроводи низького тиску.

Нержавіюча сталь. Завдяки високій стійкості до корозії та окислення, цей матеріал широко застосовується в теплообмінниках, парогенераторах і резервуарах, що працюють у вологих або агресивних середовищах. Нержавіюча сталь також ефективно використовується для виготовлення деталей морських енергетичних установок.

Жароміцні сплави. Жароміцні сталі та нікелеві сплави здатні витримувати температури понад 500–1000 °С. Вони є основними матеріалами для виробництва лопатей газових і парових турбін, які працюють у надвисокотемпературних умовах.

Алюміній і його сплави. Легкі та корозійно-стійкі алюмінієві сплави часто використовуються для виготовлення радіаторів, корпусів генераторів та елементів сонячних панелей. Вони мають високу теплопровідність і є зручними для обробки.

Титан і титанові сплави. Титанові матеріали вирізняються високою корозійною стійкістю навіть у морському середовищі, а також відмінним співвідношенням міцності до ваги. Вони знаходять застосування у виробництві компонентів гідротурбін, морських енергетичних установок і теплообмінників.

Полімерні матеріали. Полімери є незамінними у виробництві ізоляційних і конструкційних елементів, завдяки їх легкості, хімічній стійкості та низькій теплопровідності.

Епоксидні смоли. Вони використовуються для покриття обмоток електричних двигунів і генераторів, а також для виготовлення композитних матеріалів. Епоксидні смоли мають високу ізоляційну стійкість і захищають від механічних впливів.

Поліетилен і поліпропілен. Ці полімери знаходять застосування у виробництві кабелів, трубопроводів і захисних оболонок для електричного обладнання. Їх відрізняє висока гнучкість, стійкість до вологи та довговічність.

Фторопласти. Високостійкі до агресивних хімічних середовищ і температур, фторопласти використовуються для ізоляції проводів, ущільнювачів і підшипників у складних умовах.

Керамічні матеріали. Кераміка є важливим матеріалом для енергетики завдяки своїм термостійким і електроізоляційним властивостям.

Оксидна кераміка. Використовується для виготовлення ізоляторів у високовольтних лініях передачі. Цей матеріал забезпечує високу стійкість до електричних пробів та впливу зовнішнього середовища.

Карбід кремнію та нітрид кремнію. Ці жароміцні керамічні матеріали широко застосовуються у турбінах, теплообмінниках та компонентах, що працюють при високих температурах і тисках.

Композитні матеріали. Композити – це інноваційна група матеріалів, яка поєднує переваги декількох компонентів для досягнення унікальних властивостей.

Скловолокно. Цей матеріал застосовується у виробництві лопатей вітроенергетичних турбін завдяки його легкості, міцності та довговічності. Скловолокно також використовується для виготовлення захисних корпусів обладнання.

Вуглепластики. Завдяки високій міцності при низькій масі вуглепластики знаходять застосування у високотехнологічному обладнанні, наприклад, у деталях сонячних і вітроенергетичних установок.

Металокераміка. Цей матеріал застосовується в компонентах, що працюють у складних умовах, таких як підшипники, ущільнювачі чи насоси для агресивних середовищ.

Відновлювані матеріали. Зростання популярності "зеленої" енергетики стимулює використання відновлюваних матеріалів. Наприклад, біополімери та матеріали з переробленої сировини застосовуються у створенні екологічно чистих компонентів для енергетичних систем.

Кожна група матеріалів, що використовується для виготовлення енергетичного обладнання, має свої унікальні властивості та призначення. Їх правильний вибір і застосування забезпечують ефективну роботу енергетичних систем у найрізноманітніших умовах, від високих температур до агресивних середовищ. Інновації у сфері матеріалознавства дозволяють створювати більш надійні, довговічні та екологічно безпечні матеріали, які відповідають сучасним викликам глобальної енергетики.

2. Вимоги до матеріалів для енергетичного обладнання

Матеріали, які використовуються у виробництві енергетичного обладнання, повинні відповідати численним вимогам, обумовленим складністю експлуатаційних умов, високими навантаженнями та необхідністю забезпечення тривалої надійності. Вимоги до матеріалів визначаються такими ключовими факторами, як механічна міцність, стійкість до температурних і хімічних впливів, електроізоляційні властивості та екологічність.

1. Механічна міцність. Механічна міцність є однією з головних вимог до матеріалів, які використовуються для виготовлення енергетичного обладнання.

Стійкість до статичних і динамічних навантажень. Деталі обладнання повинні витримувати постійний тиск, вібрації та удари без деформацій і руйнувань. Наприклад, у парових турбінах ротори працюють у режимі високих обертів, що створює значні відцентрові сили.

Зносостійкість. Матеріали повинні мати високу стійкість до тертя та зношування, особливо у вузлах, що зазнають інтенсивного руху, таких як підшипники, насоси або редуктори.

2. Термостійкість. Багато видів енергетичного обладнання працюють у високотемпературних умовах, тому матеріали повинні зберігати свої властивості за екстремальних температур.

Жароміцність. Матеріали для лопатей турбін, теплообмінників і камер згоряння повинні витримувати температуру понад 500–1000 °С.

Стабільність властивостей при температурних коливаннях. Наприклад, у парових котлах матеріали повинні витримувати часті зміни температур без появи тріщин або інших дефектів.

3. Корозійна стійкість. Енергетичне обладнання часто експлуатується в агресивних середовищах, які можуть викликати корозію та руйнування матеріалів.

Стійкість до впливу вологи. Наприклад, матеріали, що використовуються у гідроелектростанціях, повинні бути стійкими до тривалого контакту з водою.

Захист від хімічного впливу. У теплових і хімічних електростанціях обладнання піддається дії агресивних газів і рідин, тому матеріали повинні протистояти дії кислот, лугів та інших реагентів.

4. Електроізоляційні властивості. Для електрообладнання важливо забезпечити високий рівень електроізоляції, що гарантує безпеку експлуатації.

Низька провідність. Матеріали, що застосовуються у виробництві ізоляторів, кабелів або обмоток генераторів, повинні мати мінімальну електропровідність, щоб уникнути пробоїв і коротких замикань.

Стійкість до пробою. Ізоляційні матеріали мають витримувати високі напруги, характерні для сучасних ліній електропередач.

5. Стійкість до радіації. Для атомної енергетики критично важливо використовувати матеріали, які не руйнуються під впливом іонізуючого випромінювання. Наприклад, у ядерних реакторах застосовуються цирконієві сплави та спеціальні сталі, які залишаються стабільними навіть після тривалого впливу радіації.

6. Екологічність. Сучасна енергетика орієнтована на зниження впливу на довкілля, тому матеріали для виробництва обладнання повинні відповідати екологічним стандартам.

Можливість повторної переробки. Багато матеріалів виготовляються із сировини, що може бути перероблена після завершення терміну експлуатації. Наприклад, сталь і алюміній добре піддаються рециклінгу.

Низький вуглецевий слід. У виробництві матеріалів важливо знизити кількість шкідливих викидів, таких як CO₂.

7. Довговічність. Енергетичне обладнання зазвичай експлуатується протягом десятків років, тому матеріали повинні забезпечувати його тривалу роботу без втрати основних характеристик.

Стійкість до старіння. Матеріали повинні зберігати свої властивості навіть після тривалого впливу високих температур, вологості чи радіації.

Мінімальні витрати на обслуговування. Довговічні матеріали зменшують потребу в ремонті та заміні деталей, що знижує експлуатаційні витрати.

8. Економічна ефективність. Окрім технічних характеристик, важливо враховувати доступність і вартість матеріалів.

Масове виробництво. Матеріали мають бути доступними для серійного виробництва, щоб забезпечити конкурентоспроможність обладнання.

Оптимальне співвідношення ціни та якості. Наприклад, використання композитів із високими експлуатаційними характеристиками виправдано, якщо вони значно підвищують ефективність обладнання.

Вимоги до матеріалів для енергетичного обладнання визначаються складністю експлуатаційних умов і потребою в забезпеченні високої ефективності роботи. Механічна міцність, термостійкість, корозійна стійкість та екологічність є базовими критеріями, яким повинні відповідати сучасні матеріали. Удосконалення матеріалів і впровадження інноваційних технологій сприяють створенню енергетичних систем, що відповідають викликам сьогодення.

3. Використання матеріалів у різних типах енергетичного обладнання

Енергетичне обладнання створюється для роботи в різноманітних умовах, тому вибір матеріалів залежить від специфіки кожного типу обладнання. Високі температури, тиск, механічні навантаження та агресивні середовища визначають вимоги до матеріалів, що забезпечують ефективність, надійність і тривалу експлуатацію.

1. Вітроенергетичні установки. Для роботи вітроенергетичних установок необхідні матеріали, які забезпечують легкість, міцність і стійкість до атмосферних впливів.

Лопаті турбін: Виготовляються з композитних матеріалів, таких як скловолокно або вуглепластик. Ці матеріали забезпечують легкість, високу міцність і довговічність, необхідні для роботи в умовах сильного вітру.

Башти турбін: Створюються зі сталей високої міцності, здатних витримувати великі навантаження і вібрації. Захисні покриття з полімерів чи цинку захищають башти від корозії.

Механізми передачі: Використовуються жароміцні сталі та сплави для редукторів і підшипників, які працюють у режимі високих обертів і навантажень.

2. Сонячні енергетичні системи. Матеріали для сонячних установок повинні забезпечувати максимальну ефективність перетворення енергії сонця та тривалу експлуатацію.

Сонячні панелі: Фотоелементи виготовляються з монокристалічного або полікристалічного кремнію, що забезпечує високу ефективність у перетворенні світла на електрику. Полімерні покриття захищають фотоелементи від механічних пошкоджень і впливу ультрафіолетового випромінювання.

Каркаси панелей: Використовуються алюмінієві сплави, які забезпечують легкість конструкції, стійкість до корозії та довговічність.

Акумуляторні системи: Використовуються матеріали з високою ємністю, такі як літій-іонні або літій-залізо-фосфатні компоненти, які гарантують тривалий термін служби.

3. Гідроенергетичні установки. Гідроенергетичне обладнання працює у водному середовищі, тому матеріали повинні бути корозійно стійкими та здатними витримувати постійний контакт із водою.

Робочі колеса турбін: Виготовляються з нержавіючої або спеціальної корозійно-стійкої сталі, здатної витримувати постійний рух води з великим навантаженням.

Трубопроводи: Використовуються сталеві сплави з антикорозійними покриттями або композити, які забезпечують тривалу роботу у водному середовищі.

Опорні конструкції: Для них застосовуються бетонні матеріали з додаванням спеціальних добавок, що підвищують стійкість до вологості та ерозії.

4. Атомні енергетичні установки. Обладнання для атомних електростанцій працює в умовах високого тиску, температур і радіаційного впливу.

Реакторні контейнери: Використовуються жароміцні сталі та цирконієві сплави, які зберігають свої властивості під впливом високих температур і радіації.

Теплообмінники: Матеріали повинні бути стійкими до корозії та радіації. Застосовуються титанові сплави та спеціальні нержавіючі сталі.

Захисні конструкції: Для захисту від радіації використовуються спеціальні бетонні матеріали та свинцеві покриття.

5. Теплові електростанції. Теплові електростанції працюють на основі перетворення енергії палива, тому матеріали повинні витримувати високі температури, тиск і агресивне середовище.

Котли та камери згоряння: Використовуються жароміцні сплави на основі нікелю, хрому чи молібдену, які забезпечують стійкість до температур понад 1000 °C.

Паропроводи: Матеріали повинні витримувати високий тиск і температуру, тому застосовуються леговані сталі та жароміцні сплави.

Лопаті турбін: Для виготовлення лопатей використовуються сплави нікелю та титану, які забезпечують стійкість до високих температур і механічних навантажень.

6. Обладнання для відновлюваних джерел енергії. Інноваційні джерела енергії, такі як геотермальні станції, установки на водневій енергії або хвильові генератори, потребують спеціалізованих матеріалів.

Геотермальні станції: Для трубопроводів і теплообмінників використовуються титанові сплави та корозійно-стійкі сталі, які витримують вплив гарячих мінералізованих вод.

Водневі установки: Використовуються матеріали, що мають низьку проникність для водню, такі як спеціальні сталі або алюмінієві сплави.

Хвильові генератори: Основні компоненти виготовляються зі скловолокна, вуглепластика або нержавіючої сталі, стійкої до впливу солоної води.

Різноманіття матеріалів, які використовуються у виробництві енергетичного обладнання, забезпечує ефективну роботу систем у різних умовах. Вибір матеріалів залежить від специфіки обладнання, умов експлуатації та вимог до довговічності. Інноваційні технології та новітні матеріали дозволяють створювати енергетичне обладнання, що відповідає сучасним вимогам ефективності, екологічності та надійності.

4. Питання для самоперевірки

1. Які основні вимоги пред'являються до матеріалів для енергетичного обладнання?
2. Які групи матеріалів використовуються у виробництві енергетичного обладнання?
3. У чому полягає різниця між конструкційними та функціональними матеріалами?
4. Які метали та сплави найчастіше застосовуються у виробництві енергетичного обладнання, і чому?
5. Яку роль відіграють керамічні матеріали у енергетичному обладнанні?
6. Як використовуються композити у сучасному енергетичному обладнанні?
7. Що таке жароміцні матеріали, і в яких умовах вони застосовуються?
8. Які особливості мають матеріали для обладнання, що працює в агресивних середовищах?
9. Як розвиток нанотехнологій впливає на створення нових матеріалів для енергетики?
10. Як вибір матеріалу впливає на експлуатаційні характеристики та тривалість служби енергетичного обладнання?

Тема 4. Експлуатація теплових, електричних та ядерних енергетичних установок

План лекції:

1. Технологічні процеси одержання енергії на електростанціях, що працюють від невідновлюваних джерел. Можливі сценарії розвитку електроенергетики та основні види електростанцій
2. Технологічні процеси одержання електроенергії на теплових електричних станціях (ТЕС та ТЕЦ)
3. Технологічний процес отримання електроенергії на ТЕС із газотурбінними установками
4. Технологічний процес отримання електроенергії на енергетичних установках малої потужності блочно-модульного виконання
5. Технологічний процес отримання електроенергії на міні-ТЕЦ (міні-ТЕС)
6. Технологічний процес отримання електроенергії на атомних електростанціях
7. Питання для самоперевірки

1. Технологічні процеси одержання енергії на електростанціях, що працюють від невідновлюваних джерел. Можливі сценарії розвитку електроенергетики та основні види електростанцій

Вибір сценарію сталого та безпечного розвитку енергетики для будь-якої держави слід робити з урахуванням загальносвітових глобальних проблем: зміна клімату, необхідність вибору сталого чи кризового розвитку економіки, забезпечення нормальної життєдіяльності населення, посилення політики енергозбереження, оскільки майже третина всіх енергоресурсів, що добуваються в даний час втрачається, що призводить не тільки до економічного, але і до екологічного збитку. У рамках базової моделі економічного розвитку України можливі різні сценарії: несприятливий (песимістичний), сприятливий (помірний), максимально сприятливий (оптимістичний). Для України, враховуючи існуючі несприятливі внутрішні та зовнішні фактори, найбільш реальний помірний сценарій, але можливість його реалізації потребує глобальних реформ. Базовий (основний) сценарій заснований на тому, що майбутній розвиток світової та національної енергетики продовжуватиме сучасні тенденції, закріплені в документах, програмах та угодах. Він визначає перспективи розвитку енергетики і оцінює основні проблеми з урахуванням нестійкості розвитку економіки.

У довгостроковій перспективі розвиток економіки та енергетики буде визначатися поєднанням трьох принципів – статичного, циклічного та динамічного. Відповідно до статичного принципу, до 2050 р. буде переважати інерція економічного та енергетичного розвитку. Циклічний принцип встановлює, що водночас має бути циклічність енергетичного та економічного розвитку.

Динамічний принцип змушує очікувати гостру комплексну кризу, яка вирішиться, швидше за все, повною зміною напрямів і нормативів розвитку енергетики. За прогнозами фахівців, в європейських країнах попит на електроенергію в 2030 році змінюватиметься від 244 ТВт·год (песимістичний сценарій) до 315 ТВт·год (оптимістичний сценарій). За базового сценарію попит на електроенергію до 2030 року досягне 282 ТВт·год, що у 50 % вище рівня 2010 року (191 ТВт·год). Переважно це буде зумовлено зростанням енергоспоживання в промисловості (на 40%) та у сфері послуг (на 100%). Головні напрями робіт із забезпечення енергоефективності процесів вироблення електроенергії такі:

1) Зниження витрат на виробництво та зниження втрат електроенергії в СЕП для промислових та побутових споживачів, а також втрат через низькі метрологічні характеристики приладів обліку електроенергії;

2) Зниження ймовірності відмови ЕО при виникненні надзвичайних ситуацій техногенного і природного характеру;

3) Підвищення надійності енергетичного обладнання, зниження експлуатаційних витрат на обслуговування, якісна та сучасна діагностика його технічного стану;

4) Підвищення ефективності використання електричної та теплової енергії в комунальному секторі та в об'єктах соціального, адміністративного та культурного призначення;

5) Комплексне постачання на промислові підприємства (ПП) та електростанції сучасного, енергозберігаючого електротехнічного обладнання, впровадження нових досягнень науки і техніки, сучасних технологій.

За способом виробництва електроенергії розрізняють:

– теплові електростанції (ТЕС, ТЕЦ), що використовують енергію горіння природного викопного палива (вугілля, газ, мазут);

– гідравлічні (ГЕС) та гідроакумуючі електростанції (ГАЕС), що використовують енергію падаючої води;

– атомні електростанції (АЕС), які використовують енергію ядерного розпаду;

– дизельні електростанції (ДЕС);

– ТЕС з газотурбінними (ГТУ) та парогазовими установками (ПГУ);

– сонячні електростанції (СЕС);

– вітрові електростанції (ВЕС);

– геотермальні електростанції (гео-ТЕС);

– приливні електростанції (ПЕС).

В Україні основними типами електростанцій є АЕС, ТЕС та ГЕС (ГАЕС). У табл. 4.1 представлені дані поточної та перспективної структури отримання електроенергії в об'єднаній енергосистемі (ОЕС) України, яка враховує встановлені, маневрені та резервні потужності.

Таблиця 4.1 – Дані поточної та перспективної структури отримання електроенергії в об'єднаній енергосистемі України

Джерела електроенергії	Встановлені потужності на різних електростанціях за базового сценарію розвитку електроенергетики, ГВт	
	2021	2030
ТЕС, ТЕЦ та блок – станції	28	80
ГЕС и ГАЕС	6	11
АЕС (всіх типів)	14	19
ВДЕ (ВЕС, СЕС, Біо-ТЕС та ін.)	8	10
Всього	56	120

Маневрені та резервні потужності необхідні для забезпечення стабільної роботи енергосистеми в періоди «піків» та «провалів» енергоспоживання протягом доби та залежно від пори року. Ці дані нині необхідно враховувати, через те, що добова різниця споживаної електроенергії в щоденному графіку навантаження СЕП України досягає 8000 МВт, а сезонна різниця (зима – літо) становить 5000 МВт.

Найбільш дієвими маневреними потужностями в ОЕС України є турбогенератори (ТГ) блоків ТЕС та гідрогенератори ГЕС (ГАЕС).

2. Технологічні процеси одержання електроенергії на теплових електричних станціях (ТЕС та ТЕЦ)

Приблизно 60 % світової електроенергії виробляється на теплових електростанціях класичного типу. Вони діляться на конденсаційні теплові електростанції (КЕС, найчастіше їх називають ТЕС), які виробляють в основному електроенергію, та теплоелектроцентралі (ТЕЦ), які виробляють електроенергію, а також гарячу воду для забезпечення споживачів та опалення. На ТЕС і ТЕЦ використовують невідновлювальне паливо (вугілля, газ, мазут, торф), переважно вугілля. Найближчим часом «вугільні» технології продовжуватимуть відігравати переважну роль в електроенергетиці, і обсяг інвестицій у цю область збільшуватиметься. Тому основними напрямками наукових досліджень мають бути роботи із забезпечення зниження викидів CO₂. Основне обладнання ТЕС – котел, парогенератор, турбіна, ТГ, насосне обладнання. У котлі при спалюванні палива виділяється теплова енергія, яка передається воді та перетворюється на енергію водяної пари в парогенераторі. Пара з парогенератора надходить на турбіну, де його теплова та кінетична енергія перетворюється на механічну енергію обертання турбіни та ротора ТГ. У турбогенераторі механічна енергія

перетворюється на електричну. Таким чином, процес виробництва електроенергії на ТЕС можна поділити на три цикли:

1) хімічний – процес горіння, внаслідок чого теплова енергія передається воді та парі;

2) механічний – теплова енергія пара перетворюється на механічну енергію обертання турбіни та ротора генератора;

3) електричний – ТГ перетворює механічну енергію на електричну.

Загальний ККД ТЕС визначається добутком ККД (η) цих циклів:

$$\eta_{ТЕС} = \eta_x \cdot \eta_{мех} \cdot \eta_{ел}$$
$$\eta_x \approx \eta_{ел} \approx 90\%$$

ККД механічного циклу визначається циклом Карно:

$$\eta_{мех} = \frac{T_1 - T_2}{T_1} \cdot 100\%$$

де T_1 і T_2 – температура пари на вході та виході парової турбіни. На сучасних ТЕС $T_1 = 550\text{ }^{\circ}\text{C}$ (823 К), $T_2 = 23\text{ }^{\circ}\text{C}$ (296 К).

$$\eta_{мех} = \frac{823 - 296}{823} \cdot 100\% = 64\%.$$

В результаті: $\eta_{ТЕС} \approx 0,9 \cdot 0,9 \cdot 0,64 \cdot 100\% = 0,52 \cdot 100\% = 52\%$.

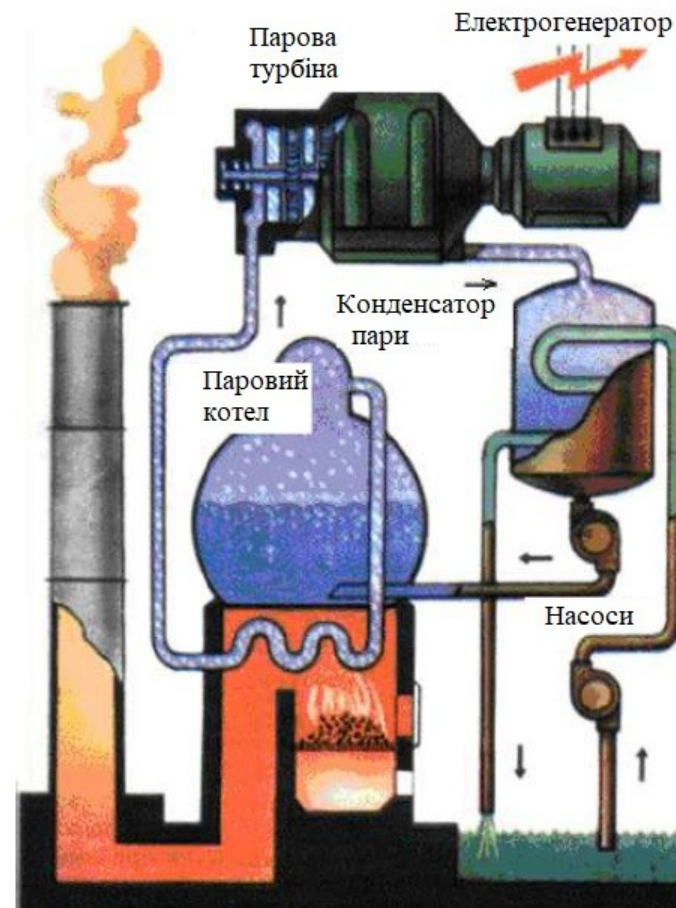
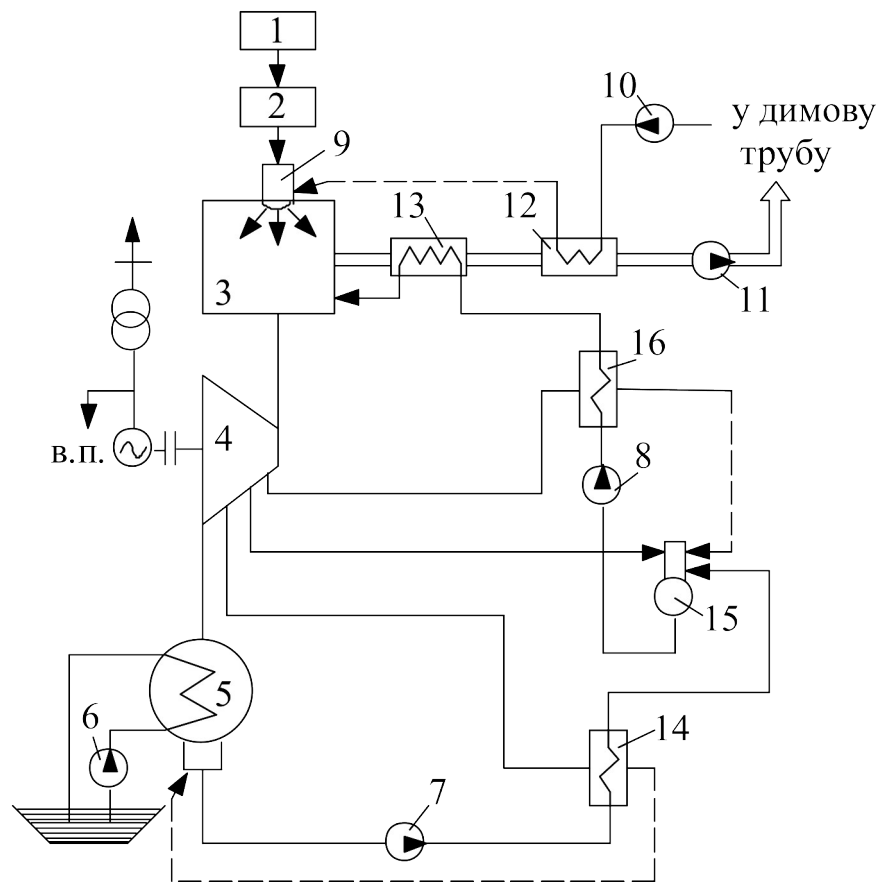


Рисунок 4.1 – Технологічна схема виробництва електроенергії на ТЕС: 1 – склад палива та система паливоподачі, 2 – система підготовки палива, 3 – котел, 4 – турбіна, 5 – конденсатор, 6 – циркуляційний насос, 7 – конденсатний насос, 8 – живильний насос, 9 – пальники котла, 10 – вентилятор, 11 – димосос, 12 – повітропідігрівач, 13 – водяний економайзер, 14 – підігрівач низького тиску, 15 – деаератор, 16 – підігрівач високого тиску

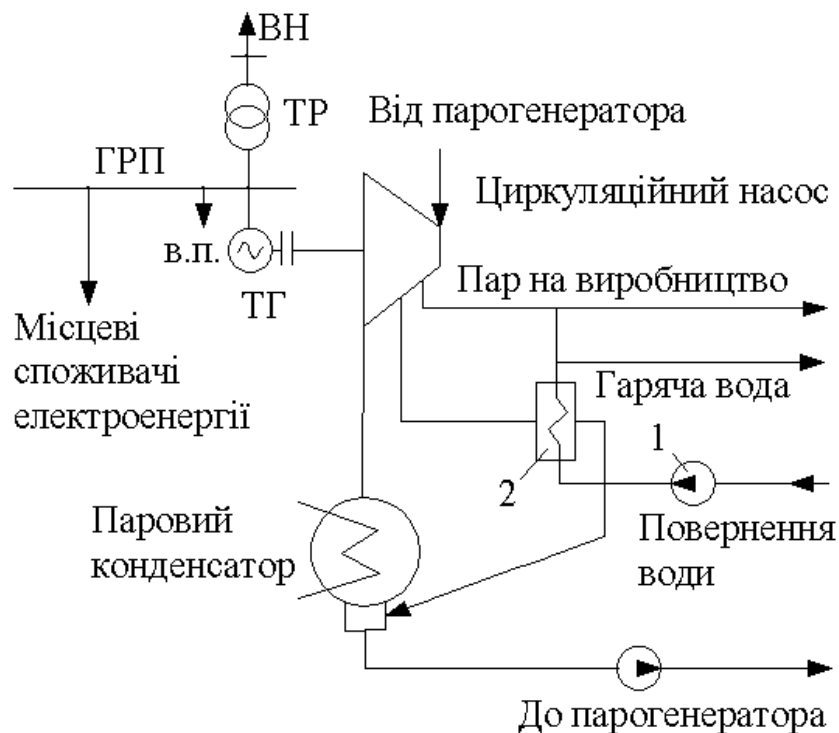


Рисунок 4.2 – Технологічна схема виробництва електроенергії та тепла на ТЕЦ: 1 – мережевий насос; 2 – мережевий підігрівач

У середньому ККД ТЕС дорівнює 50%. Однак в Україні встановлене на ТЕС електрообладнання практично на 100 % відпрацювало паспортний термін експлуатації, і через зношування обладнання ТЕС знизився до 36-38 %. На ТЕЦ завдяки додатковому використанню теплової енергії ККД дещо вищий і дорівнює 60-65 %. На рис. 4.1 представлено схему виробництва електроенергії на ТЕС. Технологічний цикл вироблення електроенергії та тепла на ТЕЦ наведено на рис. 4.2. Особливістю ТЕЦ є досить велика потужність теплового циклу поряд з електричною потужністю, і більша витрата електроенергії на власні потреби, ніж на ТЕС.

3. Технологічний процес отримання електроенергії на ТЕС із газотурбінними установками

На ТЕС із газотурбінними установками (ГТУ) робочим тілом є нагріта суміш газу з повітрям, тобто виключено цикл спалювання палива. Нагріта до температури $750 \div 770$ °С газоповітряна суміш подається на лопатки турбіни, яка обертає ротор генератора. ТЕС з ГТУ більш маневрені, легко пускаються, зупиняються, регулюються, тому можуть бути використані як маневрені потужності для регулювання коефіцієнта потужності ($\cos \varphi$) енергосистеми.

Промислові ГТУ є одними із головних складових паливно-енергетичних комплексів (ПЕК) багатьох країн світу. Сьогодні понад 65 % нових електрогенеруючих потужностей ґрунтуються на використанні ГТУ та газотурбінних ТЕС, що перевершують за багатьма показниками вугільні ТЕС.

Газові турбоагрегати ТЕС мають високий ККД та експлуатаційну надійність. Вони виробляються в усьому світі, забезпечені сервісним обслуговуванням, застосовуються у широкому діапазоні потужностей, використовуються як для номінальних навантажень, так і покриття пікових.

Для сучасних ГТУ вартість 1 кВт встановленої потужності становить 400 – 700 дол.; для парогазових – близько 1000 дол. (Вартість 1 кВт встановленої потужності на ТЕС вже перевищила 1200 дол.). Але потужність ГТУ та газотурбінних ТЕС у 5 – 8 разів менша за встановлену потужність парових ТЕС та ТЕЦ.

4. Технологічний процес отримання електроенергії на енергетичних установках малої потужності блочно-модульного виконання

До перспективних технологій вироблення теплової та електричної енергії слід віднести енергію, отриману шляхом використання незатребуваних промислових відходів (газів). На гірничо-металургійних підприємствах для генераторних установок блочно-модульного виконання (БМВ), скомпонованих за схемою «турбіна – редуктор – генератор», як паливо використовують суміш доменного та конвертерного газів (калорійність суміші регулюють коксовим газом), а також незатребувана пара від котлів-утилізаторів та систем охолодження основного металургійного обладнання. Такі джерела зазвичай не підключені до загальнопромислової мережі, а використовуються забезпечення автономних споживачів.

Як показав досвід європейських країн, для забезпечення електроенергією малих та середніх промислових підприємств перспективне використання енергетичних установок малої потужності БМВ (0,5 – 30,0 МВт), випуск яких налагоджений у різних європейських фірмах: у *G-Team a.s.* (Чехія), *Capstone Turbine Corporation* (США), *JFE Engineering Corporation* (Німеччина), *Turbec* (Італія), *Dresser Rand* (Франція), *OPRA Technologies* (Нідерланди).

До недоліків енергетичних установок БМВ слід віднести порівняно низький ККД, непостійне значення частоти і напруги електроенергії, що виробляється, несинусоїдальність струму. Але енергетичні установки БМВ мають і низку переваг, які дозволяють вважати їх застосування перспективним:

- використовуються незатребувані ресурси: відходи палива, пари, промислові гази, відновлювані ресурси з низьким рівнем собівартості;

- застосування енергетичних установок БМВ має позитивний вплив на екологію: вони в якості палива використовують гази (CO , CO_2 , SO_2 , NO_x) і пар, що виділяються в процесі металургійного виробництва, і виключають їх викиди в повітряний і водний басейни. Також немає потреби у зведенні гребель, як для ГЕС чи ГАЕС, і, відповідно, у затопленні територій;

- енергетичні установки БМВ розміщують у безпосередній близькості до джерела палива (газу);
- застосування малих енергетичних установок БМВ збільшує кількість робочих місць, знижує рівень безробіття.

В Україні нині енергетичні установки БМВ не випускають, тому що немає технічної бази для їх виготовлення, але вони вже використовуються.

5. Технологічний процес отримання електроенергії на міні-ТЕЦ (міні-ТЕС)

Основне призначення міні-ТЕЦ – забезпечення електрикою, теплом та гарячою водою невеликих промислових об'єктів та населення. Залежно від виду палива на міні-ТЕЦ встановлюють газопоршнєві, паротурбінні та парогазові установки потужністю від 200 кВт до 850 МВт. До переваг міні-ТЕЦ слід віднести максимальне наближення до споживачів та можливість використання найрізноманітнішого палива: газ, мазут, вугілля, деревна тріска та відходи, торф, лушпиння соняшника, багаття льону, тверді побутові відходи, відходи промислового птахівництва, тощо.

Міні-ТЕЦ складається з двох основних відділень: паросиловий цех та турбогенераторний цех. На рис. 4.3 представлено схему розташування обладнання на міні-ТЕЦ потужністю 6 МВт.

Паросиловий цех включає будівлю котельні, де встановлені парові або термомасляні котли з топкою на різне паливо, із шуруючою планкою та вихровою системою допалу (система вторинного дуття), а також встановлено допоміжне обладнання для вироблення стабільної пари.

Паливний бункер зазвичай розміщують за межами основної будівлі, що дозволяє здійснювати завантаження палива зі складу навантажувачем, грейдером або транспортерами.

Бункер виготовлений з металу, подавальним пристроєм є рухоме дно, яке здійснює зворотно-поступальний рух за допомогою гідроциліндрів та автоматики паливоподачі. Димові труби міні-ТЕЦ проектується на підставі затвердженого замовником технічного завдання (ТЗ).

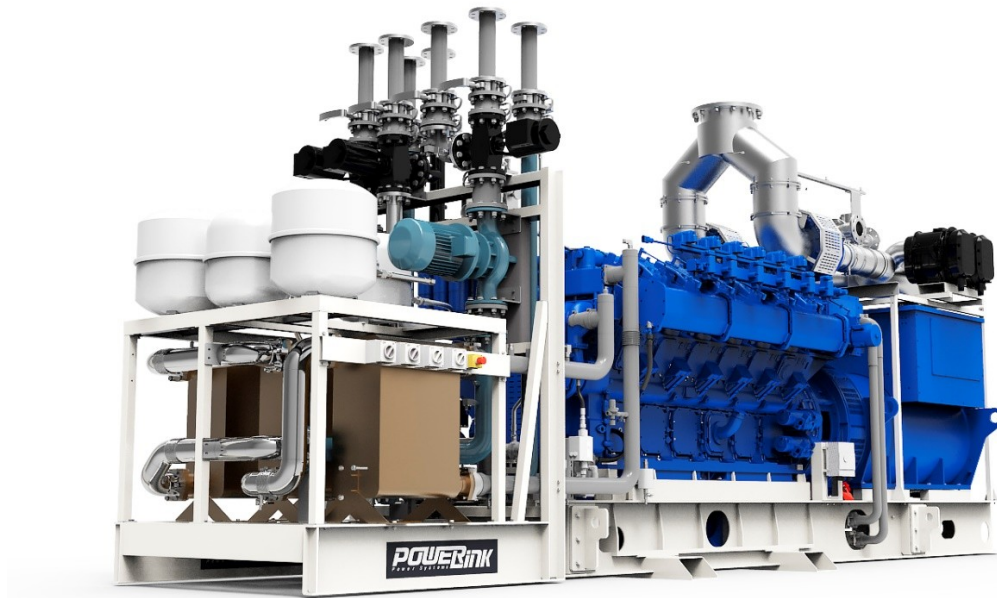
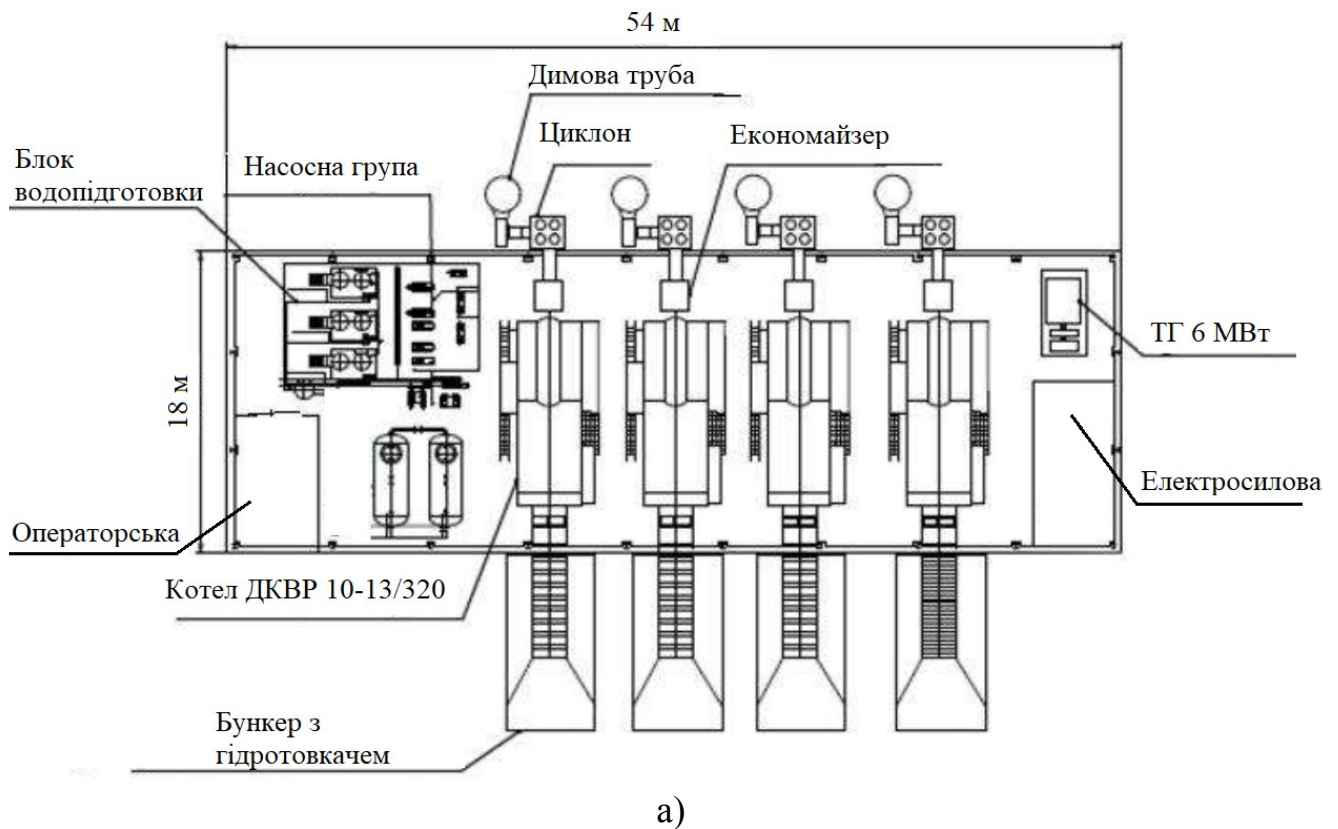


Рисунок 4.3 – Схема розташування обладнання на міні-ТЕЦ (а) та загальний вид блоку міні-ТЕЦ (б)

Турбогенераторний цех знаходиться в тій же будівлі, що й паросиловий цех, він включає парову турбину, ТГ, електросилову частину, трансформатори, системи автоматики та захисту, а також дизель-генератор, який використовується для запуску міні-ТЕЦ.

До переваг міні-ТЕЦ, крім зазначених вище, належить:

– незалежність від постачальників вуглеводневого палива;

- мінімальні розміри енергетичних агрегатів, повна автоматизація та зручна експлуатація, можливість швидкого будівництва та монтажу, що значно знижує суму інвестиційних витрат;
- термін служби та експлуатаційна надійність багатопаливної міні-ТЕЦ досягає 25 – 30 років;
- досить високий ККД енергетичних агрегатів, що визначається забезпеченням ефективного спалювання палива навіть низької якості;
- безпека експлуатації;
- у комплектації передбачається досить великі склади або накопичувальні паливні бункери, які розраховуються залежно від номінальної потужності котельні/ТЕЦ. Такі запаси забезпечують стійку роботу міні-ТЕЦ.

Міні-ТЕЦ набувають все більшого поширення в багатьох областях України. Так, у Харківській області знайшли спосіб, як відмовитися від дорогого газу для опалення та електропостачання населення, замінивши його на відходи сільгоспвиробництва, які використовують як паливо на встановленій міні-ТЕЦ. Починаючи з 2017 року, в Україні ведуться роботи з будівництва десяти міні-ТЕЦ, паливом для яких буде солома, тріска, стебла та лушпиння соняшника, рис. 4.4.



Рисунок 4.4 – Завантаження бункера міні-ТЕЦ соломою

Міні-ТЕЦ актуальні для районів, які мають великі обсяги побутових відходів, відходів сільськогосподарської та лісової промисловості. До того ж вони не лише забезпечують промисловість та населення тепловою та електричною енергією, а й створюють нові робочі місця.

6. Технологічний процес отримання електроенергії на атомних електростанціях

Перший ядерний реактор був побудований і запущений у грудні 1942 року у США під керівництвом Е. Фермі. Першим реактором, збудованим за межами США, став ZEEP, запущений у Канаді 05.09.1945 р.

Основними питаннями при проектуванні енергетичних реакторів для АЕС були:

- вибір типу реактора (на швидких або на повільних нейтронах);
- вибір виду сповільнювача нейтронів (графіт, «важка» або вода, що вміщує бор);
- вибір теплоносія (вода, газ, рідкий метал) та його характеристики (температура та тиск), заходи щодо збільшення ККД;
- забезпечення безпеки персоналу.

Вже на першій АЕС використовували пристрої автоматичного та ручного дистанційного керування, що регулювали стрижні для аварійної зупинки реактора, були створені пристосування для заміни тепловиділяючих елементів (ТВЕЛ).

Ядерна реакція починається при досягненні критичної маси речовини, що ділиться (урану), яка в процесі роботи реактора «вигоряє». Тому потрібно було розрахувати запас палива, який забезпечить роботу реактора протягом заданого часу. Регулювання реакції виконувалось графітовими стрижнями, що поглинали надлишкові нейтрони. Для підтримки потужності реактора, у міру вигорання палива, регулюючі стрижні дещо висувались з активної зони і встановлювалися в такому положенні, щоб реактор знаходився на межі ланцюгової реакції, але так, щоб активний поділ ядер урану тривав, а процес залишався керованим. Також було передбачено стрижні аварійного захисту, повне введення яких у активну зону миттєво гасило ланцюгову реакцію.

Атомна енергетика України починає свою історію з 1977 року, коли на Чорнобильській АЕС (ЧАЕС) було здійснено пуск першого блоку з одноконтурним реактором РВПК-1000, рис. 4.5 (потужністю 1000 МВт).

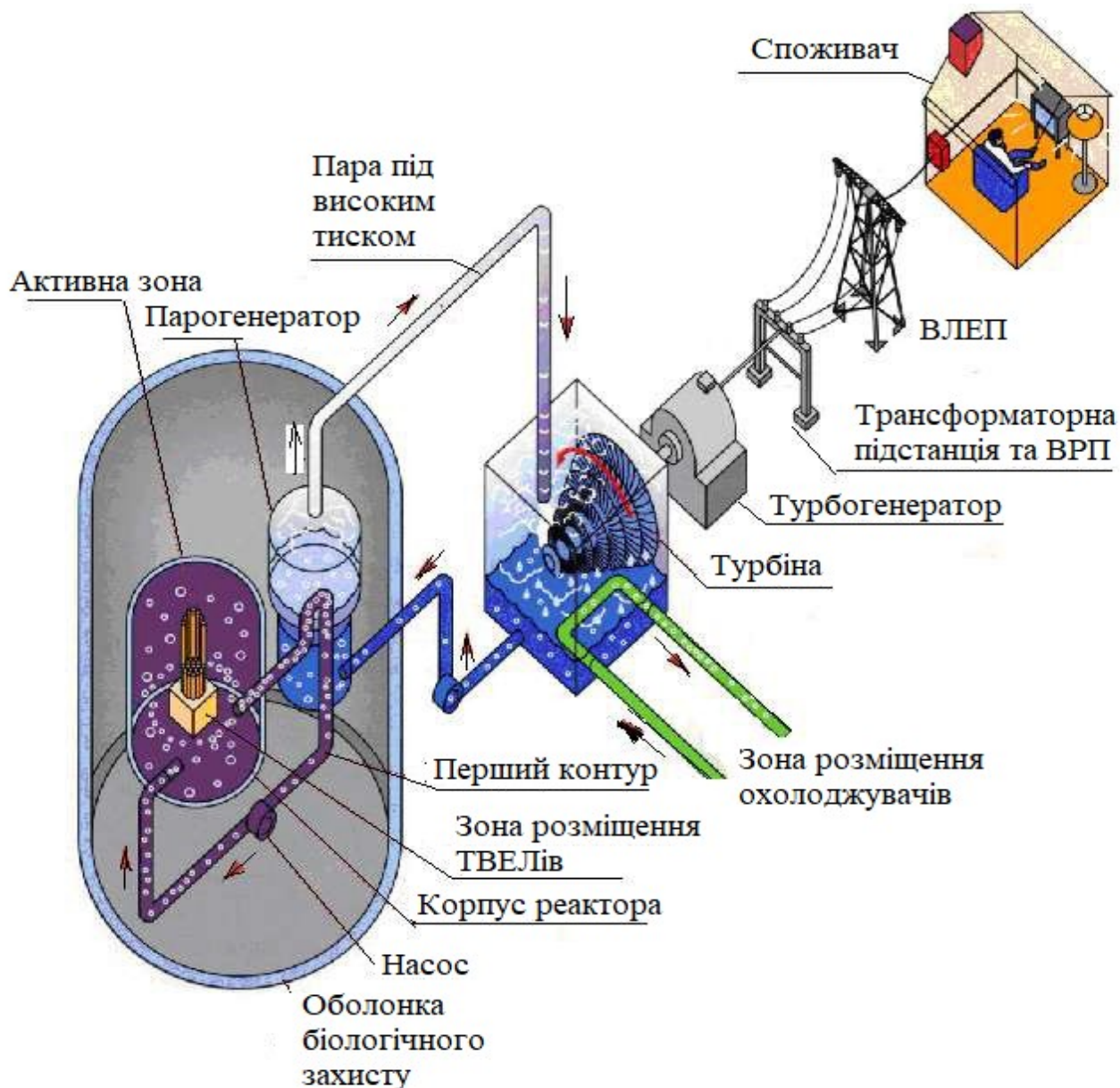


Рисунок 4.5 – Блок АЕС з одноконтурним реактором РВПК-1000

До 90-х років ХХ століття в Україні вже було п'ять АЕС, на яких працювали 19 енергоблоків, і 5 енергоблоків перебували на стадії будівництва. Після аварії на 4-му блоці ЧАЕС Верховна Рада України ухвалила Постанову «Про мораторій на будівництво нових АЕС на території УРСР» (02.08.1990 р.). Було зупинено пускові роботи на 6-му блоці Запорізької АЕС (ЗАЕС), на Рівненській АЕС (РАЕС) та Хмельницькій АЕС (ХАЕС) було припинено будівництво ще чотирьох блоків ВВЕР-1000, два з яких були на високому ступені готовності. Було ухвалено рішення до 2000 р. повністю закрити ЧАЕС. Однак при спалюванні 1 кг кам'яного вугілля можна отримати 8 кВт·год електроенергії, а при витраті 1 кг ядерного палива – 23 млн кВт·год електроенергії. Тому виведення з експлуатації ЧАЕС та відмова від будівництва нових блоків (з перспективною оцінкою зростання енергоспоживання в країні) призвело б до необхідності додатковог щорічної закупівлі Україною 4,7 млн тон вугілля для ТЕС та ТЕЦ, табл. 4.2, що також негативно позначилося б на екології. Такі витрати (виведення з експлуатації

ЧАЕС та перспективні втрати від недобудованих блоків на інших АЕС) для України були неможливими.

Таблиця 4.2 – Порівняння роботи ТЕС та АЕС потужністю 1000 МВт при їх роботі протягом року

Параметри	ТЕС	АЕС
Потреба у паливі	3,5 млн. т вугілля	1,5 т збагаченого урану (або 1 тис. т уранової руди)
Виділення CO ₂	10 млн. м ³	Не виділяє
Виділення сірки та інших компонентів кислотних дощів	Понад 400 тис. т	Не виділяє
Тверді відходи	100 тис. т золи	Близько 2 т (радіоактивні!)

Тому вже через три роки, 1993 р., Верховна Рада України скасувала мораторій на будівництво блоків АЕС. Було продовжено роботи з пуску 6-го блоку Запорізької АЕС (ЗАЕС), 4-го блоку Рівненської АЕС (РАЕС) та 2-го блоку Хмельницької АЕС (ХАЕС) відповідно до програм пускових робіт.

У світовій енергетиці розрізняють кілька типів електростанцій на ядерному паливі: АЕС (атомні електростанції, що відпускають споживачам електроенергію), АТЕЦ (атомні теплоелектроцентралі – атомні станції, що відпускають споживачам не тільки електроенергію, а й тепло), АСТ (атомні станції теплопостачання для гарячого водопостачання), АСПТ (атомні станції промислового теплопостачання використовують для постачання промислових підприємств технологічною парою). В Україні працюють лише АЕС, які забезпечують розташовані поряд житлові масиви не лише електроенергією, а й залишковим теплом. У табл. 4.3 наведено дані про встановлені на даний час 15 двоконтурних блоків АЕС на території України.

У світі активне будівництво АЕС розпочалося з 70-х років ХХ ст. До 1975 року загальна встановлена потужність ТГ на АЕС становила 76 ГВт, 1985 р. – 248,6 ГВт, 2000 р. – 505 ГВт. До 2017 року у 32 країнах світу працювало 193 АЕС із 454 енергоблоками загальною потужністю близько 391,8 ГВт. Найпотужніший у світі енергоблок працює на АЕС Сіво (Франція) потужністю 1561 МВт: блоки №1 (1997 р.) та №2 (1999 р.), реактори типу ВВЕР. 29.06.2018 р. було запущено перший енергоблок АЕС Тайшань (Китай) потужністю 1750 МВт.

Таблиця 1.3 – Енергоблоки атомних станцій України з реакторами типу ВВЕР

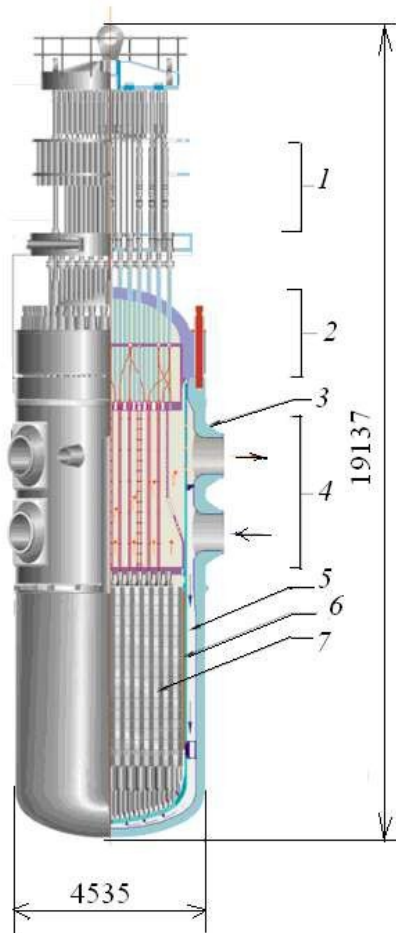
Найменування	№ блоку	Потужність генератора, МВт	Початок будівництва	Дата запуску блоку
Запорізька АЕС	1	1000	04.1980	10.12.1984
	2	1000	04.1981	22.07.1985
	3	1000	04.1982	10.12.1986
	4	1000	01.1984	18.12.1987
	5	1000	07.1985	14.08.1989
	6	1000	06.1986	19.10.1995
Південно-Українська АЕС	1	1000	03.1977	31.12.1982
	2	1000	10.1979	06.01.1985
	3	1000	02.1985	20.09.1989
Рівненська АЕС	1	440	08.1976	22.12.1980
	2	440	10.1977	22.12.1981
	3	1000	02.1981	21.12.1986
	4	1000	10.1993	10.10.2004
Хмельницька АЕС	1	1000	11.1981	22.12.1987
	2	1000	10.1993	08.08.2004

Найбільша у світі АЕС – АЕС Касівадзакі-Каріва (Японія) має 7 блоків із киплячим водо-водяним одноконтурним реактором ВВР (РВПК) загальною потужністю 8212 МВт, пуск яких виконувався з 1985 – 1996 роки.

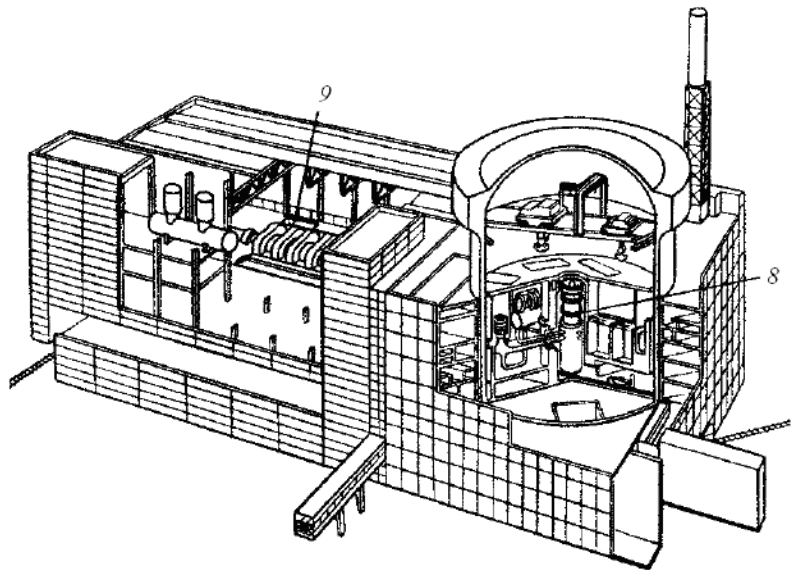
22.12.2018 р. до мережі було підключено 4-й енергоблок Тянь-Ваньської АЕС (Китай), та встановлена потужність усіх діючих промислових ядерних реакторів перевищила 500 ГВт. У світі 54 енергоблоки перебувають у стадії будівництва, 169 вже закрито. Водночас на АЕС зупиняють старі, малопотужні блоки. Так, у грудні 2018 р. президент Франції Е. Макрон заявив, що до 2035 року Франція закrije 14 промислових ядерних реакторів (із 58 діючих) сумарною потужністю 900 МВт. Темпи розвитку ядерної енергетики визначаються конкретними умовами та запасами органічного палива. У країнах, забезпечених органічним паливом, спочатку нарощування потужностей АЕС йшло повільнішими темпами, але в міру вдосконалення АЕС та підвищення їх економічності швидкість будівництва зростала. 50-річний досвід експлуатації АЕС у світі показав, що вони можуть бути економічними (у середньому електроенергія, що виробляється на АЕС, у 2 рази дешевша, ніж «вугільних» ТЕС), і, як не дивно, АЕС екологічно чистіша.

Таблиця 4.4 – Дані про деякі аварії на АЕС світу

Місце аварії	Киштим, Південний Урал Рейтинг: 6 (серйозна аварія)	Віндскейл, Англія Рейтинг: 5 (аварія з ризиком для довкілля)	Три Майл Айленд, Пенсільванія, США Рейтинг: 5 (аварія з ризиком для	Чорнобиль, СРСР Рейтинг: 7 (велика аварія)	Фукусіма-1, Японія. Рейтинг: 7 (велика аварія)
Дата	1957	1957	28.03.79	26.04.86	30.09.1999
Причина	Вибух сховища	Горіння графіту	Розплавлення активної зони	Розвантаження реактора	Землетрус, цунамі, помилка проекту - розплавлення активної зони реактора на енергоблоках 1-3
Викиди радіонуклідів (радіоактивність)	20, у т.ч. 54 <i>Ki</i> від стронцію	30, у т.ч. 20 <i>Ki</i> від стронцію	20 <i>Ki</i> від йоду -131	1000 <i>Ki</i> , у т.ч. ~150 <i>Ki</i> від йоду-131	йод -131 - $1,5 \cdot 10^{17}$ Бк, цезій-137 - $1,2 \cdot 10^{16}$ Бк
Площа забруднення, км ²	15000	500	1000	20000	Вся територія країни та морські акваторії
Евакуйовано, тис. чол	1,0	Даних немає	Даних немає	1200	Даних немає, Зона відчуження 30 км
Загиблих, тис. чол.	Даних немає	Даних немає	Даних немає	3-4	Понад 10 тис. Інформація не повна
Захворілих, тис. чол.	Даних немає	Даних немає	Даних немає	200	Даних немає



а)



б)



в)



г)

Рисунок 4.6 – Активна зона АЕС: а – реактор ВВЕР-1000 (розміри мм); б – Загальний вигляд головного корпусу АЕС із реактором ВВЕР-1000; в - ТВЗ, завантажена ТВЕЛ; г – кришка реактора: 1 – приводи системи управління та захисту; 2 – кришка реактора; 3 – корпус реактора; 4 – блок захисних труб, вхідні та вихідні патрубки; 5 – шахта; 6 – вигородка активної зони; 7 – ТВЗ та регулюючі стрижні; 8 – реактор; 9 – турбогенератор

Але цей же досвід свідчить, що при порушенні правил експлуатації станцій можливий витік радіоактивних речовин, як це було в США (АЕС Three Mile Island), ФРН, Великобританії, в Україні (Чорнобильська АЕС), в Японії (Фукусіма -1), табл. 4.4.

Від ТЕС АЕС відрізняється тим, що котел замінено ядерним реактором, у якому енергія поділу ядер передається воді першого контуру, тобто ядерна реакція є джерелом первинної теплової енергії. У парогенераторі тепла енергія перетворюється на кінетичну енергію пари, яка потім перетворюється на механічну енергію обертання турбіни та ротора ТГ.

Двоконтурний ядерний реактор – вертикальний циліндр з еліптичним днищем, усередині якого знаходиться активна зона (тепловиділяючі збірки (ТВЗ)) і внутрішньокорпусні пристрої, рис. 4.6. Зверху реактор закритий герметичною кришкою, на якій розташовуються електромагнітні приводи механізмів органів регулювання та захисту реактора, а також патрубки для виведення кабелів датчиків внутрішньореакторного контролю. У верхній частині корпусу розташовано вісім патрубків у два ряди для підведення та відведення теплоносія, по два на кожну з 4-х петель: чотири патрубки для аварійного підведення теплоносія у разі розгерметизації першого контуру та один патрубок для контрольно-вимірювальних приладів (КВП). Вода 1-го контуру після передачі тепла 2-му контуру повертається в реактор через нижній ряд напірних патрубків.

Суцільна кільцева перегородка між рядами нижніх та верхніх патрубків відокремлює корпус реактора від внутрішньокорпусної шахти та формує рух потоку теплоносія вниз. Вода проходить вниз кільцевим зазором, потім через перфороване еліптичне днище і опорні труби шахти входить в активну зону, де розташовані ТВЕЛі, зібрані в ТВЗ. Збірки опускають в активну зону. Конструктивно ТВЗ – довгі шестигранники (близько 4,0 м), у яких зібрані 16 ТВЕЛів, де в герметичних цирконієвих трубках знаходяться таблетки із спресованого оксиду урану, рис. 4.7, а. Зазвичай до складу ТВЗ, крім трубок урану, входить трубка з гадолінієм, який уловлює уламки радіоактивних елементів, що виявилися при розподілі урану, і продовжує час експлуатації ТВЕЛів, рис. 4.7,б.

АЕС може бути одно- і двоконтурна (кількість контурів в реакторі):

1) в одноконтурних реакторах теплоносії (вода) від реактора відразу йде в парогенератор, де перетворюється на пару, яка йде на турбіну. Так влаштовано реактори РВПК, які були встановлені на блоках Чорнобильської АЕС (ЧАЕС) та на Фукусімі-1.



а)



б)

Рисунок 4.7 – Елементи реакторної зони: а – неактивовані «пігулки» із спресованого оксиду урану; б – чохол, який накриває ТВЗ перед завантаженням у реактор (видні головки ТВЕЛів, у центрі – трубка з гадолінієм)

2) у двоконтурних реакторах (тип ВВЕР) теплоносій 1-го контуру отримує тепло в активній зоні реактора і в теплообміннику віддає його теплоносію 2-го контуру. У парогенераторі нагріта вода другого контура перетворюється на пару і надходить на турбіну. Технологічні схеми енергоблоків АЕС з одно- та двоконтурним реактором представлено на рис. 4.8.

Реактор монтують у сталевому корпусі, розрахованому на високий тиск (до $1,6 \cdot 10^7$ Па або 160 атмосфер). Перший, радіоактивний, контур реактора ВВЕР складається з реактора та чотирьох циркуляційних петель охолодження. За 1-м контуром циркулює теплоносій – некипляча вода під тиском близько 16 МПа з додаванням розчину борної кислоти (сильного поглинача нейтронів) для регулювання потужності реактора. Теплоносій надходить у реактор з температурою близько $+289$ °С та нагрівається в ньому до $+322$ °С.

Потім по 4-м циркуляційним петлям направляється в парогенератор («гарячі» нитки), де передає своє тепло теплоносія 2-го контуру. З парогенераторів вода головними циркуляційними насосами (ГЦН) повертається в реактор (холодні нитки). Для підтримки тиску та компенсації змін об'єму теплоносія при його розігріві або розхолодженні використовується компенсатор тиску (компенсатор об'єму), з'єднаний з однією з гарячих ниток. Кипляча вода 2-го контуру перетворюється на насичену пару з температурою 280 °С і тиском 6,4 МПа, який через збірні паропроводи надходить у турбіну. Другий контур, нерадіоактивний, включає парогенераторну, водоживильну установки і один турбоагрегат. Для управління процесами та захисту ядерного реактора використовують регулюючі стрижні (заповнені, в основному, карбідом бору), які переміщують по висоті активної зони. При глибокому запровадженні стрижнів ланцюгова реакція зупиняється. Переміщення стрижнів здійснюється дистанційно, з пульта керування. При невеликому переміщенні стрижнів ланцюгова реакція розвивається чи згасає. Так регулюється потужність реактора.

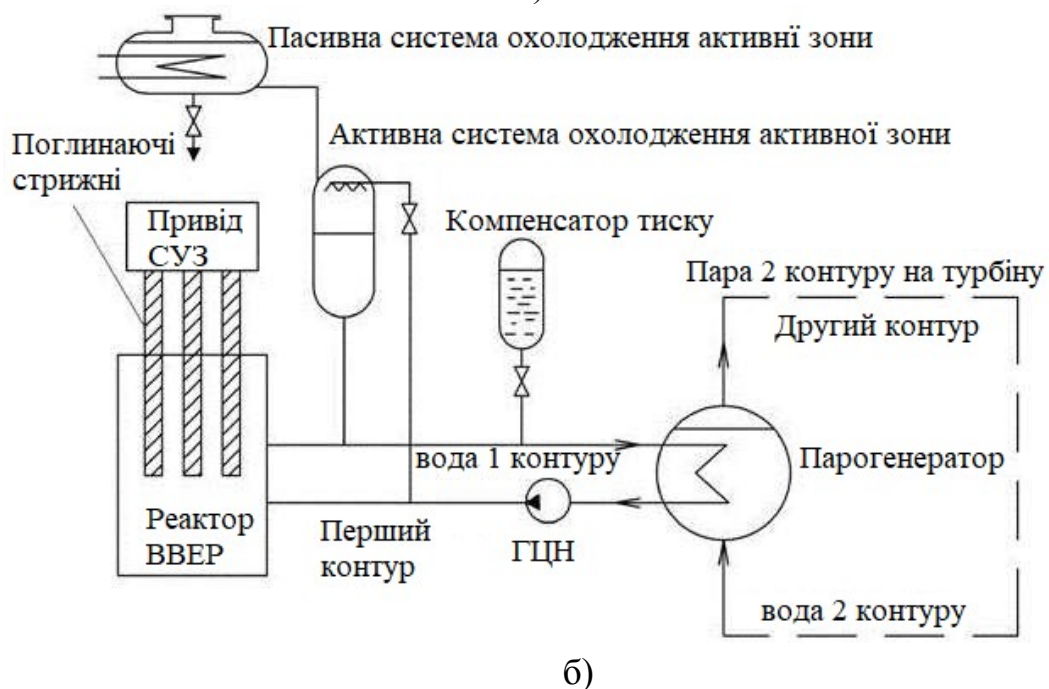
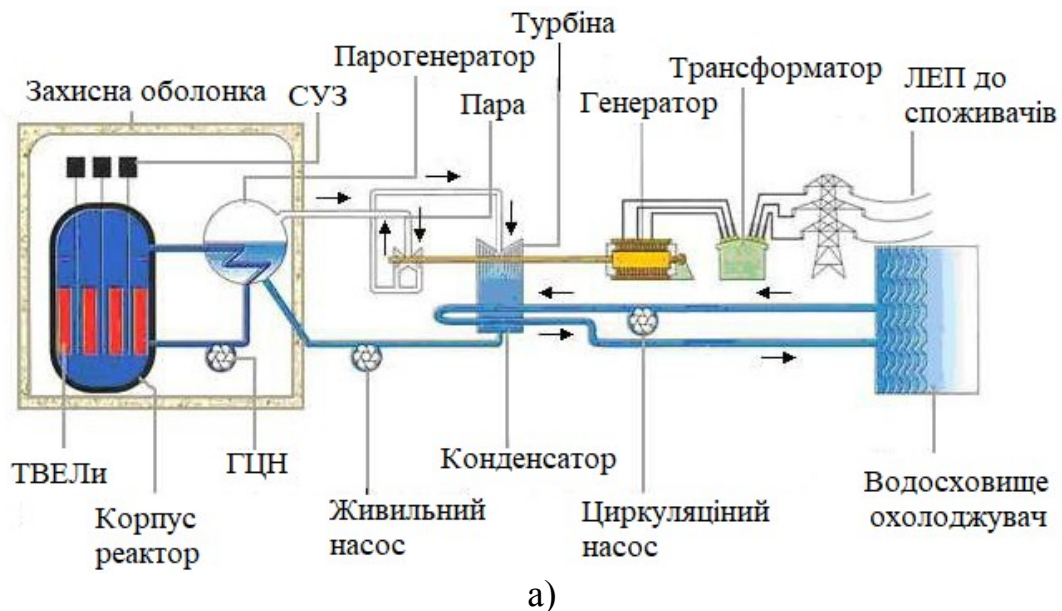


Рисунок 4.8 – Технологічна схема: а – одноконтурного енергоблока; б – двоконтурного енергоблока АЕС; СУЗ – система управління та захисту реактора; САОЗ – система аварійного охолодження зони реактора

Ефективність використання ядерного палива на АЕС з реакторами на теплових нейтронах характеризується величиною середньорічного енерговироблення на 1 т (або на 1 кг) завантаженого та відпрацьованого в реакторі палива та середньою глибиною його вигорання (МВт·доб/т). У реактор АЕС завантажують 163 ТВЗ із слабозбагаченим ураном U-235, у кожній ТВЗ встановлено 312 ТВЕЛів. Вага палива однієї ТВЗ – 571 кг. Загальна вага завантаження ядерного палива до реактора – близько 93 тонн.

У технологічному циклі будь-якої АЕС передбачено систему охолодження відпрацьованого теплоносія (води), щоб довести температуру теплоносія до значення, необхідного для повторного циклу. Якщо поблизу електростанції є населений пункт, то тепло відпрацьованого теплоносія використовується для

опалення будинків і гарячого водопостачання, а якщо ні або скидання недостатнє, то зайве тепло скидається в атмосферу в градирнях, басейнах-охолоджувачах, в каналах з трубами - бризками, рис. 4.9.

Однією з основних проблем АЕС у світі є питання зберігання відпрацьованого ядерного палива (ВЯП), створення постійних, довгострокових сховищ. Вони повинні повністю забезпечувати зберігання ВЯП на кілька тисяч років. Тільки протягом цього часу паливо втратить свою залишкову радіоактивність. В даний час жодна держава у світі не має повноцінного постійного сховища, хоча робота над їх створенням ведеться безперервно.

З 1991 р. розпочалися пошуки нових способів зберігання ВЯП для всіх АЕС України, і насамперед для найбільшої АЕС України – ЗАЕС. За прогнозами фахівців, на цій станції через дефіцит вільних комірок у басейнах первинної витримки вже до 1998 року довелося б зупинити всі блоки та залишити без електроенергії половину підприємств та населення України. За погодженням з Держкоматомом України, ЗАЕС оголосила міжнародний конкурс на найкращий проект сховища для ВЯП.

Після ретельного аналізу було обрано проект, заснований на технології сухого вентильованого контейнерного зберігання, запропонований компаніями Sierra NewClear Corporation і Duke Engineering and Services (DE&S). Технологія фірми DE&S була визнана найбільш екологічно безпечною, практичною, ефективною, рентабельною і найбільш відповідною специфічним потребам ЗАЕС. Проект фірми DE&S був ліцензований у наглядових органах США та на момент вибору для ЗАЕС був уже реалізований на двох АЕС США. При виборі враховували можливість виготовлення контейнерів для сухого зберігання відпрацьованого ядерного палива (СЗВЯП) на підприємствах України з вітчизняних матеріалів (наприклад, у м. Енергодар). Тип сховища було затверджено рішенням Науково-технічної Ради Держкоматому 12.01.1995 р.



а)



б)



в)

Рисунок 4.9 – Системи охолодження відпрацьованого теплоносія (води) на АЕС: а – градирні Рівненської АЕС; б – промисловий майданчик ЗАЕС із басейнами-охолоджувачами; в – бризкальний басейн Хмельницької АЕС

У вибраному варіанті (СЗВЯП) використовується технологія зберігання ТВЗ у вертикальному положенні у вентильованих бетонних контейнерах. Контейнери забезпечують сухе, герметичне та безпечне зберігання ТВЗ. Кожен контейнер СЗВЯП розрахований на безпечне зберігання 380 ТВЗ (9000 ТВЕЛ) з вододіючих реакторних установок ВВЕР-1000. Система є пасивною і після встановлення бетонних контейнерів на майданчик зберігання не вимагає значного технічного обслуговування, крім контролю вмісту гелію (He) поблизу контейнерів СЗВЯП: об'єм контейнерів перед остаточним заварюванням кришки заповнюють газоподібним гелієм для контролю його герметичності. Термін функціонування контейнера СЗВЯП дорівнює 30 рокам, потім необхідне перевантаження в новий контейнер.

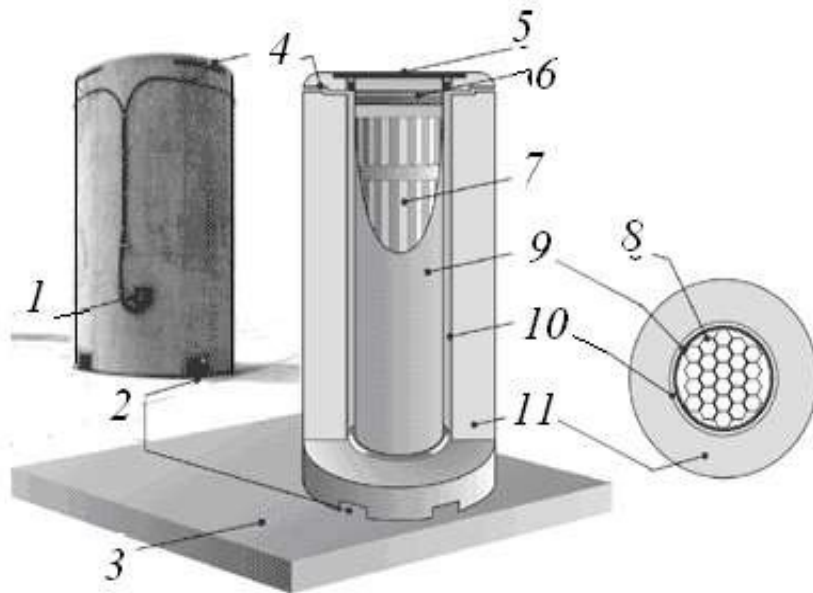
СЗВЯП складається з трьох основних частин, рис. 4.10, а: вентильованого бетонного контейнера, кошика зберігання, перевантажувального контейнера. Вентильований бетонний контейнер СЗВЯП призначений для довгострокового проміжного зберігання кошиків з ВЯП, забезпечуючи їх охолодження та необхідний біологічний захист. Охолодження здійснюється власною циркуляцією

повітря навколо сталевих стінок кошика, що проходить по циліндричному зазорі між зовнішньою поверхнею корзини та внутрішньою поверхнею бетонного контейнера. Вентильовані бетонні контейнери СЗВЯП переміщують спеціальними транспортерами на бетонний майданчик, розташований у межах території АЕС, рис. 4.10 б.

Кошик зберігання – герметично закрита ємність, розрахована для розміщення 24 ТВЗ з реактора ВВЕР-1000 у перевантажувальному контейнері СЗВЯП. Перевантажувальний контейнер – це ємність, призначена для тимчасового розміщення та транспортування завантаженого кошика від басейну витримки до контейнера СЗВЯП. Основне призначення перевантажувального контейнера – забезпечити захист персоналу АЕС від радіаційного впливу під час виконання транспортно-технологічних операцій із кошиком. Контейнер виготовляється із зварених металевих конструкцій та бетону. У табл. 4.5 наведено конструкційні параметри перевантажувального контейнера СЗВЯП.

Для забезпечення зберігання ВЯП використовують обладнання, майданчики та системи АЕС: ремонтні майстерні; обладнання зони зберігання та транспортування; системи дезактивації, електропостачання та зв'язку, вентиляції та кондиціювання; система пожежогасіння. На рис. 4.11 подано план розміщення будівель та обладнання ЗАЕС. Однак сухе зберігання було запроваджено не на всіх АЕС України, а лише на ЗАЕС.

На СЗВЯП-2 зберігання ВЯП буде здійснюватись за технологією сухого модульного зберігання, при якому паливо буде зберігатись у герметичних кошиках, заповнених інертним газом. Фахівці вважають, що довго зберігати ВЯП краще не у водному середовищі, а у газовому. Кошки будуть розміщені в бетонних модулях, конструкція модуля служить радіаційним захистом, а також запобігає пошкодженню металевого кошика. З майданчика АЕС у спеціальному герметичному вагоні-контейнері відпрацьоване паливо переміщують у бетонні модулі зберігання, рис. 4.12.



а)



б)



в)

Рисунок 4.10 – Контейнер СЗВЯП та його транспортування: а - конструкція контейнера СЗВЯП; б, в – транспортування контейнера СЗВЯП: 1 – датчик температурного контролю; 2 – вхід повітря та напрямні для транспортування; 3 – бетонний майданчик зберігання; 4 – вихід повітря; 5 – кришка бетонного контейнера; 6 – силова та захисна кришки кошика; 7 – блок із 24-х напрямних трубок для ТВЗ; 8 – спрямовуюча трубка; 9 – корпус багатомісного кошика зберігання; 10 – обичайка; 11 – бетонний контейнер, що вентиліюється.

Таблиця 4.5 – Параметри перевантажувального контейнера СЗВЯП

Елемент	Параметр	Розміри, мм
Бетонна оболонка	Зовнішній діаметр	3378
	Внутрішній діаметр	2007
	Товщина	686
	Висота	5809
	Матеріал	бетон із портланд-цементу
Облицювання	Зовнішній діаметр	2007
	Внутрішній діаметр	1854
	Товщина	76
	Висота	5200
	Матеріал	сталь вуглецева А36
Кришка	Діаметр	2184,4
	Товщина	57

Перевантаження ТВЗ із басейну первинної витримки реакторної зони у вагон-контейнер здійснюють за допомогою спеціального пристрою, який дозволяє перевести контейнер у вертикальне положення, завантажити вміст із гарячої камери, повернути в горизонтальне положення та перевезти на місце зберігання.

Прийнята для СЗВЯП–2 технологія передбачає використання двостінного сухого екранованого пенала (ДСЕП), рис. 4.13. Його конструкція забезпечує тривале зберігання за рахунок ізоляції від навколишнього середовища. Відповідно, радіаційний вплив на довкілля при нормальному зберіганні в бетонних модулях буде відсутній.

Один ДСЕП вміщує 93 відпрацьованих ТВЗ.

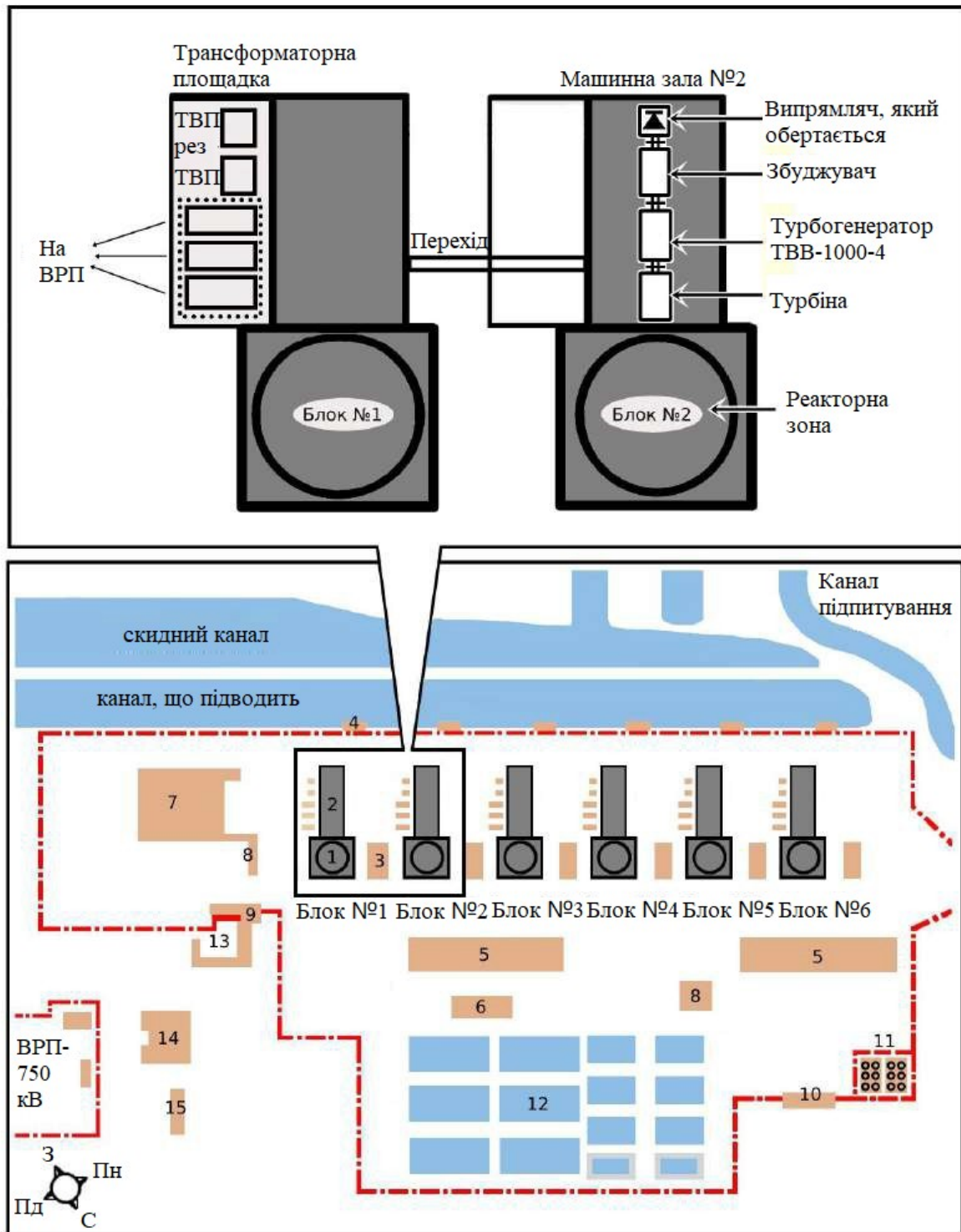


Рисунок 4.11 – План розміщення будівель та обладнання ЗАЕС: 1. Реакторне відділення; 2. Турбінне відділення; 3. Дизель-генератор; 4. Блокова насосна станція; 5. Спецкорпуси 1 та 2; 6. Сховище твердих відходів; 7. Допоміжний корпус; 8. Лабораторно-побутові корпуси; 9. Адміністративний корпус; 10. Контрольно-пропускний пункт 2; 11. Майданчик СЗВЯП; 12. Бризкальні басейни; 13. Контрольно-пропускний пункт 1; 14. Повномасштабний тренажер; 15. Навчально-тренувальний центр



Рисунок 4.12 – Герметичний вагон-контейнер для перевезення ВЯП



Рисунок 4.13 – Сховище ВЯП за технологією сухого модульного зберігання (СЗВЯП-2) на території ЧАЕС

7. Питання для самоперевірки

1. Які технологічні процеси використовуються для вироблення електроенергії на різних типах електростанцій?
2. Які фактори впливають на вибір конкретної технології виробництва електроенергії для певного типу електростанції?
3. Які переваги та недоліки існують у різних технологіях виробництва електроенергії на сучасних електростанціях?
4. Які інноваційні технології використовуються для оптимізації виробництва електроенергії на електростанціях?
5. Які основні вимоги та стандарти щодо технологій виробництва електроенергії на різних типах електростанцій?
6. Які впливи мають різні технології виробництва електроенергії на довкілля та клімат?

Тема 5. Моніторинг та діагностика стану енергетичного обладнання.

План лекції:

1. Аналіз засобів контролю технічного стану та сучасні методи діагностування електрообладнання
2. Процесно-орієнтований підхід до діагностування та прогнозування технічного стану електрообладнання
3. Питання для самоперевірки

1. Аналіз засобів контролю технічного стану та сучасні методи діагностування електрообладнання

Велика різноманітність видів устаткування і завдань технічного діагностування привела до того, що нині застосовуються засоби діагностування різних принципів побудови й призначення. Усі ці засоби розрізняються за такими ознаками: способами технічної реалізації; конструктивним виконанням; розташуванням відносно об'єкта діагностування; ступенем автоматизації; універсальністю; принципами дії на об'єкт діагностування; формою обробки й подання інформації про стан об'єкта; режимами роботи тощо. На рис. 5.1 відображено класифікацію технічних засобів діагностування.

До апаратурних засобів діагностування відносять різні пристрої: прилади, пульти, стенди, спеціальні промислові комп'ютери. Апаратурні засоби, що утворюють з об'єктом діагностування конструктивне єдине ціле, є вбудованими апаратурними засобами діагностування. Прикладами таких засобів можуть бути прилади вимірювань електричних величин (струму, напруги, потужності, частоти й тому подібне), пристрої індикації технічного стану елементів (реле, світловипромінювальні діоди, неонові лампи й т. ін), пристрої контролю ізоляції тощо.

Якщо в схемах експлуатації електроустаткування вбудовані засоби діагностування не передбачені або їх недостатньо для діагностування з необхідною достовірністю, то застосовують зовнішні апаратурні засоби діагностування, що виконані окремо від конструкції устаткування і підключаються до нього лише в процесі діагностування. Простими прикладами зовнішніх апаратурних засобів можуть бути комбіновані прилади для вимірювань в колах постійного і змінного струму, тестери логічного стану, електронно-променеві й цифрові осцилографи, переносні вимірювальні комплекти й т. ін.

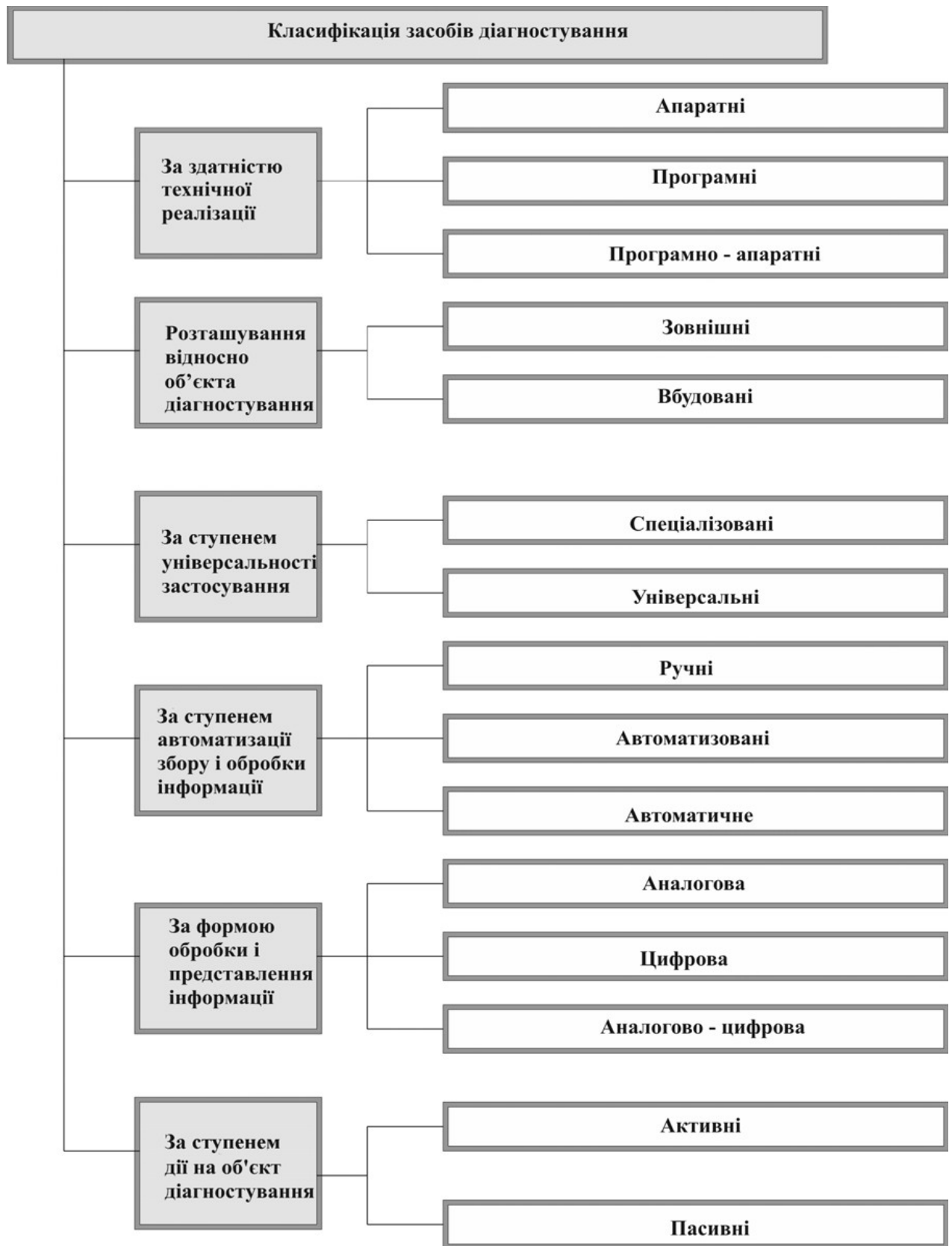


Рисунок 5.1 – Класифікація технічних засобів діагностування

Коли апаратні засоби діагностування призначені тільки для однотипного устаткування, то вони є спеціалізованими, а якщо для устаткування різного конструктивного виконання і функціонального призначення, то універсальними.

Зовнішні спеціалізовані засоби діагностування, це пристрої, використовувані, наприклад, для перевірки працездатності окремих елементів або вузлів

електроустаткування на стадіях технічного контролю після виконання ремонтних робіт.

До вбудованих спеціалізованих засобів діагностування можуть входити спеціально розроблені обчислювальні пристрої з жорстко запрограмованими алгоритмами діагностування конкретної системи електроустаткування.

Програмні засоби діагностування є комп'ютерними програмами, які керують роботою устаткування відповідно до алгоритму діагностування. Вони застосовні, наприклад, для програмованих контролерів, мікропроцесорних систем управління релейним захистом та інших. Програми забезпечують технічне діагностування устаткування як у процесі використання його за прямим призначенням (робочі програми), так і при короткочасній перерві функціонування об'єкта (спеціальні, випробувальні програми). Програмні засоби у поєднанні з апаратурними утворюють програмно- апаратурні засоби діагностування, що дозволяють вирішувати завдання самодіагностування устаткування, наприклад, на основі сучасних SCADA-систем.

Універсальні засоби діагностування технічно складніші і, як правило, побудовані на базі серійних промислових комп'ютерів.

За ступенем автоматизації засоби діагностування можуть бути ручними, автоматизованими й автоматичними. Застосування ручних засобів потребує участі людини-оператора і в підключенні засобів до об'єкта діагностування, і в прийнятті рішень про його технічний стан. Такий підхід знижує продуктивність і об'єктивність діагностування. Як правило, ручні засоби виконуються спеціалізованими.

Автоматизовані засоби вимагають часткової участі оператора для їх підключення до устаткування і вибору режимів діагностування. Основна ж процедура діагностування, включаючи видачу інформації про технічний стан устаткування, здійснюється автоматично.

Автоматичні засоби (мікропроцесорні комплекти, мікро- і міні- ЕОМ) вирішують завдання діагностування без втручання людини. Автоматизовані й автоматичні засоби можуть бути як спеціалізованими, так і універсальними, вони мають високу швидкість і достовірність діагностування. Залежно від форм обробки і представлення інформації технічні засоби діагностування можуть бути розділені на аналогові, цифрові й цифро-аналогові.

За дією на об'єкт діагностування технічні засоби можуть бути активними й пасивними. Активні впливають на об'єкт, посилаючи в нього сигнал, що викликає реакцію об'єкта, яка потім і аналізується. Збурюючі сигнали можуть бути імпульсними, ступеневими, гармонійними та ін. Пасивні засоби виконують лише вимірювання, обробку й оцінку сигналів, що характеризують стан об'єкта.

З усього різноманіття засобів діагностування в енергетиці найбільше застосування нині знаходять апаратурні засоби для визначення працездатності й несправності окремих складальних одиниць електроустаткування. Програмні й

програмно-апаратурні засоби діагностування набувають широкого впровадження з поширенням мікропроцесорних систем і обчислювальної техніки.

Методи діагностування електрообладнання. Особливості, методичні та інформаційні засади методів діагностування електрообладнання досить різноманітні й детально описані в спеціальній літературі. Тому далі зробимо лише загальний огляд найбільш поширених у сучасній практиці методів контролю.

Найбільш вживаними й перспективними методами діагностування силового електрообладнання системи електропостачання є такі:

- для силових трансформаторів – хроматографічний аналіз газів, розчинених у маслі; температурний контроль; контроль зносу контактів РПН; тепловізійний контроль трансформатора; реєстрація часткових розрядів в ізоляції;

- вимикачів високої напруги – контроль комутаційного й механічного ресурсу; оцінка стану контактної системи; контроль характеристик приводу; контроль стану ізоляторів; контроль витоку дугогасного середовища (повітря, елегаз);

- розподільного пристрою і струмопроводу – тепловізійний контроль стану електричних контактів та ізоляторів; дуговий захист;

- електродвигунів – діагностика обриву стержнів короткозамкненого ротора; контроль виткових замикань; вібраційний контроль обмотки статора; контроль підшипникового вузла; контроль і захист від неуспішних пусків; контроль ексцентриситету повітряного зазору між ротором і статором; контроль неповнофазних режимів; контроль напрямку обертання; безперервний селективний контроль активного опору ізоляції; температурний контроль; оцінка витрати ресурсу на основі контролю пускових і тривалих режимів роботи;

- повітряних та кабельних ліній – дистанційна тепловізійна діагностика контактів і підвісної ізоляції; контроль часткових розрядів; діагностика опор ЛЕП; контроль стану ізоляції кабелів.

2. Процесно-орієнтований підхід до діагностування та прогнозування технічного стану електрообладнання

Аналіз сучасних методів підвищення ефективності функціонування підприємств показує, що вирішення проблеми вдосконалення управління якістю ТО і Р та діагностування технологічного обладнання повинне здійснюватися на основі застосування досягнень сучасного менеджменту, у тому числі менеджменту якості, який передбачає широке використання принципів процесного підходу і стандартизацію відповідних видів діяльності. Практичне застосування процесного підходу передбачає детальний аналіз та опис виробничого процесу підприємства у вигляді єдиної та узгодженої мережі процесів з урахуванням всіх компонентів, необхідних для якісного функціонування кожного зі складових процесів. При цьому необхідне визначення основного змісту та мети кожного процесу, власника й

керівника процесу, нормативів, входів, виходів і ресурсів процесу, вимірюваних параметрів і показників результативності та ефективності процесу, а також опис процесів постачальників і споживачів електроенергії. На сьогодні існують загальні рекомендації щодо впровадження процесного підходу на підприємстві та розробки необхідних для цього стандартів, що утворюють документацію системи керування якістю. Однак вони не враховують специфіку процесу ТО і Р обладнання і тому повинні бути розвинені в напрямку відображення особливостей експлуатації обладнання системи. Тому на цей час є актуальним завдання розробки методу організації та стандартизації процесу ТО і Р обладнання відповідно до принципів процесного підходу з метою підвищення якості робіт, виконуваних ремонтними службами дистанцій електропостачання.

Процесно-орієнтований підхід полягає в тому, що організація розглядається як система взаємопов'язаних видів діяльності. Застосування в організації системи процесів разом з їх ідентифікацією та взаємодією, а також менеджмент процесів спрямований на отримання бажаного результату.

Сам процес – це сукупність взаємопов'язаних видів діяльності з метою перетворення входів у виходи (рис. 5.2).

Пріоритетність процесів і методи, що використовуються для поліпшення діагностування та ТО і Р обладнання П, залежать від їх якості та значущості. У першу чергу необхідно покращувати процеси, що мають першочергове значення для підвищення якості показників функціонування П. Основними методичними інструментами процесно-орієнтованого управління є оптимізація і інжиніринг бізнес- процесів, збалансована система показників, комплексна діагностика і вдосконалення системи управління, система мотивації персоналу, управління операційними ризиками, цілий ряд інформаційних технологій. На сьогодні існує велика кількість методів діагностування обладнання на П і загалом в енергетиці, але не всі вони зручні, точні й практичні. Тому ефективна та якісна діагностика займає актуальне місце в сучасній енергетиці, у тому числі це стосується силового обладнання П.

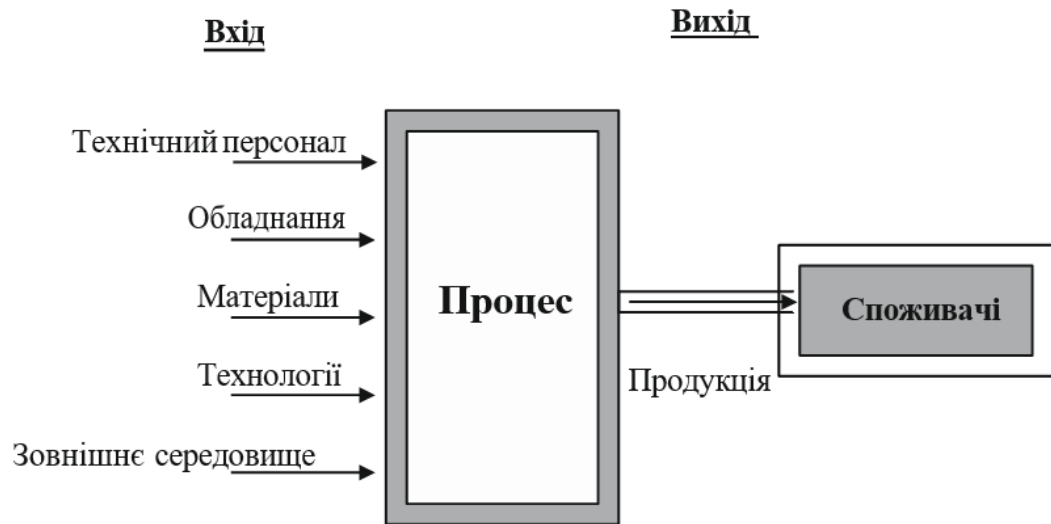


Рисунок 5.2 – Структурна схема процесно-орієнтованого підходу

У сучасних економічних умовах експлуатації силового електрообладнання П необхідно розробляти та використовувати нові принципи, методи та моделі, що забезпечать якість системи ТО і Р обладнання П. Система ТО і Р основного електрообладнання П являє собою складну ієрархічну структуру, схильну до впливу великої кількості експлуатаційних факторів. Також практично існують два процеси: з одного боку – забезпечення електроенергією споживачів, пов'язане з якістю експлуатації обладнання П; з іншого – необхідність утримання обладнання в працездатному стані. У цих умовах завдання безперебійного і якісного електропостачання ЕРС залізниць значною мірою залежить і визначається системою ТО і Р, якій належить ключова роль в забезпеченні якісного технічного стану обладнання, що відповідає вимогам до дистанції електропостачання, і тим самим сприяє досягненню вказаної мети.

Застосування процесного підходу діагностування та ТО і Р силового електрообладнання П дозволить виявити фактори, що впливають на якість їх функціонування за допомогою різних методів (математичних, статистичних, оптимізаційних, експертних), а також дозволить вдосконалити процес ТО і Р за рахунок впровадження новітніх технологій та методів моніторингу, діагностики, ТО і Р та підвищення кваліфікації обслуговуючого персоналу.

Одним із таких методів є графічний метод, який передбачає побудову причинно-наслідкової діаграми, яка забезпечує простоту, наочність та візуалізацію процесів оперативного контролю якості. Такий підхід запропоновано японським вченим Каору Ісікавою, спеціалістом у теорії управління якістю. Згідно з теорією Каору Ісікави та враховуючи проведені дослідження, надійне функціонування П можна оцінити питомою пошкоджуваністю обладнання, яка вказує на основні порушення нормальної роботи П за рахунок недосконалості:

- системи ТО і Р пристроїв П;
- системи діагностики П;

- технічного забезпечення та методів ТО і Р пристроїв П;
- роботи зовнішньої енергосистеми;
- людського фактора.

Враховуючи розглянуте, побудуємо причинно-наслідкову діаграму Ісікави (рис. 5.3) аналізу порушень у роботі тягової підстанції. Причинно-наслідкова діаграма Ісікави показує найбільш вагомі фактори, які впливають на порушення нормальної роботи обладнання.

Як бачимо з рис. 5.4, до них можна віднести: недоліки методів вимірювання та діагностування, недосконалість системи ПЗР, відсутність сучасного інструментарію діагностування параметрів роботи обладнання П, недостатній рівень автоматизації процесів діагностування та ТО і Р, відсутність сучасних вимірювальних приладів для виконання якісних робіт з діагностування обладнання.

У результаті діагностування електрообладнання в процесі експлуатації здійснюється раннє виявлення дефектів і визначається його технічний стан у поточний момент часу. З позиції вибору оптимальної стратегії технічного обслуговування і ремонту потрібно здійснювати прогноз розвитку дефектів і перспективну оцінку технічного стану на наступний період експлуатації. Прогнозування технічного стану підвищує ефективність діагностування. Методи прогнозування реалізуються на підставі алгоритмів і програм діагностування електрообладнання. Описані в літературі різні методи, що застосовуються при прогнозуванні технічного стану машин і механізмів, можна розділити на аналітичні, ймовірнісні та розпізнавання образів.

Метод аналітичного прогнозування дозволяє отримувати параметри обладнання, розмірність яких відповідає розмірності контрольованих параметрів. При цьому значення обчислених параметрів характеризують перебіг процесу в часі. Цей метод, як правило, застосовується, коли відома аналітична залежність функції зміни діагностичного параметра в часі.

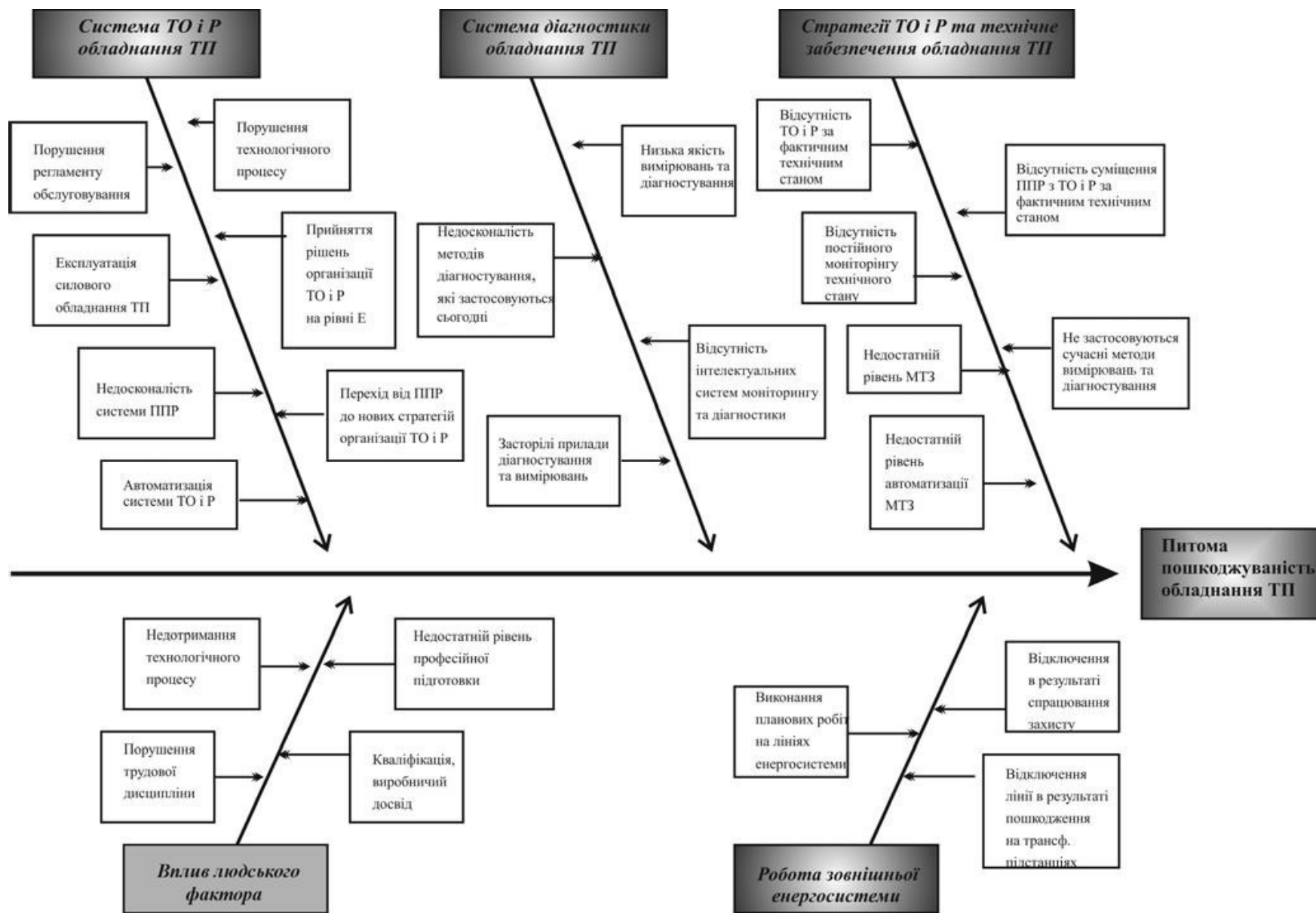


Рисунок 5.3 – Причинно-наслідкова діаграма Ісікави аналізу порушень нормальної роботи П

Особливістю методу ймовірнісного прогнозування є визначення ймовірності збереження працездатності обладнання у функції часу, тобто результат прогнозу визначає ймовірність виходу або невиходу контрольованого діагностичного параметра за допустимі межі. При цьому визначаються ймовірнісні характеристики: щільність розподілу значень параметрів, математичне сподівання і дисперсія.

Метод розпізнавання образів (статистичної класифікації) полягає в тому, що прогнозування можна починати з моменту здійснення одноразового контролю обладнання, що діагностується. У результаті прогнозу контрольований об'єкт відносять до того чи іншого класу технічного стану, який встановлюють заздалегідь за критерієм працездатності або довговічності й приймають за еталон (образ). Потім, виходячи із закономірності зміни параметрів даного класу, вирішують, як буде змінюватися цей параметр у майбутньому.

Вибір методу прогнозування багато в чому визначається необхідною точністю і достовірністю. Отримати абсолютно точний прогноз технічного стану проблематично. Це зумовлено безліччю факторів, що впливають на процес прогнозування. До основних із них можна віднести: ступінь вивченості досліджуваного діагностичного процесу, глибину і частоту діагностування, точність вимірюваних параметрів, вибраний метод прогнозування та ін. Тому точність прогнозування технічного стану електрообладнання можна оцінити тільки орієнтовно. У результаті цього випадкова складова у змінах діагностичних параметрів є визначальною.

При прогнозуванні технічного стану електрообладнання вирішуються такі завдання:

- виявляються складальні одиниці електроустаткування, технічний стан яких значно зміниться в наступний період експлуатації;
- контролюються параметри і ознаки зміни технічного стану електрообладнання; здійснюється порівняння діагностичних параметрів з величинами їх нормативних значень;
- нормуються значення діагностичних параметрів;
- фіксується момент, абсолютне значення і тривалість виходу діагностичних параметрів електрообладнання за допустимі межі;
- виконується накопичення, відображення і реєстрація оброблюваної інформації;
- проводиться первинна обробка діагностичної інформації про технічний стан устаткування;
- обчислюються поточні та перспективні значення узагальнених ресурсних показників технічного стану контрольованого електрообладнання;
- призначаються терміни проведення профілактичних робіт, спрямованих на підвищення рівня працездатності електрообладнання;

– надається інформація персоналу про технічний стан та рекомендації про доцільні зміни процесу експлуатації кожної одиниці електрообладнання.

Опис математичного апарату деяких найбільш простих і застосовуваних методів прогнозування технічного стану та ресурсу електрообладнання наведено. До них належать такі методи прогнозування: лінійний; багатоступеневий лінійний; за середнім статистичним зміни параметра; за реалізацією зміни параметра та ін. Методи прогнозування ґрунтуються на результатах контролю технічного стану та реалізуються за допомогою алгоритмів і програм діагностування електрообладнання.

3. Питання для самоперевірки

1. Які нові технології використовуються для вдосконалення систем діагностики електрообладнання?
2. Які переваги мають бездротові системи діагностики порівняно з традиційними провідними методами?
3. Які сенсорні технології дозволяють забезпечити більш точну та швидку діагностику електрообладнання?
4. Які алгоритми обробки даних використовуються для прогнозування відмов електрообладнання на основі зібраних даних?
5. Як системи штучного інтелекту можуть покращити ефективність діагностики електрообладнання?
6. Які інноваційні методи використовуються для недеструктивної діагностики електрообладнання?
7. Як розвиток Інтернету речей (IoT) впливає на системи діагностики електрообладнання?
8. Які виклики пов'язані з впровадженням сучасних систем діагностики електрообладнання у виробничі процеси?
9. Які можливості надають системи віддаленого моніторингу та діагностики для підвищення надійності електрообладнання?
10. Як впровадження систем прогнозування відмов може зменшити витрати на обслуговування та ремонт електрообладнання?

Розділ 2. Утилізація, екологічна безпека та сталий розвиток в енергетиці

Тема 6. Життєвий цикл енергетичного обладнання

План лекції:

1. Методика розрахунку вартості життєвого циклу для наукомісткої продукції
2. Основні процедури, необхідні для реалізації PLM-стратегії
3. Питання для самоперевірки

Для енергетичних компаній першорядне значення має економічний чинник. Енергетичне обладнання коштує дорого та експлуатується десятиліттями, тому при управлінні таким бізнесом найбільш гостро стоїть питання про планування роботи з урахуванням поточного стану парку обладнання та/або ухвалення рішення про технічне переозброєння та закупівлю нових агрегатів.

1. Методика розрахунку вартості життєвого циклу для наукомісткої продукції

Один із важливих споживчих параметрів складного наукоємного виробу – вартість життєвого циклу – ВЖЦ. (Life Cycle Cost, LCC). Повна ВЖЦ складається з витрат на розробку та виробництво виробу, а також на введення виробу в дію, експлуатацію та підтримку у працездатному стані. При розрахунку ВЖЦ для нових моделей техніки необхідно враховувати витрати на освоєння нової техніки в експлуатантів продукції: витрати на підвищення кваліфікації та перенавчання робітників, зайнятих на технологічних операціях з новим обладнанням; втрати, пов'язані зі зниженням планового прибутку під час освоєння нової техніки.

Висока технологічна складність виробу призводить до того, що 80-90% виробничих та експлуатаційних витрат визначаються саме на стадії науково-дослідних та дослідно-конструкторських робіт (НДДКР). Таким чином, найважливіший принцип концепції LCC можна визначити як "прогноз та управління витратами на виробництво та експлуатацію виробу на стадії його проектування". Контроль та скорочення ВЖЦ виробу закладено і в концепцію PLM (Product Life Management) – методологію, що забезпечує управління всією інформацією про виріб, процеси його життєвого циклу (ЖЦ) та бізнес-процеси компанії-виробника. Специфіка PLM-стратегії для енергетичних компаній полягає в обліку попиту на електроенергію. Енергетика – це бізнес. Як будь-який вид бізнесу, вона має бути прибутковою, тому PLM-стратегія є частиною корпоративної стратегії і її впровадження має підвищувати ефективність діяльності компанії (рис. 6.1, таблиця 6.1).



Рисунок 6.1 – Цілі PLM-стратегії для енергетичних компаній

2. Основні процедури, необхідні для реалізації PLM-стратегії

Можна виділити типові для більшості виробників проблеми та конфлікти при спробах оптимізації ВЖЦ виробу.

Таблиця 6.1 – Основні процедури, необхідні для реалізації PLM-стратегії

Реалізація PLM-стратегії	
для діючого обладнання	для нового обладнання
Діагностика Вибір методів та засобів	Аналіз типів обладнання та техніко-експлуатаційних характеристик
Мінімізація простоїв, максимальне значення показника готовності до роботи	Аналіз виробників
Висока безвідмовність	Розміщення інфраструктури
Експлуатаційна технологічність	Прогноз та оцінка планової вартості життєвого циклу обладнання
Раціоналізація системи технічного обслуговування та ремонту	Ухвалення рішень про технічне переозброєння компаній
Мінімізація ресурсоспоживання	Закупівля нового обладнання
Оцінка фактичної вартості життєвого циклу обладнання	
Прийняття рішень	
Продовження експлуатації	
Модернізація	
Реконструкція	

1. Конструктори та розробники хочуть бачити в якості єдиного критерія мінімізацію капітальних витрат.

2. Експлуатанти продукції хочуть в якості єдиного критерія мінімізувати час ремонту (або максимізувати тривалість роботи виробу).

3. Проектувальники та фахівці з надійності в якості єдиного критерія хочуть уникнути раптових відмов обладнання.

4. Економісти та фінансисти розглядають в якості єдиного критерія максимізацію чистої проектної вартості.

5. Акціонери зацікавлені бачити єдиним критерієм зростання акціонерного капіталу та дивідендів.

Узгодження цих потенційних конфліктів необхідне для досягнення низької довгострокової вартості ЖЦ виробу. Тому розрахунок ВЖЦ може використовуватися як інструмент управлінського рішення для узгодження виробничих та постпродажних конфліктів, так як ВЖЦ зосереджена на фактичних даних про вартість процесів і затрачуваному на виконання часу.

Для складного виробу, що має тривалий термін використання (не менше 10-20 років), витрати, що виникають на поствиробничих стадіях ЖЦ і пов'язані з підтримкою виробу в працездатному стані, можуть бути рівними або перевищувати в кілька разів витрати на придбання.

Тому саме етапу експлуатації останнім часом приділяється найпильніша увага. Етап експлуатації виділяється з післяпродажного етапу ЖЦ і є сукупністю процесів виробників моделей техніки та запасних частин (ЗЧ) до неї, постачальників, субпостачальників та експлуатантів продукції. Даний етап складається із системи технічного обслуговування та ремонту (ТОiP) та матеріально-технічного забезпечення (МТО).

Розрахунок ВЖЦ виробу дозволяє визначити витрати на:

- попереднє та концептуальне проектування;
- розробку та проектування системи;
- виготовлення (собівартість виробу);
- обслуговування та утилізацію.

За таких розрахунків часто використовують параметри, отримані під час аналізу надійності технічної системи та складових вузлів і агрегатів: інтенсивність відмов, вартість запасних частин, тривалість ремонту, вартість комплектуючих тощо.

Природно, що виготовлення наукомісткої продукції високої якості з високими кількісними показниками надійності потрібні великі витрати, які споживач не готовий відшкодувати. Але, забезпечуючи високу надійність (безвідмовність і довговічність) виробу, виробник не тільки підвищує його привабливість в очах потенційного замовника (оскільки ці показники є найважливішими параметрами якості об'єктів техніки), а й домагається істотного зниження експлуатаційних витрат.

Чим вища безвідмовність, тобто чим більше напрацювання виробу на відмову (до відмови), тим рідше доводиться його ремонтувати, і, отже, менше витрати на підтримання виробу у працездатному стані. Забезпечення ремонтпридатності та експлуатаційної технологічності виробниками техніки безпосередньо з потенційними витратами трудових і матеріальних ресурсів в майбутніх експлуатантів, тобто із витратами на поствиробничих стадіях ЖЦ.

Тому необхідно забезпечити оптимальне співвідношення між якістю та надійністю техніки, з одного боку, та вартістю її придбання та володіння – з іншого.

Вирішення завдання забезпечення надійності техніки пов'язане з урахуванням безлічі різноманітних та часто суперечливих факторів. На першому місці стоять питання ефективності продукції, на другому – економічні показники (причому витрати експлуатаційного етапу для споживача мають першорядне значення, тобто забезпечення надійності на цьому етапі та організація ефективної системи ТОіР тягне за собою додаткові витрати для виробника), на третьому – необхідність враховувати реальні технологічні можливості та виробничі потужності, на четвертому – реальні умови, режими та стратегії експлуатації. Вимоги до надійності складної техніки пов'язані з необхідністю фінансових вкладень на етапах проектування, виробництва та експлуатації ЖЦ виробу, що викликані зміною надійності обладнання.

Аналітичне рішення задачі обґрунтування вимог до надійності енергетичного обладнання є рішенням оптимізаційної задачі, де критерієм є мінімізація витрат, пов'язаних із забезпеченням надійності об'єкта. Наприклад, для енергетичного обладнання в загальній постановці цільова функція виглядатиме так:

$$\sum_{i=1}^N Z_i(P_i) + Z_{\text{рез}}(P_i, \Pi_e) + Z_y(\Pi_e) + Z_{\text{ек}}(P_i) \Rightarrow \min \quad (6.1)$$

де $Z_i(P_i)$ – наведені витрати на основне енергетичне обладнання, що залежать від рівня його надійності; $Z_{\text{рез}}(P_i, \Pi_e)$ – витрати на створення резерву потужності в енергосистемі, які залежать як від характеристик надійності основного обладнання, $P_i, i = 1, \dots, N$, так і від розрахункового рівня надійності енергозбереження споживачів Π_e ; $Z_y(\Pi_e)$ – збитки від недовідпуску енергії споживачам (штрафні санкції); $Z_{\text{ек}}(P_i)$ – витрати на ліквідацію можливих наслідків ненадійності обладнання екологічного характеру. Але вирішити це завдання «в лоб» досить проблематично, що добре видно на рис. 6.2.

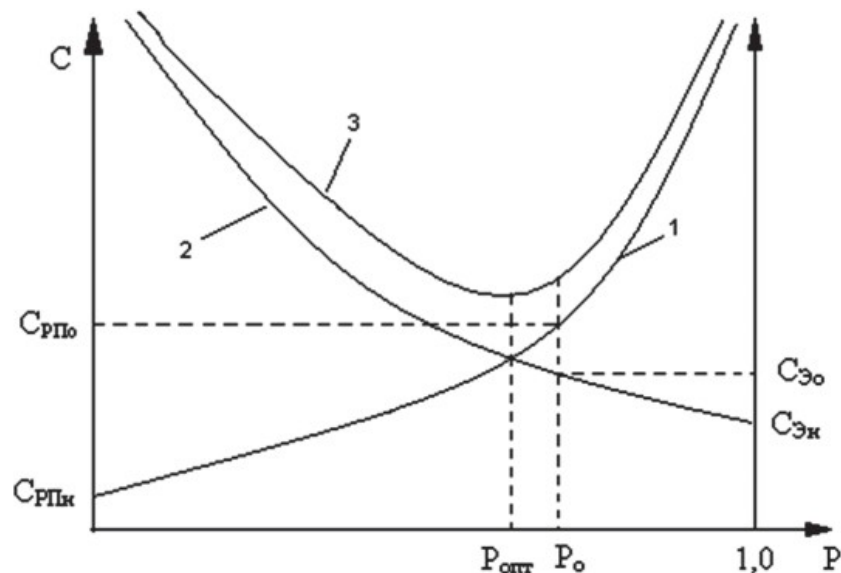


Рисунок 6.2 – Залежність сумарної вартості об'єкта від його надійності

Збільшити показники надійності устаткування завдяки великим вкладенням на етапах розробки та виробництва, тобто витрати збільшуються зі зростанням надійності. При зміні величини ймовірності безвідмовної роботи (ЙБР) у проміжку від 0,2 до 0,8 збільшення витрат іде плавно, а проміжку від 0,8 до 1,0 – різко зростає і прагне нескінченності при $P(t) = 1, 0$ (рис. 6.2, графік 1). Цей графік може бути апроксимований залежністю виду:

$$Z_{P.П.}(P) = Z_{P.П.const} + Z_{P.П.} \frac{\ln(1 - P)}{\ln(1 - P_0)} \quad (6.2)$$

де, $Z_{P.П.const}$ – постійна величина вартості об'єкта, яка залежить від надійності; $Z_{P.П.}$ – вартість проектування та виробництва об'єкта, що володіє ЙБР, P_0 .

Природно, що обладнання з низькими показниками надійності дорого обходиться при експлуатації, оскільки необхідно проводити планові профілактичні ремонти (ППР), діагностику, огляди з метою відшукування, попередження та усунення відмов. Це, у свою чергу, потребує витрат утримання кваліфікованого обслуговуючого персоналу, зберігання великого запасу комплектуючих, наявності діагностичної, контрольно-вимірювальної апаратури. Низька надійність техніки на експлуатаційному етапі – це невисокі витрати придбання, але завжди великі витрати на володіння об'єктом, яких уникає споживач.

У разі збільшення надійності об'єкта зростають витрати придбання, але знижуються витрати експлуатаційного етапу. Таким чином, вартість об'єкта на

етапі експлуатації залежить від його надійності, що можна описати наступним графіком (рис. 6.2, графік 2). Цей графік може бути апроксимований залежністю виду:

$$Z_E(P) = Z_{E.const} + Z_{Eo} \frac{\ln(P)}{\ln(P_0)} \quad (6.3)$$

де, $Z_{E.const}$ – постійна величина, яка не залежить від надійності; Z_{Eo} – вартість об'єкта в експлуатації, що володіє ЙБР, протягом планового періоду експлуатації. Таким чином, можна виразити загальну вартість витрат на розробку, виробництво та експлуатацію енергообладнання:

$$Z_\Sigma = Z_{\Pi}(P) + Z_E(P) = Z_{\Pi.const} + Z_{\Pi o} \frac{\ln(1 - P)}{\ln(1 - P_0)} + Z_{E.const} + Z_{Eo} \frac{\ln(P)}{\ln(P_0)} \quad (6.4)$$

Виходить результуюча крива залежності сумарною вартості об'єкта з його надійності (рис. 6.2, графік 3). З рисунка видно, що сумарна вартість системи має мінімум за деякого певного значення величини ЙБР, яка і буде *оптимальною величиною надійності об'єкта за його вартістю* P_{opt} . Для обчислення P_{opt} треба продиференціювати вирази і розв'язати рівняння $\frac{\partial Z_\Sigma(P)}{\partial P} = 0$.

Тоді величина P_{opt} дорівнює:
$$P_{opt} = \frac{Z_{Eo}}{Z_{Eo} - Z_{\Pi.o} \frac{\ln P_o}{\ln(1 - P_o)}}$$

Виробники домагаються оптимізації сумарної вартості виробу за рахунок скорочення матеріальних витрат та строків створення виробу, зниження витрат експлуатаційного етапу та ефективної організації системи ТОіР та матеріального постачання (МТС). Рациональна організація процесів ТОіР та МТС може суттєво скоротити частку витрат на володіння технікою у ВЖЦ виробу. Так, наприклад, існує очевидна залежність між періодичністю регламентних робіт та витратами. Якщо регламентні роботи проводити занадто часто, то витрати на них можуть перевищити витрати, пов'язані з простоями через відмову. З іншого боку, якщо регламентні роботи проводити рідко, то це тягне за собою зростання ймовірності відмови і, як наслідок, зростання витрат, обумовлених простоями. Таким чином, виникає завдання вибору оптимальної періодичності регламентних (профілактичних) робіт за критерієм мінімуму сумарних витрат (витрати на регламентні роботи + витрати простоїв).

Планова вартість ЖЦ виробу у загальному випадку визначається за формулою: $ВЖЦ = Z_{придб} + Z_{волод}$.

де, $Z_{\text{придб}}$ – (одноразові витрати), ціна придбання технічного засобу заявлена постачальником (виробником) виробу; $Z_{\text{волод}}$ – сукупні витрати на експлуатацію виробу за термін його служби (розрахунковий період). Детально групи витрат представлені на рис. 6.3 та 6.4. Для відображення впливу процесів технічного та ремонтного обслуговування на ВЖЦ для енергетичного обладнання пропонуємо використовувати наступну базову модель для розрахунку:

$$\text{ВЖЦ} = Z_{\text{придб}} \sum_{t=1}^T (Z_{\text{експл}} + Z_{\text{ТО}} + Z_{\text{план}}^P + Z_{\text{позаплан}}^P) + Z_{\text{утиліз}} \quad (6.5)$$

де, $Z_{\text{експл}}$ – середньорічні витрати на експлуатацію; $Z_{\text{ТО}}$ – середньорічні витрати на технічне обслуговування та ремонти; $Z_{\text{план}}$ – витрати на планові ремонти; $Z_{\text{позаплан}}$ – витрати на планові ремонти; t – поточний рік експлуатації; T – кінцевий рік експлуатації, який встановлюється відповідно до технічних вимог або іншої документації (у тому числі облікової політики підприємства, на балансі якого об'єкт).

Як крок розрахунку для енергообладнання можна приймати один рік. Розрахунковий період (горизонт розрахунку) приймається залежно від терміну служби технічного засобу.

Витрати $Z_{\text{експл}}$ на експлуатацію виробу включають витрати на витратні матеріали, необхідні у процесі експлуатації, інфраструктуру матеріально-технічного постачання (склад, транспорт), а також витрати на утримання обслуговуючого персоналу, системи діагностики та моніторингу.

Таким чином, для точного розрахунку цієї групи витрат необхідно знати:

- вид, ціну та кількість ресурсів та матеріалів, що споживаються в одиницю часу, необхідних для функціонування технічного засобу;
- трудомісткість роботи з технічним засобом (у людиногодинах), кількість експлуатуючого персоналу та годинну тарифну ставку;
- витрати на засоби діагностики, впровадження АСУ, моніторинг технічного стану виробу.

Для розрахунку витрат на технічне обслуговування $Z_{\text{ТО}}$ необхідні такі дані:

- періодичність та обсяг (вид) технічного обслуговування (ТО);
- витрати на матеріали, техніко-економічні розрахунки (ТЕР) та трудомісткість кожного виду ТО (у людино-годинах);

– кількість персоналу, посада та кваліфікація персоналу, залученого до ТО, його годинна тарифна ставка.

При розрахунку витрат $Z_{\text{план}}$ на проведення планових ремонтів враховуються такі дані:

Періодичність та обсяг (вид) проведених ремонтів;

- витрати на матеріали;

- ПЕР та трудомісткість кожного виду ремонту (у людиногодинах);

- Кількість персоналу, посада та кваліфікація персоналу, залученого для ремонту, його годинна тарифна ставка.

У ВЖЦ енергетичного обладнання треба обов'язково включати розрахунок витрат $Z_{\text{позаплан}}$ на проведення позапланових ремонтів, зумовлених раптовими відмовами. При розрахунку цієї групи мають бути виділені витрати, не тільки пов'язані з відновленням готовності виробу, а й враховуючи втрати прибутку від експлуатації – простої техніки, штрафні санкції тощо, а також заходи щодо усунення наслідків аварії (наприклад, екологічного характеру):

$$Z_{\text{позаплан}} = P(t) \times Z_{\text{авар}}$$

де $Z_{\text{авар}}$ – вартість усунення наслідків аварії, що у загальному випадку одержується як сума вартості ремонту та збитків від простою обладнання:

$$Z_{\text{авар}} = Z_{\text{рем}} + Z_{\text{прост}}$$

Збитки від простою визначаються через добовий виробіток електроенергії:

$$Z_{\text{прост}} = \text{вартість}(\text{МВт} \times \text{год, грн}) \times \text{номінальна потужність об'єкта} \times \text{год} \quad (24)$$

Розрахунок ймовірності настання аварії $P(t)$ на інтервалі призначеного терміну служби будується з наступних припущень: аварійні події представляють найпростіший стаціонарний потік без післядії (потіки відмов багатьох об'єктів техніки під час стабільної експлуатації близькі до стаціонарного потоку), тобто аварії є подіями випадковими та незалежними, що дозволяє підсумовувати інтенсивність подій та використовувати розподіл Пуассона з постійним параметром розподілу λ :

$$P_k(t) = \frac{(\lambda t)^k}{k!} e^{-\lambda t} \quad (6.6)$$

де t – призначений термін служби об'єкта.

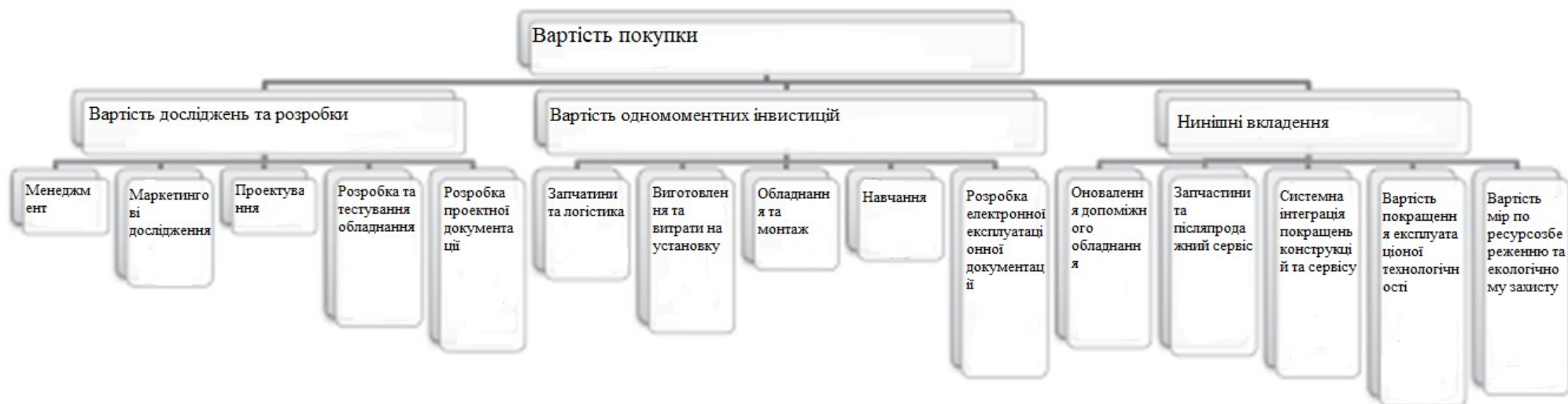


Рисунок 6.3 – Структура вартості купівлі нового обладнання

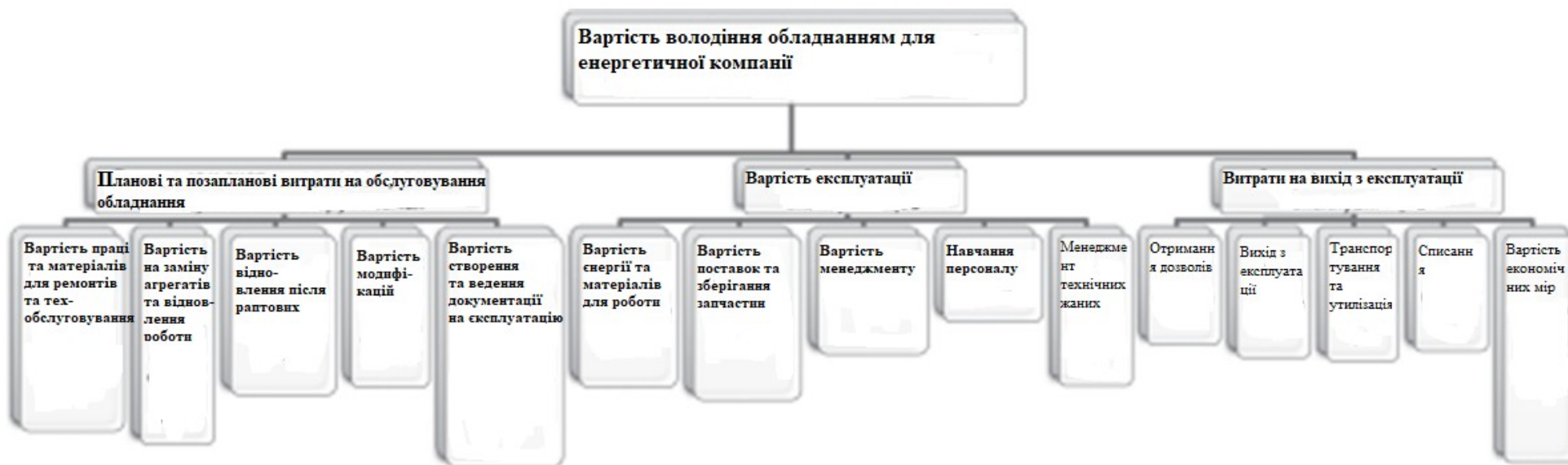


Рисунок 6.4 – Структура вартості володіння обладнанням для енергетичної компанії

У періоди проробітку та старіння виробів потоки відмов нестаціонарні, і застосування розподілу Пуассона до цих процесів експлуатації є некоректним. Рекомендується застосовувати для оцінки стану обладнання в період старіння методи оцінки фізичного та морального зносу, добре освітлені в науковій та практичній літературі з ремонту енергетичного обладнання. ЖЦ для визначення економічної доцільності та обґрунтування необхідності цих змін. Порівняння вартості ЖЦ за існуючих та змінених умов дозволяє оцінити термін окупності витрат за рахунок загального зниження вартості та відхилити ті зміни, які не дають суттєвих переваг.

Результат такого аналізу залежить від прийнятих припущень або критерію оцінки вартості життєвого циклу. Такими критеріями можуть бути: норма прибутку енергетичної компанії; довговічність обладнання; коефіцієнт інфляції; ефективність функціонування; вартість обслуговування і т.д. При ухваленні рішення про технічне переозброєння та виборі нового енергетичного обладнання в рамках PLM-стратегії розрахунок величини вартості ЖЦ допоможе прийняти рішення, яке принесе найбільшу економічну вигоду компанії.

3. Питання для самоперевірки

1. Які ключові етапи включає життєвий цикл енергетичного обладнання?
2. Які фактори впливають на загальну вартість життєвого циклу енергетичного обладнання?
3. Як впровадження нових технологій може змінити вартість життєвого циклу обладнання?
4. Які основні методи оцінки вартості життєвого циклу використовуються у практиці?
5. Як впливає енергоефективність обладнання на його життєвий цикл?
6. Які заходи можуть бути прийняті для зниження витрат на життєвий цикл енергетичного обладнання?
7. Які існують виклики в управлінні вартістю життєвого циклу енергетичного обладнання?
8. Як зміни у регулюванні та політиці можуть вплинути на вартість життєвого циклу енергетичного обладнання?

Тема 7. Методи утилізації енергетичного обладнання

План лекції:

1. Інноваційні методи утилізації лопатей вітрогенераторів
2. Екологічно чисті методи утилізації акумуляторів та переробка елементів живлення
3. Екологічні практики утилізації сонячних панелей: Рішення для майбутнього
4. Питання для самоперевірки

1. Інноваційні методи утилізації лопатей вітрогенераторів

Відновлювані джерела енергії (ВДЕ) сприймаються як ефективний засіб від світових проблем, пов'язаних із зміною клімату. Створення масивної інфраструктури для сонячної та вітрової енергії та впровадження електромобілів дозволить людству розвиватися без необхідності спалювати викопне паливо, яке забруднює довкілля. Хоча ці технології існують уже кілька десятиліть, немає жодного розробленого плану використання та утилізації, щоб ці технології самі не псували екологію.

Експерти прогнозують, що сотні тисяч тонн старих лопатей вітряних турбін, батарей електромобілів та сонячних модулів необхідно буде утилізувати чи переробити у наступному десятилітті, а до 2050 року вже мільйони тонн.

Не треба бути футуристом, щоб уявити ландшафт з рядами вітрогенераторів, що обертаються, полями блискучих сонячних панелей і плавно працюючими безшумними електромобілями. Справді, це утопічне бачення цілком можливо.

Але якщо матеріали, з яких виготовлені ці технології, не будуть відновлюваними, чиста енергія майбутнього буде затьмарена цвинтарями старих лопатей турбін, старих сонячних панелей і батарей, що роз'їдають ґрунт. На даний момент запропоновано безліч ініціатив щодо переробки цього нового типу відходів. Але здебільшого такі рішення, у разі, перебувають у стадії розробки.

Потенційна кількість відходів зеленої енергетики величезна. За оцінкою Bloomberg New Energy Finance, до 2025 року відпрацьовані акумулятори, витягнуті з електромобілів, важитимуть 600 000 тонн. За прогнозами Міжнародного агентства з відновлюваної енергії (International Renewable Energy Agency, IRENA), на той час буде накопичено стільки ж старих сонячних панелей. IRENA очікує, що до 2050 року кількість відпрацьованих сонячних панелей сягне 78 мільйонів тонн. У Європі протягом найближчих двох десятиліть може накопичитися до 300 000 тонн на рік виведених з експлуатації лопатей вітряних турбін, повідомляє торгова асоціація WindEurope.

Через попит, що зростає, на ВДЕ виробники вже стикаються з різкими стрибками витрат і обмеженнями в постачаннях такої сировини, як кобальт і літій. Більш того, для створення композитних частин турбін, фотогальванічного кремнію високого ступеня чистоти та катодів акумуляторних батарей з високою структурою потрібно чимало людських зусиль і винахідливості. Ці майстерно виготовлені матеріали заслуговують на більше, ніж квиток в один кінець у сміттєзвалище.

Однак вилучення матеріалів з викинутих пристроїв поки що є недоцільним. Це дуже затратно, а результат себе не виправдовує. Деталі пристроїв виготовлені шляхом змішування цінних матеріалів з менш цінними, щоб не руйнувалися навіть за екстремальних навантажень або умов навколишнього середовища.

Виробники та переробники відходів працюють над способами ефективної утилізації відходів ВДЕ. Але поки недостатня кількість цих пристроїв дожила до кінця терміну служби, щоб окупити інвестиції в підприємства з переробки. Поки неясно, чи сформується прибуткова галузь вчасно, перш ніж “чиста енергія” встигне збільшити купу відходів на планеті, що постійно зростає.

Довжина однієї лопаті сучасної вітряної турбіни досягає 90 метрів, і продовжує ставати все довшою. Справді, компанії вихваляються розміром своїх лопат турбін, тому що більший радіус дії зазвичай означає велику потужність на одну вежу.

У той час як інші компоненти вітрогенератора, включаючи вежу, редуктор і генератор, легко утилізуються, саме лопаті є проблемою. Вони виготовляються з композитного матеріалу зі скловолокна та епоксидної або іншої термореактивної смоли. Пошиті полімери не можна плавити і переробляти, на відміну від термопластів, таких як поліпропілен.

Наприклад, лопать вітрогенератора LM Wind Power важить 15 тонн. Деякі виробники роблять легші лопаті, додаючи вуглецеве волокно. У майбутньому більш «модні» волокна, такі як вуглецеві нанотрубки та високоякісна синтетика, можуть забезпечити легкість та високу міцність.

У США та Європі вітряні оператори встановили перші турбіни промислового розміру наприкінці 1990-х років. Машини розраховані на термін служби 25 років, але деякі лопаті передчасно знімаються, щоб замінити їх на більш ефективні версії, або тому, що вони зносилися або були вражені блискавкою.



Рисунок 7.1 – Лопаті вітрогенератора

Навіть лопаті вітряних електростанцій раннього покоління важать до 8 тонн кожна. Не дивно, що виведена з експлуатації лопать турбіни – велика неприємність. Для операторів вітроенергетичних проектів транспортування навіть однієї лопаті – логістичний кошмар.

Компанія Global Fiberglass Solutions побудувала центр переробки відходів у Суїтуотері (Техас), який називає себе світовою столицею вітроенергетики: там навчені робітники розрізають лопаті вітряної електростанції та складають деталі у вантажівку для транспортування на централізований об'єкт. Далі шматки розбиваються на все дрібніші шматочки за допомогою різних машин.



Рисунок 7.2 – Транспортування лопаті вітрогенератора

Потім отриманий матеріал можна комбінувати з клеями і пресувати високоефективні композитні панелі, подібні ДСП або ОСП. Скловолокно надає панелям вогнестійкість та вологостійкість, що робить їх ідеальними для комерційних та промислових будівель.

Інші компанії також намагалися перетворити старі лопаті на скловолокно або вуглецеве волокно. У 2002 році датський інженер з вітроенергетики Ерік Гроув-Нільсен заснував фірму з переробки відходів під назвою ReFiber. Він розробив технологію піролізу для перетворення скловолокна з поліестеру або епоксидної смоли вітряних турбін на волокнистий матеріал, придатний для використання як ізоляція будівель. Анаеробний процес супроводжувався нагріванням частин турбіни до 500°C в 6-метровій газовій печі, що обертається.

ReFiber планував залучити капітал та побудувати підприємство потужністю 5000 тонн на рік. Але без постійних поставок старих лопатей компанія припинила свою діяльність у 2007 році. Гроув-Нільсен зараз працює консультантом у компанії Siemens Gamesa Renewable Energy, яка виробляє вітряні електростанції.

Але процеси, у яких використовується піроліз чи інші високотемпературні методи, зазвичай дають відносно слабкі волокна, які можна повторно використовувати у дорогих композитах. Зрештою, може вийти просто дуже дороге сміття.

Французька хімічна компанія Arkema заявляє, що може робити термопластичні смоли, які дозволять зробити придатними лопаті для вторинної переробки. Щоб довести це у 2017 році компанія виготовила лопать, використовуючи композит із скловолокна та метакрилатної смоли. На відміну від епоксидної смоли, цю можна розплавляти та переробляти.

Європейські вітряні турбіни можуть знайти друге життя у країнах, які лише починають переходити на вітроенергетику, що відстрочить вирішення проблеми із закінченням терміну служби. «Хорошим прикладом є перша датська турбіна Bonus – тепер Siemens – турбіна, знята після 33 років успішної експлуатації», – каже Гроув-Нільсен. "Ця турбіна зараз працює на півдні Італії недалеко від Барі".

В інших випадках до утилізації старих лопатей турбін можна використовувати творчий підхід. Незалежний інженер вітряних турбін Бехзад Рахнама написав дипломну роботу про переробку морських вітряних турбін у штучні рифи. За словами Рахнам, хоча ідея не була перевірена, вона викликала великий інтерес. Він показує, що це матеріали, які у лопатях, є нетоксичними для морських жителів.

2. Екологічно чисті методи утилізації акумуляторів та переробка елементів живлення

«Кожен рік у всьому світі утворюється близько 300 000 тонн відходів літій-іонних акумуляторів», – йдеться у звіті компанії Esticast Research & Consulting. Більшість цих батарей надходить від мобільних пристроїв, але незабаром ці відходи буде витіснено старими акумуляторами від електромобілів.

За словами представника дослідження та розробки акумуляторів Національної лабораторії відновлюваної енергії США (National Renewable Energy Laboratory, NREL), автомобільні акумулятори вважаються застарілими, коли їх можна зарядити лише на 80% своєї ємності. За оцінкою NREL, термін їхнього корисного використання становить близько 15 років. Після цього їх можна повторно використовувати в стаціонарних сховищах або переробляти.

Тести NREL показують, що використані автомобільні акумулятори є хорошими для зберігання енергії від електромережі. Але існує безліч різних виробників акумуляторів, які відрізняються хімічним складом, системою керування, а також розміром та формою. Поки що немає жодної єдиної системи, яка могла б поєднати різні використані батареї для спільної роботи.

Чи можливо використовувати акумулятор одного типу? Наприклад, Nissan оцінює можливість використання старих акумуляторів електромобілів Leaf у стаціонарних системах зберігання. Пілотне дослідження показало, що це практичний підхід.

Маючи найбільший у світі парк електромобілів на дорогах, Китай є найбільшою у світі бомбою сповільненої дії, коли йдеться про літій-іонні батареї зі строком служби, що минув. Зараз це поки що не є нагальною проблемою, тому що автомобілі були введені в експлуатацію лише за останні 6-7 років.

Але офіційні особи в Пекіні бачать у купі відпрацьованих акумуляторів проблему, яку необхідно вирішувати прямо зараз. У лютому 2018 року китайський уряд ухвалив рішення, що вимагає від виробників електромобілів побудувати інфраструктуру для відновлення використаних батарей.

У Європі постанова 2008 року, відома як Директива про батареї, вимагає від урядів заохочувати утилізацію батарей.

Літій-іонні акумуляторні батареї для електромобілів складаються з десятків і тисяч окремих циліндричних або прямокутних акумуляторних осередків у великому пластиковому корпусі, в якому також знаходяться різні датчики та схеми. Найбільш цінні речовини всередині осередків – це активні матеріали, з яких складаються катод та анод. Більшість маси комірки складається з конструктивних елементів, виготовлених із сталі, вуглецю та алюмінію.

Активні матеріали, що становлять найбільший інтерес для переробників акумуляторів, – це перехідні метали, кобальт і нікель, що містяться в катоді. Різні літій-іонні батареї містять різні співвідношення цих металів, а також літій і, у

деяких випадках, марганцю або заліза. Високі ціни на кобальт є рушійною силою для переробників, хоча сьогодні утилізується лише 16% кобальту в батареях. Літій та анодні матеріали, наприклад, графіт, не можуть бути утилізовані з економічної точки зору.

Компанія Umicore, що базується в Бельгії, є одночасно великим виробником матеріалів для акумуляторів та найбільшим у Європі переробником літій-іонних акумуляторів. Компанія використовує високотемпературну технологію на своєму підприємстві неподалік Антверпена. Там вона може переробляти до 7 000 тонн всіх типів літій-іонних батарей на рік, що еквівалентно тому, що знаходиться всередині 35 000 електромобілів. Umicore має угоди з низкою автовиробників, включаючи Nissan, Toyota і Tesla, про утилізацію старих літій-іонних акумуляторів електромобілів.

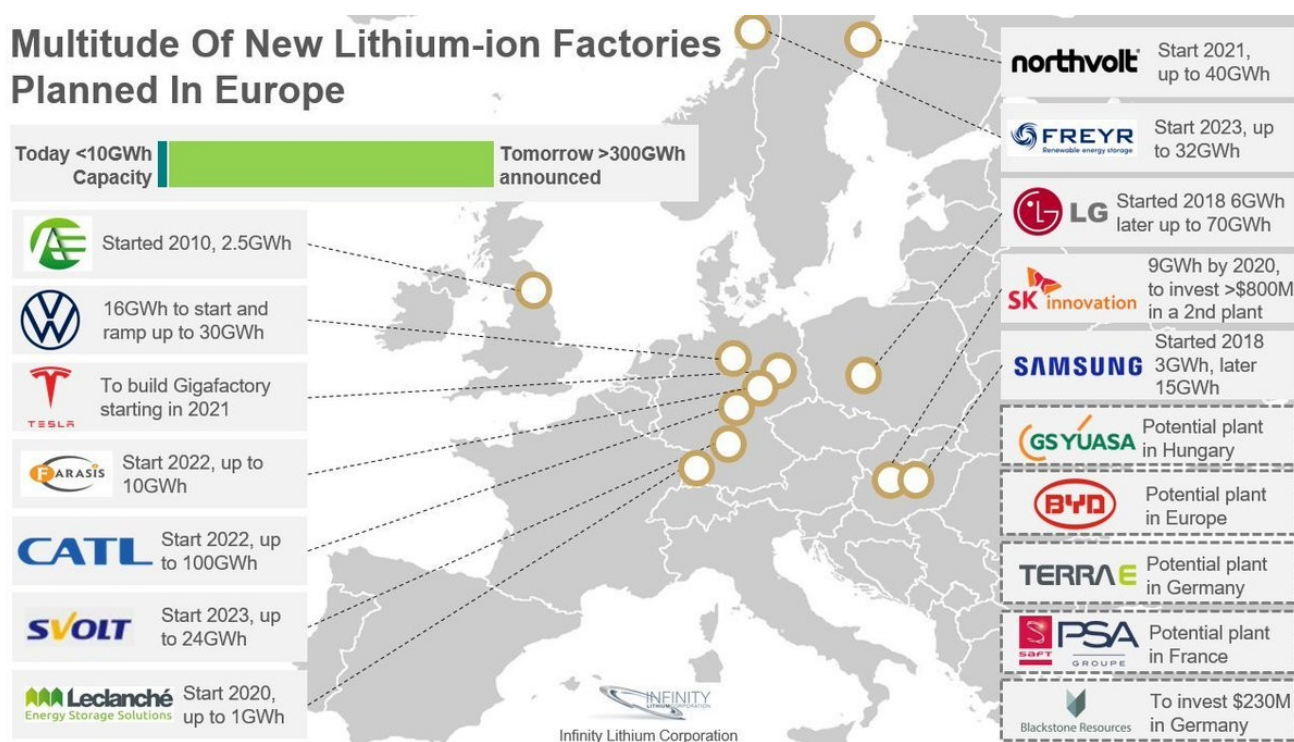


Рисунок 7.3 – Заводи з виробництва акумуляторних батарей в Європі

У США літій-іонні батареї не вважаються небезпечними відходами і можуть бути виброшені разом із звичайними побутовими відходами. Але деякі фірми розробили ноу-хау по утилізації матеріалів із відходів акумуляторних батарей.

Одна з них – Retrie Technologies, яка управляє великими підприємствами штату Огайо та Британської Колумбії. Компанія заявляє, що переробляє літні акумулятори всіх типів понад 20 років.

Процес переробки в цій компанії полягає так: спочатку розбираються вручну великі акумуляторні батареї від транспортних засобів; потім розділені осередки подають у дробарку, яка запобігає викидам та хімічним реакціям. Дроблення осередків призводить до двох утворень: металевих твердих частинок з

різною кількістю міді, алюмінію та кобальту; та рідини, збагачену металами, які згодом очищаються та витягуються на місці шляхом сушіння.

Але такі метали як кобальт повинні бути дуже чистими, щоб їх можна було знову використовувати в батареях. Вилучення металів високої чистоти із потоків змішаних металів дуже трудомістке і дороге. При використанні таких методів високотемпературної переробки виходять метали, які не можуть конкурувати за вартістю з нещодавно видобутими викопними металами.

Крім того, виготовлення нових катодів із перероблених матеріалів – дорогий процес. Тому має бути можливість витягувати відпрацьований катодний матеріал з літій-іонних батарей та оновлювати його для повторного використання, не повертаючись до вихідних компонентів.

Ці та інші проблеми необхідно вирішити, щоб побудувати стабільну систему утилізації батарей. А ще переробники вимагають оплати витрат на утилізації акумуляторів з боку виробника відходів. Також, виробники електромобілів та виробники акумуляторів повинні створити регіональні мережі для прийому та утилізації відпрацьованих акумуляторів.

3. Екологічні практики утилізації сонячних панелей: Рішення для майбутнього

Питання, що робити зі старими сонячними батареями, буде насамперед вирішено в Європі. Мало того, що в Європі є 70% світової встановленої фотоелектричної потужності, Європейський Союз є єдиним регіоном у світі, де діє нормативна база, відома як Директива WEEE, яка забороняє вивозити на звалище електронні продукти, у тому числі і фотоелектричні панелі.

За оцінками ЄС, в даний час у регіоні виробляється 30 000 тонн відпрацьованих фотоелектричних панелей на рік, і в наступні два десятиліття цей показник зросте до 500 000 тонн на рік. PV Cycle, європейська асоціація індустрії вторинної переробки фотоелектричних елементів, заявляє, що з 2010 року її члени зібрали 20 000 тонн відпрацьованих фотоелектричних панелей.

Більшість сонячних панелей містять шар кристалічного кремнієвого напівпровідника, затиснутий між скляними листами і полімерними міцними плівками, і все це в рамі з алюмінію. Поверхня напівпровідника залита шаром срібла, що використовується як провідний матеріал, а також припоєм зі свинцю та олова.



Рисунок 7.4 – Пошкоджені сонячні панелі

Згідно з дослідженням Європейської комісії, проблеми, пов'язані з неправильною утилізацією відпрацьованих фотоелектричних панелей, можуть включати вилугування важких металів, таких як свинець.

Прагнучи уникнути таких екологічних проблем та максимізувати вилучення матеріалів, ЄС профінансував дослідження, у тому числі проект «Повне відновлення фотоелектричних систем із закінченням терміну служби» (Full Recovery End of Life Photovoltaic, FRELП).

Процес FRELП відновлює кремній та інші метали шляхом нагрівання панелей у печі. Потім йде стадія розчинення кислоти та фільтрація, при якому витягують кремній. Інші метали відновлюються шляхом електролізу. Можливо відновити 93% матеріалів із використаних фотоелектричних панелей. Більшість матеріалу, що залишився – це пластик, який спалюється в печі для отримання додаткової енергії.

Хоча FRELП є новим європейським стандартом у переробці фотоелектричних панелей, він не без проблем: на кожні 1000 кг відходів фотоелектричних панелей втрачається 20 кг металів у вигляді гідроксидів, включаючи олово, алюміній, свинець та цинк, які згодом поховуються. Ще 2 кг втрачається у вигляді викидів закису азоту під час електролізу, а 5 кг перетворюється на золу на стадії нагріву печі.

Якість відновленого кремнію недостатньо для повторного використання як фотоелектричного матеріалу, але він підходить для використання у спеціальних алюмінієвих та сталевих сплавах.

А в Америці Вчені з Університету штату Арізона розробляють новий процес, званий послідовним електровиділенням (sequential electrowinning), за допомогою якого можна видобувати чистіші метали із сонячних елементів.

Метали коштуватимуть 13 доларів за модуль, що достатньо, щоб заплатити за переробку порівняно з 3 доларами в процесі циклу FRELP.

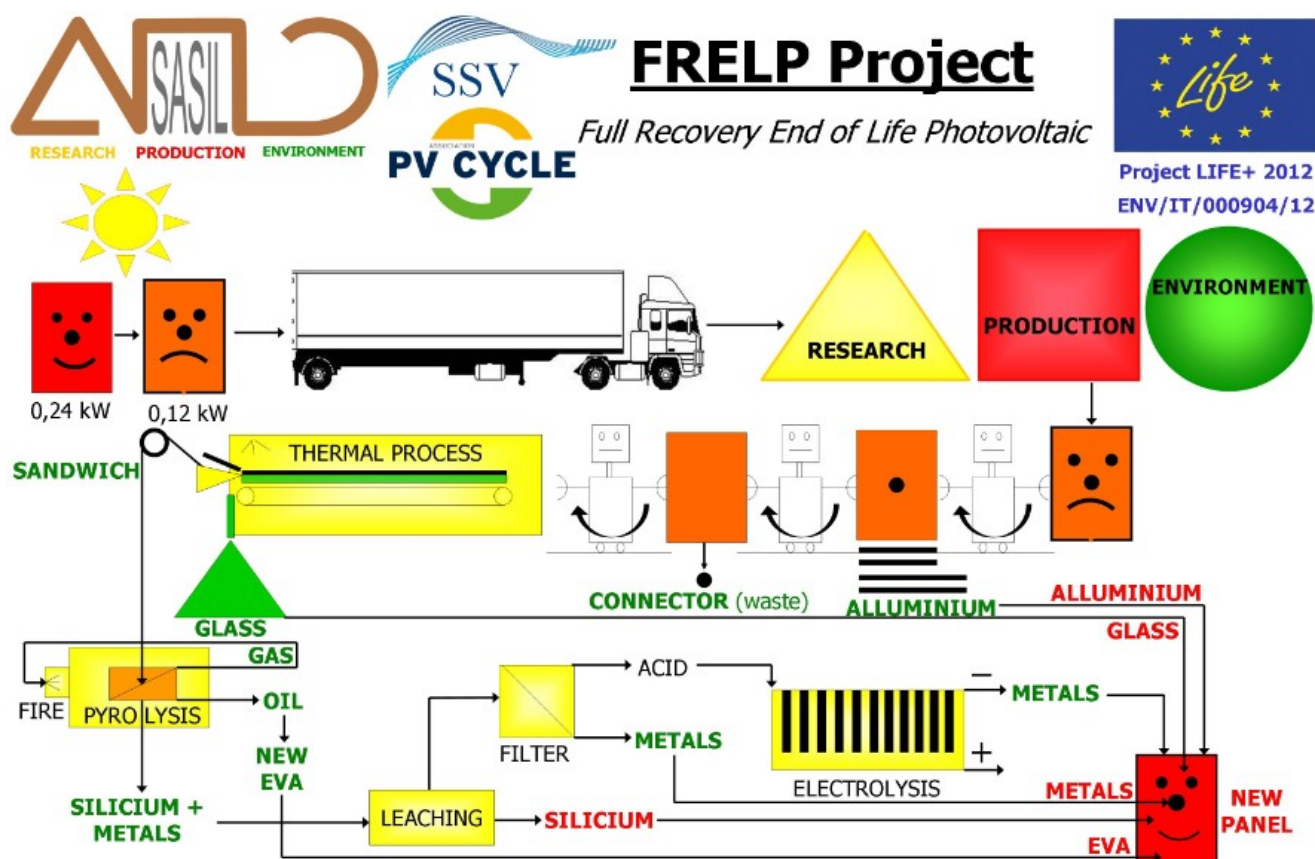


Рисунок 7.5 – Проєкт FRELP

Сполучені між собою сонячні елементи поринають у нагрітий розчин азотної кислоти для розчинення срібла, олова, міді та свинцю. Вилужений розчин охолоджують, в результаті чого діоксид олова випадає в осад. При додатку різних напруг інші метали виходять із розчину та осаджуються на електродах.

У вторинному процесі просочується кремній, що залишився спочатку в плавикової кислоті, а потім в гідроксиді натрію. При цьому стравлюються залишки некремнієвих матеріалів, і залишається більша частина кремнію високої "сонячної" якості.

Промисловість сонячної енергетики готова модернізувати. Але пройнуть десятиліття, перш ніж модулі, розгорнуті в існуючих найбільших комунальних підприємствах, доопрацюють до кінця свого терміну. Але визначити ці терміни складно: 20, 25 чи навіть 35 років?

На даний момент сонячні відходи здебільшого утворюються, коли модулі ламаються раніше терміну або не відповідають своїм гарантіям, і в цьому випадку виробник змушений вживати заходів для утилізації чи переробки. Після закінчення терміну гарантії відповідальність за панелі лягає на їхнього власника. Виробники технологій ВДЕ часто не вважають себе відповідальними за переробку своєї продукції.

Галузеві експерти та спостерігачі погоджуються, що в міру того, як старі сонячні панелі, лопаті вітряних турбін та акумулятори електромобілів скупчуються через відсутність оптимальних шляхів утилізації, то скоро відходи стануть на порядку денному.

4. Питання для самоперевірки

1. Чому утилізація енергетичного обладнання є важливою складовою екологічної безпеки?
2. Які основні етапи процесу утилізації енергетичного обладнання?
3. Які методи первинного демонтажу використовуються для енергетичного обладнання?
4. У чому полягає різниця між механічною, термічною та хімічною утилізацією?
5. Які матеріали енергетичного обладнання підлягають повторній переробці?
6. Як відбувається утилізація обладнання, яке містить небезпечні або токсичні матеріали?
7. Які сучасні технології використовуються для утилізації великих енергетичних установок (наприклад, турбін чи трансформаторів)?
8. У чому полягають особливості утилізації обладнання для атомної енергетики?
9. Які законодавчі вимоги та екологічні стандарти регулюють утилізацію енергетичного обладнання?
10. Як розвиток кругової економіки впливає на підходи до утилізації енергетичного обладнання?

Тема 8. Екологічні аспекти використання та утилізації енергетичних ресурсів

План лекції:

1. Загальні питання взаємодії традиційної енергетики з навколишнім середовищем
2. Взаємодія ТЕС із довкіллям
3. Взаємодія АЕС з навколишнім середовищем
4. Взаємодія ГЕС та навколишнього середовища
5. Екологічні аспекти відновлюваної енергетики
6. Питання для самоперевірки

1. Загальні питання взаємодії традиційної енергетики з навколишнім середовищем

Під традиційною енергетикою будемо розуміти енергогенеруючі потужності, які є в даний час і залишаться, як мінімум, на найближчі 20-50 років, основою існування та розвитку цивілізації. Зупинимось на тій частині проблеми, яка пов'язана з енергогенеруючими установками: електростанціями (ТЕС, ГЕС та АЕС), опалювальними та опалювально-виробничими котельнями – головними джерелами енергопостачання.

Вплив на довкілля різних типів енергоустановок відбувається по-різному. Це видно на рис.8.1 і з табл.8.1., де показана узагальнена схема основних видів впливу енергетики на навколишнє природне середовище та її компоненти.

За даними впливу енергетичних об'єктів на біосферу можна виділити кілька груп найбільш важливих взаємодій енергоустановок з компонентами довкілля. Основні їх такі:

- водоспоживання та водовикористання, що зумовлює зміну природного матеріального балансу водного середовища (перенесення солей, поживних речовин та ін.);
- осадження на поверхні твердих викидів продуктів згоряння органічних палив з атмосфери, що викликає зміну властивостей води, її кольоровості, альбедо та ін.;
- випадіння на поверхню у вигляді твердих частинок та рідких розчинів продуктів викидів в атмосферу, у тому числі: кислот та кислотних залишків; металів та їх сполук, канцерогенних речовин;
- викиди безпосередньо на поверхню суші та води продуктів спалювання твердих палив (зола, шлаки), а також продуктів продувок, очищення поверхонь нагріву (сажа, зола тощо);
- викиди на поверхню води та суші рідких та твердих палив при транспортуванні, переробці, перевантаженні;

- викиди твердих та рідких радіоактивних відходів, що характеризуються умовами їх поширення у гідро- та літосфері;
- викиди теплоти, наслідками яких можуть бути: постійне локальне підвищення температури у водоймі; тимчасове підвищення; зміна умов льодоставу, зимового гідрологічного режиму; зміна умов паводків; зміна розподілів опадів, випарів, туманів;

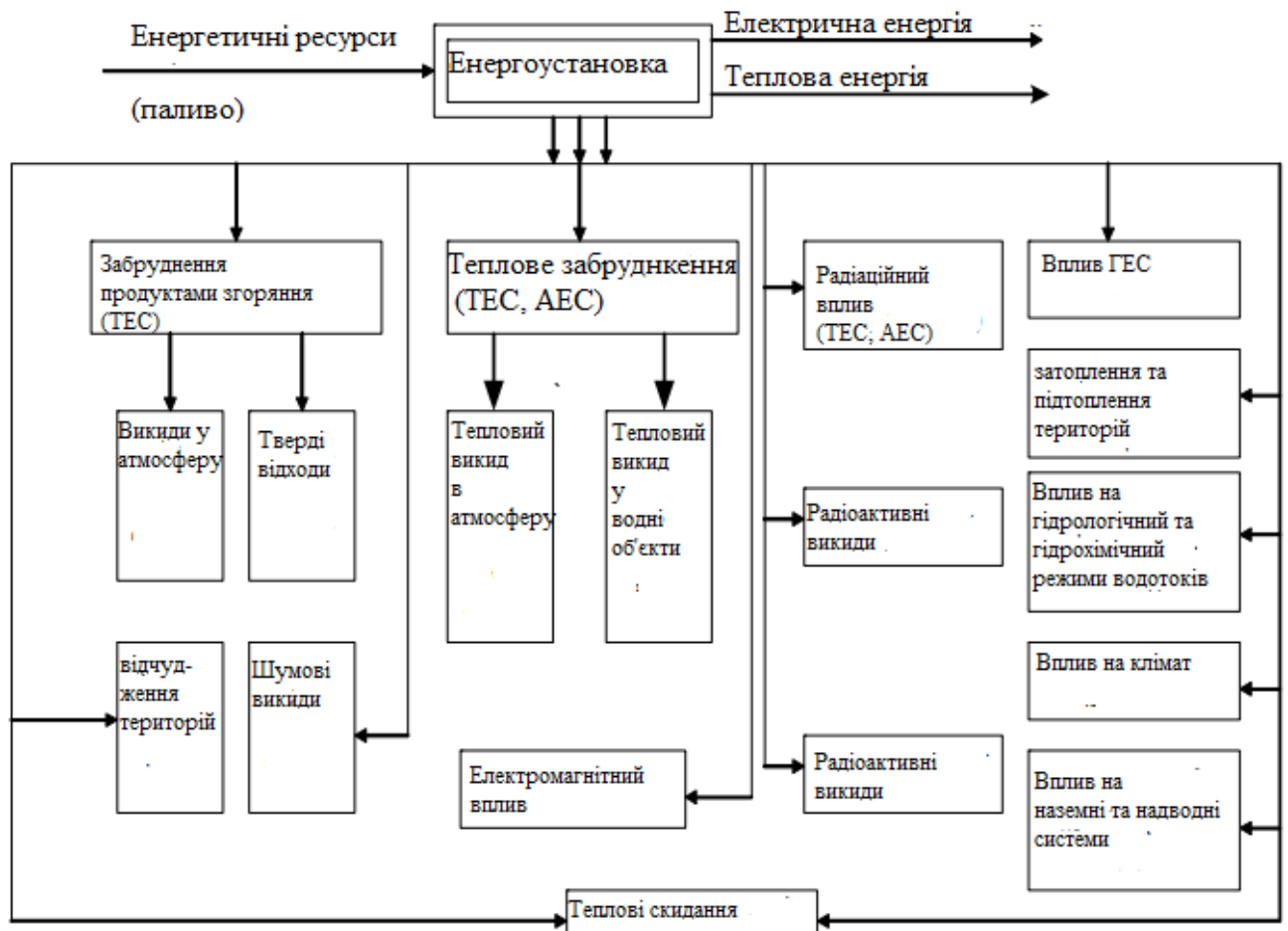


Рисунок 8.1 – Основні види впливу енергетики на навколишнє природне середовище

- створення водосховищ у долинах річок або з використанням природного рельєфу поверхні, а також створення штучних ставків-охолоджувачів, що спричиняє: зміну якісного та кількісного складу річкових стоків, зміну гідрології водного басейну; збільшення тиску на дно, проникнення вологи в розломи кори та зміна сейсмічності; зміна умов рибальства, розвиток планктону та водної рослинності; зміна мікроклімату; зміна умов відпочинку, спортивних занять, бальнеологічних та інших факторів водного середовища;

Таблиця 8.1 – Основні чинники впливу енергетичних об'єктів на компоненти довкілля

Об'єкт			
ТЕС	АЕС	ГЕС	Підстанції
Атмосфера			
1. Витрата кисню	1. Викиди газоподібних відходів	1. Випаровування вологи з поверхні водойм	1. Електромагнітні поля
2. Викиди NO _x , CO _x , SO _x , H ₂ O, твердих частиць, аерозолів			
3. Теплове забруднення			
Гідросфера			
4. Витрата води	2. Витрата води	2. Зміна якісного та кількісного складу стоків рік	2. Утворення зон підвищеної напруги магнітного поля біля поверхні води
5. Викиди стічних вод	3. Злив радіоактивних відходів	3. Гідрогеологічні зміни водойм	
6. Теплове забруднення	4. Теплове забруднення		
Літосфера			
7. Вилучення територій	5. Зміна ландшафту	4. Вилучення територій	3. Вилучення територій
8. Забруднення відходами	6. Вилучення територій	5. Зміна ландшафту	4. Вирубівання лісів
9. Зміна ландшафту	7. Поховання радіоактивних відходів	6. Зміна сегтемічності	5. Утворення блукаючих струмів
		7. Вирубівання лісів	6. Зміна ландшафту

– зміна ландшафту при спорудженні різномірних енергетичних об'єктів, споживанні ресурсів літосфери, у тому числі: вирубівання лісів; вилучення із сільськогосподарського обороту орних земель; взаємодія берегів із водосховищами.

– вплив викидів, виносів та зміна характеру взаємодії водних басейнів із сушею на структуру та властивості континентальних шельфів.

Забруднення можуть сумарно впливати на природний кругообіг та матеріальні баланси тих чи інших речовин між гідро-, літо- та атмосферою. Спільною всім джерел енергії як традиційної, і нетрадиційної, є проблема

теплових викидів. Всі зазначені взаємодії пов'язані між собою, і кожна з них не може розглядатися ізольовано. Крім того, механізм взаємодії в кожній із груп заснований на різномірних фізичних та фізико-хімічних процесах та явищах.

Різноманітність даних факторів, їх взаємозв'язок, як з повітряним середовищем, так і з поверхнею та надрами планети (табл. 8.2), зумовлюють необхідність багатостороннього аналізу, який враховує дані географії, метеорології, кліматології та інших наукових дисциплін.

Таблиця 8.2 – Зміни елементів клімату в розвинених районах промисловості, порівняно з природними.

Елемент клімату	Зміна
Наявність у повітрі частинок, що є ядрами конденсації	у 10 разів більше
Наявність у повітрі газових домішок	У 5-25 разів більше
Кількість хмар	На 5-10% більше
Тумани	На 100% більше На 30% більше
Взимку	
Влітку	
Опади	На 5-10% більше На 10% більше На 5% більше
Усього	
Число днів з опадами менше 5 мм	
Снігопади	
Відносна вологість:	На 2% менше На 8% менше
Взимку	
Влітку	
Сонячне випромінювання	На 15-20% менше
Сумарне ультрафіолетове надходження взимку	На 30% менше на 3% менше На 5-10% менше
Влітку	
Тривалість	
Температура:	На 0,5-1°C вище На 1-2°C вище
Середньорічна	
Зимовий максимум	
Швидкість вітру	На 20-30% менше На 10-20% вище
Середньорічна	
Екстремальні пориви	

Подані в табл. 8.2 дані дозволяють, по-перше, якісно оцінити вплив відповідних факторів, про які було сказано вище. По-друге, з розгляду антропогенних і природних процесів у навколишньому середовищі проявляється взаємозв'язок всіх видів балансів (променистої енергії, домішок, твердих частинок, теплоти). А це вимагає узагальненого системного підходу до проблеми впливу енергетики на екологію, заснованого на детальному аналізі всіх складових даного процесу.

2. Взаємодія ТЕС із довкіллям

З усіх типів електростанцій найбільший негативний вплив на довкілля надають ТЕС. Це, головним чином пов'язано з екологічними аспектами спалювання органічного палива.

Враховуючи комплексний характер розглянутої проблеми, скористаємося методологією системного аналізу взаємодії енергетики та навколишнього середовища. У цьому випадку може бути побудована характерна схема, що пов'язує всі взаємодії сучасних ТЕС з навколишнім середовищем з урахуванням даних про елементарні процеси, що відбуваються при спалюванні палива та при перетворенні теплової енергії на механічну роботу, а потім на електричну енергію.

Така типова схема наведена на рис.8.2. Стрілками показані напрями основних характеристик взаємодій енергетичного обладнання ТЕС з атмо-, гідро- та літосферою. Висхідне паливо витягується з надр і після збагачення та переробки подається в топку парогенератора ПГ. Для забезпечення спалювання палива з атмосфери в топку подається повітря. Продукти згоряння, що утворюються, передають основну частину теплоти робочому тілу енергетичної установки, частина теплоти розсіюється в навколишнє середовище, а частина виноситься з продуктами згоряння в димову трубу і далі в атмосферу.

Залежно від вихідного складу палива продукти згоряння, що викидаються в атмосферу, містять оксиди азоту (NO_x), оксиди вуглецю (CO_x), оксиди сірки (SO_x), пари води та інші речовини в твердому, рідкому та газоподібному стані, які є основними забруднювачами довкілля (табл.8.3, 8.4).

Забруднення атмосфери дрібними твердими частинками золи пов'язане, головним чином, з використанням в якості палива, вугілля, яке попередньо подрібнюється в спеціальних млинах. Однак, при правильній організації процесу спалювання та застосуванням сучасних фільтрів з КПД 95-99%, їх кількість може бути зведена до необхідного мінімуму.

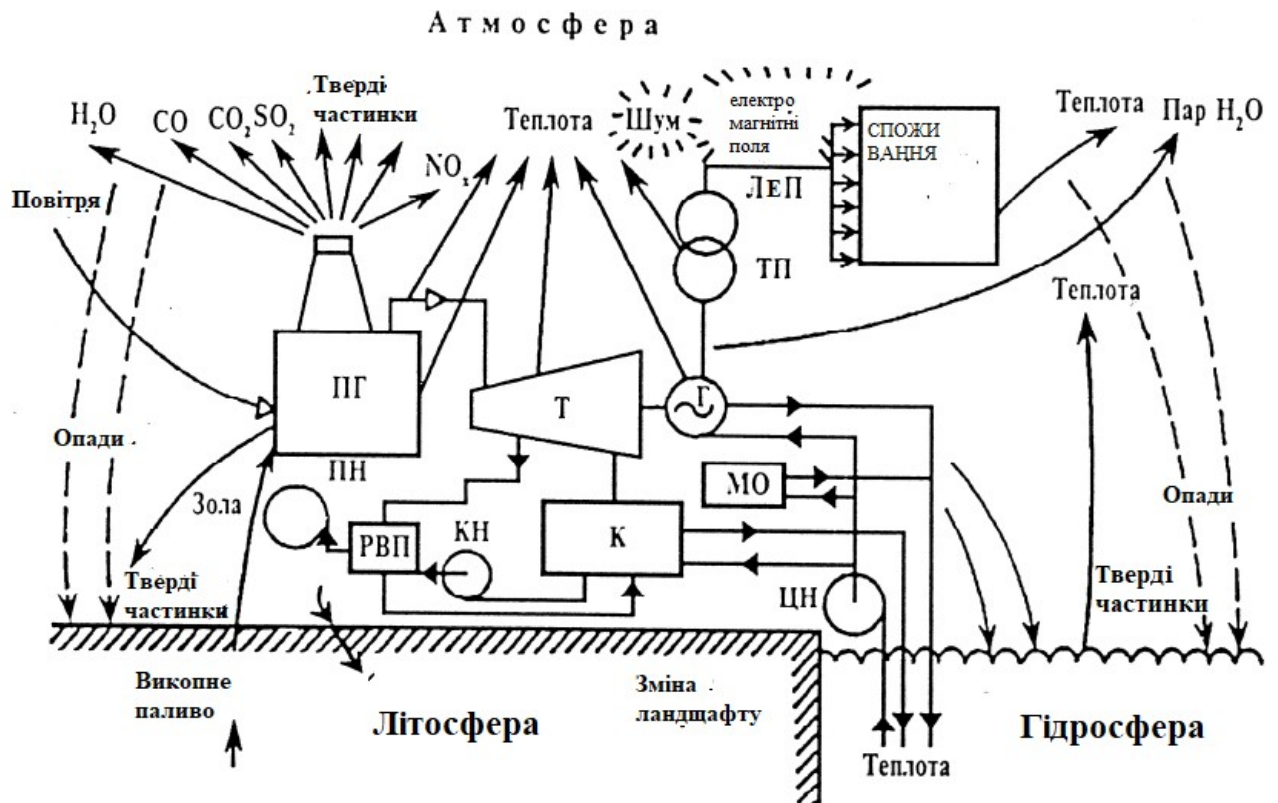


Рисунок 8.2 – Взаємодія ТЕС із довкіллям.

При спалюванні рідкого палива (мазуту) з викидами в атмосферу надходять: оксиди сірки та азоту, газоподібні та тверді продукти неповного згоряння палива, з'єднання ванадію.

При спалюванні природного газу в атмосферу також потрапляють оксиди азоту, але утворюється їх значно менше, ніж при спалюванні мазуту. Це пояснюється як властивостями самого палива, так і особливостями процесів спалювання. Очевидно, що природний газ сьогодні є найчистішим видом енергетичного палива.

Одним із факторів впливу вугільних ТЕС на навколишнє середовище є викиди системи складування, транспортування, пилоприготування та видалення пилу (пилове забруднення, виділення продуктів окислення палива). По-різному впливають на навколишнє середовище системи видалення твердих компонентів продуктів згоряння – шлаків і золи, що видаляються з топки і утворюють золошлаковідвали на поверхні літосфери.

Таблиця 8.3 – Основні забруднювачі атмосферного повітря

Забруднювач Мт/рік	Джерело		Середньорічна концентрація повітрі, мг/м ₃	Вплив	
	Природний	Антропогенний		на людину	На довкілля
Частинки	3760	240	0,04 ÷0,4	Залежить від хімічного складу	Погіршення видимості, підвищення хмарності, зниження температури, руйнування матеріалів
Сірчистий ангідрид, SO ₂	150	150	0,05 ÷0,1	Дихальні шляхи	Кислотні дощі, корозія металів, знищення рослин та лісів, зниження врожайності
Оксид азоту, NO _x	770 (лісові пожежі)	55	0,05 ÷0,2	Гемоглобін крові	Кислотні дощі, парниковий ефект, руйнування озонового шару, смок, зниження врожайності, знищення лісів
Оксид вуглецю, CO	32	350	1÷50	Гемоглобін крові	Перехід CO-CO ₂ у нижніх шарах (при концентраціях, менше 1 мг/м ³ , вплив відсутній)
Вуглеводи, C _x H _y	2600	80	3	?	Руйнування озонового шару
ПАУ	-	100%	до 0,01	Канцерогенний вплив	Зниження прозорості атмосфери

Таблиця 8.4 – Усереднені показники забруднення атмосфери ТЕС

Забруднювач, г/кВт·год	Види палива			
	Кам'яне вугілля	Буре вугілля	Мазут	Природний газ
Двоокис сірки	6,0	7,7	7,4	0,002
Тверді частинки	1,4	2,7	0,7	-
Окиси азоту	21,0	3,45	2,45	1,9
Фтористі сполуки	0,05	0,11	0,004	-

У паропроводах від парогенератора до трубоагрегату (Т), як і корпусах і ресиверах турбогенератора, відбувається передача теплоти навколишньому повітрю. У конденсаторі (К), а також у системі регенеративного підігріву води, що включає регенеративні водопідігрівачі (РВП), конденсатні (КН) і поживні насоси (ПН), теплота конденсації та переохолодження конденсату сприймається охолоджувальною водою, що подається циркуляційними насосами ЦН. Перетворення механічної роботи в електричну енергію в електрогенераторі (Г) також супроводжується втратами, які зрештою перетворюються на теплоту, що передається атмосферному повітрю. Робота механізмів змішувальних апаратів, що обертаються, трансформаторів пов'язана з поширенням в навколишньому середовищі акустичних впливів, а робота трансформаторних підстанцій (ТП), ліній електропередач (ЛЕП), як і всіх електричних машин, пов'язана з впливом електромагнітних полів і тепловиділеннями в навколишнє середовище.

Особливу групу вод, що використовуються ТЕС, становлять охолоджувальні води, що забираються з водойм на охолодження поверхневих теплообмінних апаратів – конденсаторів парових турбін, водо-, масло-, газо-і охолоджувачів повітря. Ці води можуть вносити у водойму велику кількість тепла. Так, з конденсаторів турбін відводиться приблизно до двох третин усієї кількості тепла, одержуваного при згорянні палива. Це набагато перевищує суму тепла, що відводиться від інших охолоджуваних теплообмінників. Тому з охолодженням конденсаторів зв'язують зазвичай так звані «теплові забруднення» водойм скидними водами ТЕС і АЕС.

Про кількість тепла, що відводиться з охолоджувальною водою окремих електростанцій, можна судити за встановленими енергетичними потужностями. Середня витрата охолоджуючої води і кількість тепла, що відводиться на 1000 МВт потужності, становлять для ТЕС відповідно 30 м³ / с і 4500 ГДж / год, а для АЕС з турбінами насиченої пари середнього тиску – 50 м³ / с і 7300 ГДж / год.

Крім конденсаторів трубоагрегатів, споживачами охолоджуючої води є маслоохолоджувачі (МО), системи зливу на поверхню ґрунту або гідросферу.

Інші споживачі технічної води (системи золо- та шлаковидалення, хімводоочищення, охолодження та промивання обладнання) споживають близько 7% загальної витрати води. У той самий час саме ці споживачі води є основними джерелами домішкового забруднення. При промиванні поверхонь нагрівання котлоагрегатів серійних блоків ТЕС потужністю 300 МВт утворюється до 10 000 м³ розведених розчинів соляної кислоти, їдкого натру, аміаку, солей амонію, заліза та інших речовин.

Як один із компонентів, що забруднює довкілля, розглядається шумовий вплив. Енергетичне устаткування, зазвичай, є джерелом значного шуму. Однак, основні джерела шуму – такі, як парові котли, турбіни, генератори, редуційно-охолоджувальні пристрої – розташовані всередині приміщення ТЕС. Тому вони, як правило, не мають значного впливу на прилеглу до ТЕС територію.

Від обладнання, розташованого поза головним корпусом, шум може поширюватися за межі території станції. Ця обставина, характерна для всіх типів електростанцій, найбільше це значення має для ТЕЦ, які зазвичай розташовані в міському масиві. Їхній вплив на райони житлової забудови може виявитися суттєвим.

Джерелом постійного шуму, що істотно впливає на навколишній район, є машини, газорозподільні пункти, трансформатори, градирні, місця забору повітря з атмосфери або на виході з димової труби.

3. Взаємодія АЕС з навколишнім середовищем

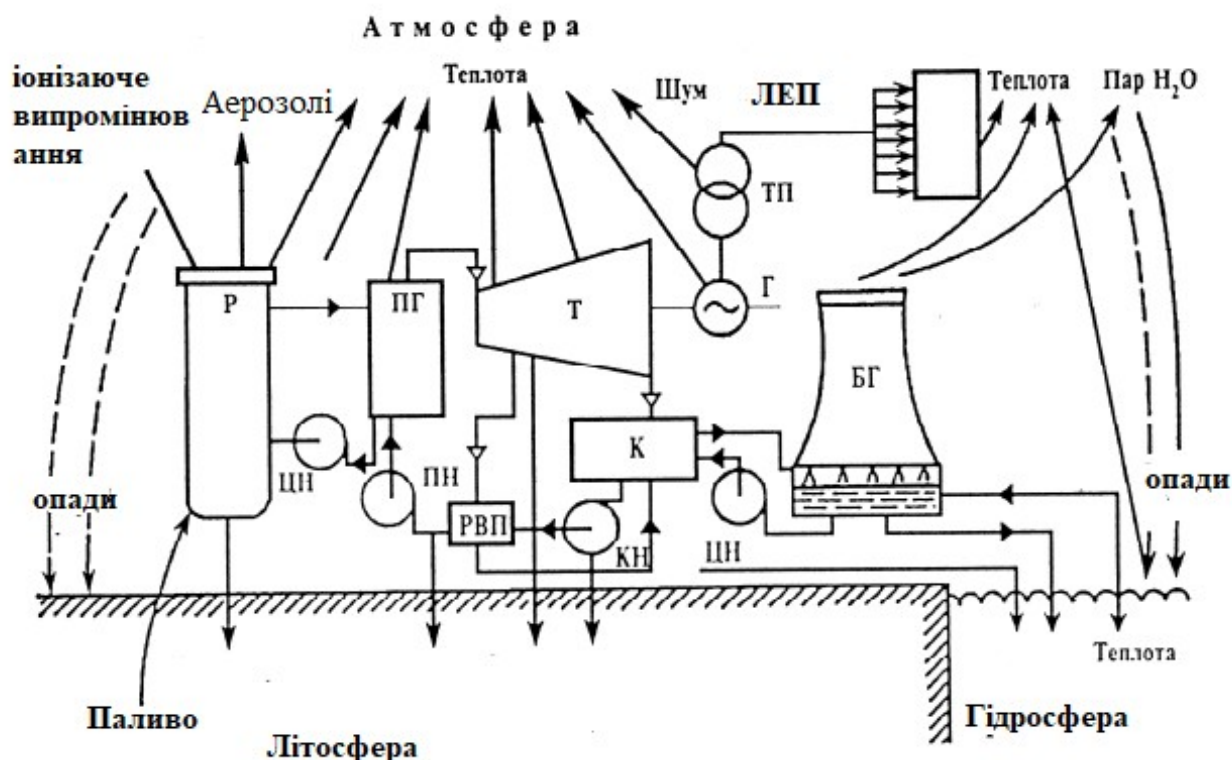
Особливістю атомної енергетики є невелика витрата ядерного палива, що забезпечує виділення величезної кількості енергії (тепла). Для АЕС потужністю 1 млн. кВт потрібно за добу лише 3 кг U_{235} замість 7100 т.у.п, як для ТЕС такої потужності.

Головна різниця між ТЕС та АЕС полягає в тому, що в схемі останньої замість котла, що працює на органічному паливі, є атомний реактор, а також специфічний парогенератор особливої конструкції. Решта обладнання, а отже, і вплив цієї частини АЕС на навколишнє середовище, не відрізняється від обладнання ТЕС: парова турбіна, електричний генератор, конденсатор, водяний насос та ін.

Розвиток ядерної енергетики України базується на АЕС з реакторами, що охолоджуються водою під тиском (водо- водяні енергетичні реактори ВВЕР). Реактори типу ВВЕР отримали у світовій енергетиці найширше застосування (близько 60%).

Конструкція реакторів за останні 25 років практично не зазнала істотних змін. АЕС, що експлуатуються в Україні, обладнані блоками потужністю 440 МВт і 1000 МВт.

Перетворення кінетичної енергії уламків та продуктів поділу відбувається в активній зоні реактора, в якій майже вся енергія ядерної реакції передається теплоносію. При нормальній експлуатації АЕС, радіоактивність контуру ядерного реактора обумовлена активізацією продуктів корозії та проникненням продуктів поділу в теплоносій. Наведеній активності піддаються практично всі речовини, що взаємодіють із радіоактивними випромінюваннями.



У схемах АЕС передбачаються необхідні пристрої для збирання активних речовин та видалення їх у вигляді рідких, газоподібних або твердих відходів. Рідкі відходи містять радіоактивні ізотопи стронцію, цезію, водню та інших елементів. Сумарне розрахункове значення радіоактивності рідких відходів блоку АЕС з реактором ВВЕР потужністю 1000 МВт становить близько 10^{12} с1. Радіоактивність рідких і газоподібних викидів у різних АЕС відрізняється на кілька порядків, але в переважній більшості випадків сумарні викиди значно нижчі від гранично допустимих рівнів (ГДР).

Систематичні спостереження за впливом АЕС на водне середовище за нормальної експлуатації не виявили суттєвих змін природного радіоактивного фону. При встановлених допустимих рівнях впливу ядерної енергетики на гідросферу та існуючих методах контролю викидів діючі типи ядерних

енергетичних установок не становлять загрози порушення локальних та глобальних рівноважних процесів у гідросфері та її взаємодії з іншими складовими географічної оболонки Землі.

Відповідно до «Правил ядерної безпеки АЕС» МАГАТЕ, проекти всіх систем і компонентів АЕС, що впливають на ядерну безпеку, повинні містити докладний аналіз усіх можливих відмов складових елементів з виділенням небезпечних відмов та оцінку їх наслідків. З огляду на поширення викидів при аваріях на АЕС встановлюються санітарно-захисні зони.

Всі інші впливи АЕС на гідро- та літосферу, не пов'язані з радіоактивністю (вплив системи водопостачання, каналів, що підводять і відводять, фільтрів), якісно не відрізняються від аналогічних впливів ТЕС. Основне тепловиділення АЕС у довкілля, як і ТЕС, відбувається у конденсаторах паротурбінних установок. Однак питомі тепловиділення в охолодну воду в АЕС значніші, ніж у ТЕС, внаслідок більшої питомої витрати пари. Це визначає суттєві питомі витрати води, що охолоджує. У зв'язку з чим на більшості нових АЕС передбачається встановлення градирень, в яких тепло відводиться безпосередньо в атмосферу. Потім охолоджувальна вода надходить у охолоджувач. Це водоймище відокремленого користування призначене для забезпечення замкнутої системи водопостачання АЕС.

Споживання повітря на АЕС визначається потребами розведення забруднюючих викидів та забезпечення нормальних умов життєдіяльності персоналу.

Найбільш складною екологічною проблемою при експлуатації АЕС є поховання великотоннажних радіоактивних відходів, що утворюються при демонтажі елементів обладнання, що мають радіоактивність після закінчення терміну служби або з інших причин, а також відпрацьованого ядерного палива. Передбачається кілька варіантів поховання: поміщення всіх забруднених радіоактивністю елементів у шахтні виробки; поховання лише найбільш забруднених наведеною радіоактивністю елементів із повторним використанням інших за призначенням; періодична дезактивація обладнання на місці із захороненням концентрованих відходів та змивів.

Подальший розвиток атомної енергетики України пов'язаний із створенням на території країни постійного сховища великотоннажних радіоактивних відходів.

Взаємодія ГЕС та навколишнього середовища

На початок сімдесятих років XX ст. у всьому світі було створено понад 315 великих водосховищ із площею дзеркала кожного понад 100 км^2 . Сумарна площа, створених на той час у СРСР, великих водосховищ становила $64,4 \text{ тис. км}^2$, що можна порівняти з площею природних водойм. Сюди входять і два найбільші в Україні водосховища: Кременчуцька ГЕС – 2500 км^2 та Каховська ГЕС – 2150 км^2 . За наявними оцінками, обсяг водоймищ світу до 2000 р. мав досягти $10\,000 \div 12\,000 \text{ км}^2$.

Усього кілька десятиліть тому стала вельми поширеною думка про те, що ГЕС неспроможні негативно впливати на довкілля. Однак з часом стало зрозуміло, що при будівництві та експлуатації ГЕС навколишньому природному середовищу завдається істотної шкоди (рис.8.4).

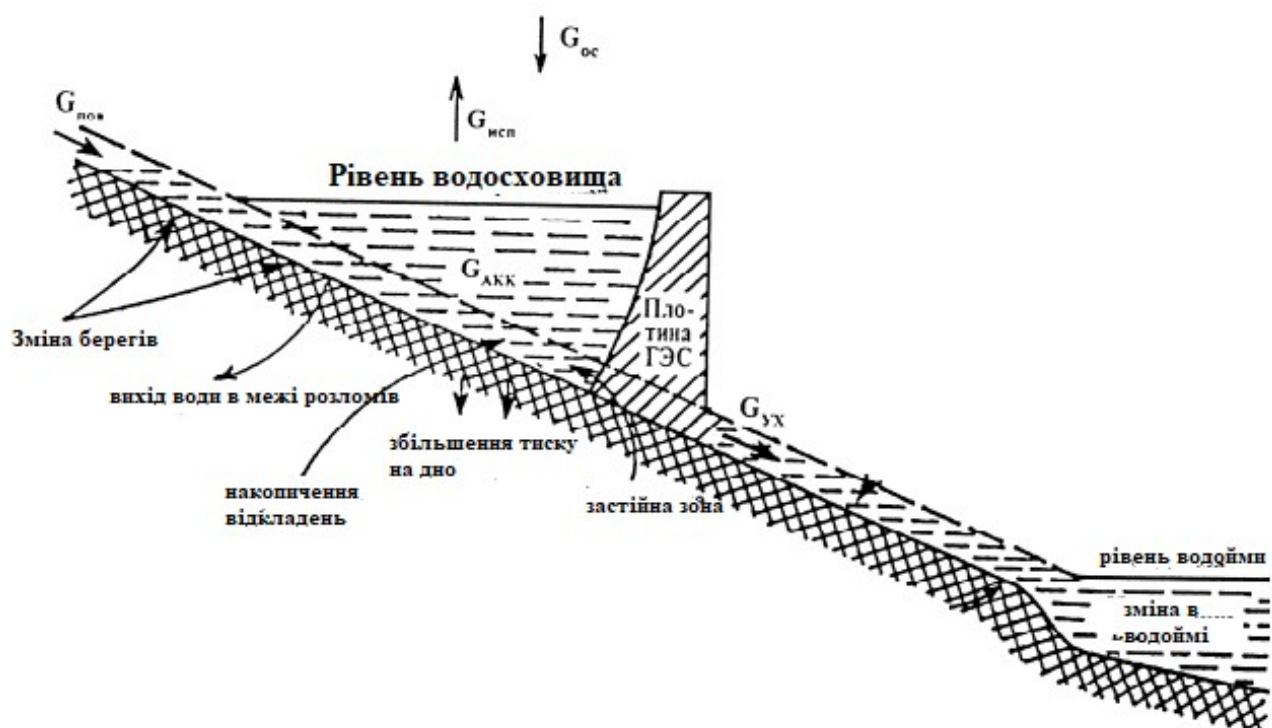


Рисунок 8.4 – Схема впливу ГЕС на довкілля.

Головним лихом є водосховища, більшу частину яких становлять мілководдя. Вода інтенсивно прогривається сонцем, що створює сприятливі умови для розвитку синьо-зелених водоростей та інших евтрофікаційних процесів. При створенні водоймищ забруднюється територія, що дорівнює площі його дзеркала. Для акумулювання 1 км^3 води у водосховищах, споруджуваних на рівнинних річках, площа затоплення становить близько $300 - 320 \text{ км}^2$, на гірських річках – близько $80 - 120 \text{ км}^2$. Тому розвиток гідроенергетики краще вести у гірській місцевості. В результаті фільтрації води у водосховищі навколо нього формується велика зона підтоплення. Хвильові явища викликають переробку берегів та їхнє

обвалення, що збільшує площі мілководдя. Дрібноводдя та підтоплення сприяють заболочуванню територій, прилеглих до водосховища.

До найважливіших характеристик водосховища належать: розмір дзеркала водосховищ, наявність у них мілководій, вплив на місцевий клімат, наскільки цінні землі під них відводяться, стан ґрунтів та рослинності, а також вплив на рибне господарство та водний (річковий) транспорт.

Найбільш суттєві фактори впливу на локальні умови такі: зміна ландшафту, рівня ґрунтових вод, переформування берегів, а також зміна інших природних умов (ґрунту, рослинності та тваринного світу) як у районах водосховища, так і нижнього басейну ГЕС.

Зміна гідрогеологічного режиму річок при спорудженні ГЕС характеризується зміною перерозподілу стоку; зміною рівневого режиму та його залежності від вітрів; зміною режимів течій, хвильового, термічного та льодового режимів. Швидкості течії можуть зменшуватися вдесятеро, а окремих зонах водосховища виникають повністю застійні зони. У мілководних частинах спостерігаються різкі коливання температури води залежно від зміни температури повітря. Звідси нерівномірність температур по поверхні водосховища.

Змінюється тепловий режим у нижньому б'єфі водосховища: восени надходить тепліша вода, нагріта у водосховище за літо, а навесні холодніше на 2 – 4°C внаслідок охолодження в зимові місяці. Ці відхилення від природних умов поширюються на сотні кілометрів від греблі ГЕС.

Спостерігаються суттєві зміни гідрохімічного та гідробіологічного режимів водних мас. У верхньому б'єфі маси води насичуються органічними речовинами, що надходять із річковим стоком. У нижньому, навпаки, збіднюються, тому що мінеральні речовини через малі швидкості течії осідають на дно. Як у верхньому, так і в нижньому б'єфі змінюється газовий склад та газообмін води.

Під тиском величезних мас води, накопичених в водосховищах, нерідко відбуваються просідання земної поверхні, у порівнянні із землетрусами силою до 2÷3 балів. Внаслідок зміни руслових режимів у водосховищах осідають наноси. Зарегулювання річкового стоку відбивається на стані морського середовища. Враховуючи різноманіття впливів водосховищ на навколишнє середовище, вчені вже зараз дають висновки про спорудження надалі переважно середніх та малих водосховищ. Об'єктивна відповідь на питання про вплив ГЕС на довкілля залежить головним чином від характеристики майбутнього водосховища з урахуванням усіх зазначених вище факторів. Доцільність будівництва кожної конкретної ГЕС має розглядатися індивідуально.

5. Екологічні аспекти відновлюваної енергетики

Розширення використання нетрадиційних поновлюваних джерел енергії багато в чому визначається проблемами розвитку енергетики, вільної від забруднення навколишнього середовища та не пов'язаної з утворенням парникових газів. Це одне з першочергових завдань, які стоять перед наукою та технікою.

При оцінці перспектив розвитку нетрадиційної енергетики, як правило, підкреслюється екологічна чистота ВДЕ, що справді справедливо, але тільки для певних їх видів. В цілому ж нетрадиційні та відновлювані джерела енергії надають певний вплив на навколишнє середовище. Проте вони є більш прийнятними з погляду впливу на екологію, ніж джерела традиційної енергетики (ТЕС, АЕС, ГЕС, дизельні установки та ін.).

Перехід на ВДЕ пов'язаний з освоєнням нових технологій застосування енергії сонця, вітру, біомаси, гідроенергії та геотермального тепла землі. Особлива роль в енергетичній структурі ВДЕ на тривалу перспективу відводиться гідроенергетиці, яка в даний час є основним видом відновлюваних джерел енергії. Екологічні аспекти застосування малих ГЕС лише в окремих моментах збігаються з проблемами традиційної гідроенергетики і не йдуть із ними в жодне порівняння.

Загальні негативні аспекти застосування ВДЕ пов'язані з проблемами землевикористування, шуму, зміни ландшафту, застосування нових матеріалів, виробництво яких в окремих випадках може негативно вплинути на навколишнє середовище (наприклад, отримання кремнію для сонячної енергетики) тощо. Необхідно враховувати, що характер взаємодії цих установок з навколишнім середовищем є принципово іншим при негативних впливах, характерних для кожного виду ВДЕ. Тому аналіз можливих наслідків має проводитись ще на етапі їх розробки та проектування. Це дозволить уникнути помилок, допущених під час освоєння традиційних енергоустановок, коли спочатку було створено технологічні принципи, і лише потім, у процесі експлуатації, почалися пошуки шляхів придушення негативних екологічних впливів.

Найбільш характерними при використанні ВДЕ з погляду впливу на навколишнє середовище є наступні аспекти.

Сонячна енергія. Низькотемпературні сонячні системи тепло- і водопостачання є найбільш поширеними в даний період в індустріально розвинених країнах. В екологічному аспекті для низькотемпературних систем при їх експлуатації характерні наслідки циклу видобутку вихідних матеріалів та їх переробки; зниження негативних впливів на довкілля викидів продуктів згоряння заміщених традиційних котелень; зниження теплового забруднення.

Середньо- та високотемпературні сонячні установки поки що знаходяться на стадії інтенсивної розробки. У світі створено кілька станцій (СЕС) із використанням розосереджених параболічних систем концентратів (загальною потужністю ~400 МВт). Досвід їх експлуатації показав, що основним екологічним фактором для СЕС термодинамічного циклу перетворення енергії є блокування

обладнанням значних земельних територій. Так, середня потенційна можливість СЕС даного циклу оцінюється в 30...40 МВт з км².

Потенційні можливості отримання граничної потужності фотоперетворювачів – 45, 60 МВт з 1 км² (при їх ККД ~ 15%) і 60...100 МВт з 1 км² (при ККД фотоперетворювачів – до 25%). У розрахунку на 1 МВт одержуваної потужності, СЕС на фотоперетворювачах вдвічі економічніше використовують території, ніж СЕС, виконані з термодинамічним циклом з центральними приймачами.

Вітроенергетика. На сьогодні у світі накопичено величезний досвід практичної експлуатації найрізноманітніших джерел енергії вітру. Досить зазначити, що до 2000 р. в експлуатації перебуває понад 20×10^3 вітроагрегатів, більшість із них США (Каліфорнія). Істотними встановленими потужностями мають країни Західної Європи: Данія – понад 100 МВт, Нідерланди – 140 МВт, Німеччина – 100 МВт, Великобританія – наближаються до 500 МВт, Швеція – 10 МВт тощо.

Досвід експлуатації показав, що в даний час економічно краще ВЕС в діапазоні потужностей від 100 до 350 кВт. Більшість Європейських країн підтримує створення ВЕС з урахуванням екологічних вимог щодо енергоустановок, а також проблем надійності та безпеки енергозабезпечення.

Основні екологічні фактори впливу вітроенергетики: блокування земельних територій; шумові ефекти; висока металомісткість вітроустановок, пов'язана з вимогами попереднього циклу видобутку та переробки металів.

Будівництво ВЕС веде до зміни ландшафту, виведення із сільгоспобороту корисних земельних площ. Досить сказати, що вартість 1 га землі, залежно від регіону, може становити сотні та тисячі доларів.

Максимальна потужність, яка може бути отримана з 1 км² площі, коливається в широких межах залежно від району використання, типу станції та технологічних особливостей конструкції (середнє значення 10 МВт/км²). Шумовий ефект у безпосередній близькості від ВЕС може досягати 50...80 дБ. При цьому гранична витривалість людського вуха, прийнята на основі больових відчуттів, дорівнює 180 дБ. Окрему екологічну проблему становлять шумові впливи установок значної потужності (понад 250 кВт), коли на кінцях лопаток вітроколес великого діаметра, швидкості потоку повітря – надзвукові. При цьому виникає інфразвуковий ефект, що негативно впливає на людину та інші біологічні суб'єкти. Робота ВЕС може впливати і на системи радіозв'язку.

Обговорюється потенційна можливість загибелі птахів, які розбиваються у ВЕС на пунктах їхньої міграції. Хоча природа та масштаби цієї проблеми потребують додаткового дослідження.

Істотну роль відіграє показник витрат металу на одиницю потужності, що визначає обсяги циклу сировинної підготовки для виробництва. Залежно від рівня потужності цей показник для ВЕС орієнтовно змінюється в діапазоні 50...

70 кг/кВт. В даний час є тенденція заміни елементів металевих конструкцій (в першу чергу лопатей вітроколес) на склопластикові.

За оцінками Світового конгресу Міжнародного товариства з сонячної енергії в Денвері (США), якщо брати до уваги екологічні чинники, то СЕС та ВЕС вже сьогодні більш економічні, ніж ТЕС та АЕС.

Геотермальна енергія. Використання енергії високопотенційних геотермальних джерел здавна приваблювало людство. На цей час склався такий розподіл встановлених потужностей ГеоТЕС в індустріально розвинених країн світу: 70% – США; 28% – в Італії, Японії та Новій Зеландії; 2% – Франція, Греція, Ісландія, Португалія.

Екологічний вплив ГеоТЕС та геотермальних технологічних установок на навколишнє середовище зводиться: до впливу мінералізованих геотермальних вод та пари; до опускання земної поверхні (іноді значному за розмірами), що знаходиться над геотермальним пластом, що розробляється.

У складі виведених на поверхню вод знаходяться: нітриди, хлориди та сульфіді деяких металів; небезпечні хімічні елементи (бор, миш'як); сірководень (нешкідливий – у невеликих кількостях, токсичний – зі зростанням концентрації). За відсутності зворотного закачування в пласт виникає небезпека засолення ґрунтів у районі використання та падіння пластового тиску. Зміна тиску в пласті в процесі тривалої експлуатації свердловин впливає на рівень ґрунтових вод у цьому районі і може негативно вплинути на роботу артезіанських свердловин і водопостачання.

Енергія біомаси. Особливе значення джерела енергії цього типу мають для країн, що розвиваються. В енергобалансі країн Африки вони становлять у середньому до 60%; Латинської Америки – до 30%; Азіатських країн – до 40%; деяких країн Європи, Близького Сходу та Північної Африки – до 10% від загального енергоспоживання. Однак і індустріально розвинені країни стимулюють розвиток даного напрямку нетрадиційної енергетики: лише США, Данія та Швеція довели виробництво енергії біомаси до 400 МВт.

При цьому значного розвитку набула переробка біомаси, заснована на процесах газифікації, піролізу та отримання рідких палив. Наприклад, у Бразилії, починаючи з 1980 року, виробництво етанолу досягло 10 млн. л на рік. У низці країн етанол покриває від 3 до 15% споживання всього побутового палива (Кенія, Малі, Зімбабве).

В результаті процесу ферментації при переробці біомаси в етанол утворюються побічні продукти, у тому числі промивні води та залишки перегонки. Останні є серйозним джерелом екологічного забруднення довкілля. Їх маса в кілька разів (до 10) перевищує масу виробленого продукту, тобто етилового спирту. Цікаві технології, які дозволяють в процесі очищення цих відходів отримувати мінеральні речовини, що використовуються в хімічній промисловості, а також як мінеральні добрива.

Особливе місце належить «біодизелю» – паливу, на основі жирів рослинного, тваринного та мікробного походження, а також продуктів їх етерифікації. Сировина – рапсова, соєва, пальмова, кокосова або будь-яка інша олія – сирець, а також відходи харчових виробництв.

Уся діяльність у різних напрямках (крім «біодизеля») утилізації органічних відходів має, передусім, гостру екологічну спрямованість. Значною мірою вона спрямована на переробку відходів. Ліквідація останніх і пов'язане з цим поліпшення екологічних та санітарно-епідеміологічних умов довкілля відіграють навіть більшу роль, ніж енергетичний ефект на основі використання цього виду сировинних ресурсів. Це особливо важливо для регіонів з вологим теплим кліматом і великих міст. Саме тут технологія ліквідації відходів, що дозволяє одночасно використовувати їхній енергетичний потенціал, відіграє особливу роль.

Міні- та мікроГЕС. Як зазначається в огляді Світової Енергетичної Ради, на основі цих установок можливе економічно рентабельне виробництво електроенергії на рівні 6,5% наявного потенціалу гідроресурсів. Найбільшу важливість для міні-ГЕС має вдосконалення гідротурбін, які працюють на малих напорах.

Дані установки мінімально впливають на навколишнє середовище, тому що не вимагають будівництва гребель, водосховищ, берегових споруд. За останні роки досягнуто серйозних успіхів у цьому напрямку, особливо в Китаї та Індії.

МікроГЕС, що випускаються в Харкові (Україна), відповідають сучасним науково-технічним та екологічним вимогам. Вони потрібні як в Україні, так і за кордоном (Китай, Індія, Південна Америка).

Екологічні впливи ВДЕ не йдуть ні в яке порівняння з наслідками негативного впливу на навколишнє середовище традиційних джерел енергії.

Оцінка екологічних впливів ВДЕ має проводитись із системних позицій. Необхідно враховувати весь комплекс різнорідних чинників, притаманних різним видам ВДЕ: блокування територій; вплив на екологічний процес займаних та прилеглих територій; вплив на флору та фауну; вивільнення хімічних та інших матеріалів; можливості використання цих речовин або продуктів їх переробки як сировина наступних виробництв; обмеження масштабів орних земель та сільгосппродуктами для харчування населення.

6. Питання для самоперевірки

1. Які основні екологічні проблеми виникають під час використання та утилізації енергетичних ресурсів?
2. Які види енергетичних ресурсів є найбільш екологічно безпечними, а які - найбільш шкідливими для навколишнього середовища?
3. Як впливає видобуток та використання викопного палива на стан екосистем та здоров'я людей?
4. Які заходи можна вжити для мінімізації негативного впливу використання енергетичних ресурсів на навколишнє середовище?
5. Як сучасні технології сприяють зменшенню впливу на довкілля під час використання енергетичних ресурсів?
6. Які переваги та недоліки мають відновлювані джерела енергії з екологічної точки зору?
7. Які методи утилізації відходів, що утворюються в процесі використання енергетичних ресурсів, є найефективнішими?
8. Як політики та регуляції впливають на екологічні аспекти використання та утилізації енергетичних ресурсів?

Тема 9. Управління енергетичними ресурсами та сталий розвиток

План лекції:

1. Поняття сталого розвитку енергетики
2. Сталий розвиток енергетики держави
3. Сталий розвиток галузей енергетики
4. Методичні підходи щодо оцінки сталого розвитку енергетики держави
5. Питання для самоперевірки

1. Поняття сталого розвитку енергетики

Термін «сталий розвиток» (sustainable development) отримав широке поширення у 1987 р. після того, як Міжнародна комісія з навколишнього середовища та розвитку ООН опублікувала доповідь "Наше спільне майбутнє". У даній доповіді сталий розвиток визначається так: «Людство здатне надати розвитку стійкий і довгостроковий характер для того, щоб воно відповідало потребам людей, що нині живуть, не позбавляючи майбутні покоління можливості задовольняти свої потреби... Стійкий і довготривалий розвиток є не незмінним станом гармонії, а скоріше процес змін, у якому масштаби експлуатації ресурсів, напрями капіталовкладень, орієнтація технічного розвитку та інвестиційні зміни узгоджуються з нинішніми та майбутніми потребами».

У розумінні сталого розвитку виділяють 3 найважливіші аспекти.

1) Економічний: економічна стійкість вимагає, щоб різні види капіталу, які забезпечують економічне виробництво, зберігалися чи збільшувалися. Вони включають виробничий, природний, людський та соціальний капітал.

2) Екологічний: збереження екосистем та природних ресурсів необхідне для стійкого економічного виробництва та міжпоколінної рівності. З екологічної точки зору, і населення, і загальний попит на ресурси повинні бути обмежені за своїми масштабами, а цілісність екосистем та різноманітність видів необхідно зберігати.

3) Соціальний: соціальна рівність, задоволення базових потреб у здоров'ї та освіті, представницька демократія є ключовими елементами розвитку.

При цьому вони пов'язані з екологічною стійкістю.

Першочергове завдання сталого розвитку часто визначають як забезпечення джерелами енергії, особливо електроенергії, п'ятої частини населення світу, яка не має доступу до них. У підсумковому документі «Майбутнє, якого ми хочемо» Конференції Організації Об'єднаних Націй зі сталого розвитку (відомої також як Ріо+20), що відбулася у 2012 році, енергетиці відводиться центральна роль: «Ми визнаємо надзвичайно важливу роль, яку енергетика відіграє в процесі розвитку оскільки доступ до сучасних стійких послуг у сфері енергетики сприяє

викоріненню злиднів, порятунку життя людей та покращенню стану їхнього здоров'я, а також допомагає забезпечувати задоволення нагальних потреб людей».

Світова Енергетична Рада для реалізації проектів сталої енергетики розробила концепцію «енергетичної трилеми», яка стала відповіддю на сучасне потрійне енергетичне завдання, яке полягає у підтримці безпечної, доступної та екологічно чистої енергії. «Енергетична трилема» включає:

1) енергетичну безпеку – ефективну організацію постачання первинної енергії з національних та зарубіжних джерел, надійність енергетичної інфраструктури та здатність постачальників енергії задовольнити поточний та майбутній попит;

2) енергетична рівність – наявність та доступність енергії для населення;

3) екологічну стійкість – визначає ефективність пропозиції та попиту енергії, а також розвиток пропозиції енергії з відновлюваних джерел та інших маловуглецевих джерел.

При аналізі сталого розвитку енергетики доцільно застосувати підхід Шаламової О.В., яка вважає, що «проведення аналізу стійкості необхідне не лише на рівні самого підприємства, а й у системі галузевого та регіонального розвитку». Таким чином, слід виділити:

1) сталий розвиток енергетики держави;

2) сталий розвиток галузей енергетики;

3) сталий розвиток підприємств енергетики.

2. Сталий розвиток енергетики держави

Стійкість енергетики лише на рівні держави залежить як від сталого розвитку галузей енергетики, так і від стійкості окремих підприємств енергетики.

У науковій літературі відсутнє визначення поняття «стабільний розвиток енергетики держави». У найширшому контексті, і, отже, придатному розуміння вищого рівня сталого розвитку енергетики, тобто енергетики лише на рівні держави, стійкість енергетики розглядає Девід Л. Грін. Даний автор визначає стійкість енергетики як гарантію того, щоб у майбутніх поколіннях були енергетичні ресурси, які дозволять їм досягти рівня добробуту, принаймні такого ж, як у нинішнього покоління. Слід зазначити, що це визначення стійкості енергетики схоже з офіційним визначенням сталого розвитку, у якому присутній акцент на врахування майбутніх потреб людства.

Певне уявлення про значення «сталого розвитку енергетики держави» можна одержати із роботи Шевченка М.О. «Науково-інноваційний потенціал сучасного енергетичного сектора світової економіки», в якій він пов'язує це поняття із завданнями забезпечення доступу до джерел енергії та сучасних технологій її виробництва, усунення нерівності в цій галузі, охорони навколишнього середовища, мобілізації фінансових ресурсів та нарощування

інституційного та кадрового потенціалу країн, що розвиваються. Слід зазначити, що у цьому визначенні ключовими є соціальні та екологічні аспекти сталого розвитку.

З досліджень проблеми функціонування регіональних енергетичних систем в умовах обмеженості власних енергетичних ресурсів, можна зробити висновок, що сталим розвитком енергетики держави є здатність до саморегулювання системи забезпечення енергетичної безпеки з урахуванням оптимізації територіальної структури виробництва та споживання паливно-енергетичних ресурсів при підвищенні самостійності регіонів у вирішенні питань енергозабезпечення, включаючи контроль за раціональним використанням енергоресурсів, енергозбереження, виробництво теплової та електричної енергії, а також пошук нових способів автономного задоволення потреб промисловості та населення регіону в енергії. Необхідно відзначити, що центральним у цьому розумінні сталого розвитку енергетики держави є забезпечення енергетичної безпеки країни.

Тому пропонується наступне визначення сталого розвитку енергетики регіону: стійкий розвиток енергетики регіону – процес розвитку здатної до саморегулювання системи з метою досягнення регіональної енергетичної безпеки при раціональному використанні енергоресурсів, забезпеченні соціальної рівності в галузі доступу до енергопослуг та збереженні навколишнього середовища в умовах невизначеності.

3. Сталий розвиток галузей енергетики

Що ж до сталого розвитку галузей енергетики, воно, з одного боку, залежить від стану підприємств енергетики, з іншого боку, визначає розвиток лише на рівні держави.

Для аналізу сталого розвитку галузей енергетики доцільно розглянути паливно-енергетичний комплекс та сектори, що входять до нього: нафтову, вугільну, газову промисловість, електроенергетику. Існують дослідження, які аналізують сталий розвиток як паливно-енергетичного комплексу загалом, і присвячені окремим його секторам.

Вченими досліджуються механізми сталого розвитку паливно-енергетичного комплексу (ПЕК). Можна надати таке визначення сталого розвитку ПЕК: сталий розвиток ПЕК – це процес постійного пошуку та реалізації рішень щодо досягнення нового рівноважного стану між умовами зовнішнього середовища, що змінилися, і можливостями господарюючих суб'єктів паливно-енергетичного комплексу реалізовувати свою народногосподарську місію в нових умовах. Таким чином, в даному визначенні акцент присутній на досягненні рівноважного стану в умовах довкілля, що змінилися, для реалізації своєї місії господарюючих суб'єктів ПЕК.

Також у дослідженнях з моделювання економічної стійкості систем енергетики визначається ця стійкість як здатність (властивість) системи у невизначених умовах функціонування/розвитку забезпечувати реалізацію своїх цільових установок.

Тому доцільним є розгляд сталого розвитку галузей енергетики як процес технологічного та економічного розвитку галузей енергетики в невизначених умовах, спрямований на надійне та безперебійне енергопостачання споживачів при раціональному використанні ресурсів та мінімальному впливі на навколишнє середовище з метою підвищення ефективності функціонування регіону.

4. Методичні підходи щодо оцінки сталого розвитку енергетики держави

У світовій практиці є два підходи до виміру сталого розвитку енергетики держави. Перший подано у звіті Світової Енергетичної Ради «World Energy Trilemma: Time to get real – the agenda for change». У цьому звіті Світова Енергетична Рада представляє ранги країн згідно з індексом енергетичної стійкості (Energy Sustainability Index).

У таблиці 9.1 представлено методику розрахунку індексу енергетичної стійкості Світовою Енергетичною Радою.

Індекс енергетичної стійкості є першою спробою зробити комплексну оцінку енергетичної сфери в аспекті сталого розвитку у світовому масштабі. Проте слід зазначити, що є можливість поліпшення методики, запропонованої Світовим Енергетичним Радою. По-перше, вказуються лише ранги, а не значення індексу, що ускладнює порівняльну оцінку стійкості енергетичної сфери країн. По-друге, відсутня методика розрахунку окремих індикаторів. По-третє, враховуються як показники, що характеризують розвиток енергетики лише на рівні держави, і показники, що найбільш підходять до характеристики окремих галузей ПЕК.

Таблиця 9.1 – Методика розрахунку індексу енергетичної стійкості Світовою Енергетичною Радою

Сфера	Показник
Енергетична безпека 25%	1.1.1 Відношення виробництва первинних енергоресурсів до споживання 1/5
	1.1.2 Різноманітність джерел генерації електроенергії 1/5
	1.1.3 Оптова надбавка на моторне паливо 1/5
	1.1.4 П'ятирічний ріст споживання первинних енергоресурсів 1/5
	1.1.5a Для експортерів – різноманітність джерел експорту енергії 1/5
	1.1.5b Для імпортерів – норма стратегічного запасу нафти 1/5
Соціальна рівність 25%	1.2.1 Доступність моторних палив у роздрібному продажу 1/2
	1.2.2 Доступність та якість електроенергії з урахуванням доступу 1/2
Мінімізація впливу на довкілля 25%	1.3.1 Енергоємність ВВП душу населення 1/4
	1.3.2 Кількість викидів на ВВП душу населення 1/4
	1.3.3 Викиди CO ₂ від виробництва електроенергії та тепла 1/4
	1.3.4 Вплив забруднення повітря та води 1/4
Політичне середовище 8,3%	2.1.1 Політична стабільність 1/3
	2.1.2 Якість нормативно-правового регулювання 1/3
	2.1.3 Ефективність уряду 1/3
Соціальне середовище 8,3%	2.2.1 Контроль за корупцією 1/4
	2.2.2 Верховенство закону 1/4
	2.2.3 Якість освіти 1/4
	2.2.4 Якість охорони здоров'я 1/4

Другий підхід був запропонований факультетом державної політики Інституту технологій Джорджії, США. Цією організацією було розроблено індекс енергетичної стійкості з метою оцінки сталого розвитку енергетики США.

У таблиці 9.2 представлено методику розрахунку індексу енергетичної стійкості.

Таблиця 9.2 – Методика розрахунку індексу енергетичної стійкості США Інститутом технологій Джорджії

Сфера	Показник
Надійність забезпечення нафтою	Імпорт нафти (% загального споживання нафти)
	Ціна на нафту (долар США на барель)
	Моторне паливо не нафтового походження (% від споживання енергії транспортним сектором)
	Середня витрата палива нових пасажирських транспортних засобів (миль на галон)
Надійність забезпечення електроенергією	Імпорт природного газу (% від загального споживання природного газу)
	Ціна на природний газ для електроенергії (доларів США на Гігаджоуль)
	Роздрібна ціна на електроенергію (центів доларів США на кВт * год)
	Річні інвестиції у систему передачі електроенергії (млрд. доларів США)
Енергоефективність	Енергоємність (кВт * год на долар США ВВП)
	Енергокористування на душу населення (індексоване до 1970 р.)
Якість довкілля	Викиди SO ₂ від потужностей, що виробляють електроенергію (млрд. Тонн)
	Викиди CO ₂ від енергоспоживання (млрд. тонн)

За цією методикою не виводиться комплексний індекс енергетичної стійкості США, але дається індивідуальна оцінка кожного показника. З одного боку, це дозволяє простежити зміни кожного компонента сталого розвитку енергетики у поступовій динаміці, з іншого боку, це не дає можливість оцінити стійкість енергетичної сфери США загалом.

Таким чином, можна зробити висновок, що сталий розвиток енергетики є однією з цілей сталого розвитку загалом. Стійкий розвиток енергетики прийнято характеризувати у межах економічного, екологічного та соціального компонентів. Стійкий розвиток енергетики доцільно розглядати на 3 рівнях: 1) лише на рівні держави; 2) лише на рівні галузей енергетики; 3) лише на рівні підприємств енергетики. У світовій практиці немає єдиного підходу до визначення сталого розвитку енергетики кожному з трьох рівнів. Можна виділити 2 методичні підходи до оцінки стійкості енергетики лише на рівні держави.

5. Питання для самоперевірки

1. Що таке сталий розвиток і які його основні принципи?
2. Які види енергетичних ресурсів належать до відновлюваних і невідновлюваних? Наведіть приклади.
3. Який вплив має споживання енергетичних ресурсів на навколишнє середовище?
4. Що таке енергоефективність і які заходи можна впроваджувати для її підвищення?
5. Які глобальні ініціативи спрямовані на управління енергетичними ресурсами у контексті сталого розвитку?
6. Як політика сталого розвитку впливає на вибір енергетичних технологій?
7. Розкажіть про роль відновлюваних джерел енергії у зниженні викидів парникових газів.
8. Які механізми фінансування проектів у сфері відновлюваної енергетики існують на міжнародному рівні?
9. Як енергетична незалежність країни пов'язана зі сталим розвитком?
10. Які основні виклики існують у впровадженні сталого управління енергетичними ресурсами?

Тема 10. Перспективи розвитку енергетичних технологій

Електроенергетика зазнає значних змін у зв'язку з технологічним прогресом та зміною споживчих переваг. Зростання попиту на більш чисті та стійкі джерела енергії стимулює перехід до відновлюваних джерел енергії, таких як енергія вітру та сонця. Це призвело до скорочення використання традиційних викопних видів палива, таких як вугілля і нафта. З появою відновлюваних джерел енергії сектор накопичення енергії також швидко зростає. Технології накопичення енергії, такі як батареї, маховики та стиснене повітря, стають все більш важливими для підтримки надійної та стабільної енергосистеми. Це особливо важливо, оскільки відновлювані джерела енергії можуть бути непостійними, а це означає, що вони не завжди можуть бути доступні, коли це необхідно.

Використання передової аналітики та штучного інтелекту також трансформує електроенергетичну галузь. Ці технології використовуються для оптимізації виробництва та розподілу електроенергії, підвищення енергоефективності та зниження витрат. Інтелектуальні мережі стають все більш поширеними, дозволяючи в режимі реального часу відстежувати та контролювати виробництво та розподілення електроенергії. На додаток до цих технологічних досягнень також змінюється нормативно-правове середовище. Уряди у всьому світі ставлять перед собою амбітні цілі щодо скорочення викидів парникових газів та розвитку використання відновлюваних джерел енергії. Це веде до більш сприятливої політики розвитку відновлюваних джерел енергії та інвестицій.

Багато країн також запроваджують механізми ціноутворення на викиди вуглецю, які покликані заохочувати використання чистіших джерел енергії. Незважаючи на ці позитивні зрушення, перед електроенергетикою стоять проблеми. Перехід на відновлювані джерела енергії потребує значних інвестицій в інфраструктуру, які можуть бути дорогими. Переривчастий характер відновлюваних джерел енергії також може створювати проблеми підтримки стабільної енергосистеми. Крім того, використання відновлюваних джерел енергії може бути обмежене географією та погодними умовами. В цілому електроенергетика знаходиться в перехідному стані, адаптуючись до нових технологій і споживчих переваг, що змінюються. Відновлювані джерела енергії та технології накопичення енергії набувають все більшого значення, у той час як використання традиційних копалин палива скорочується. Розширена аналітика та штучний інтелект використовуються для оптимізації виробництва та розподілу електроенергії. Однак існують також проблеми, які необхідно вирішити з погляду інвестицій в інфраструктуру та підтримку стабільної енергосистеми. Поточний стан електротехніки характеризується швидким розвитком та інноваціями. Електротехніка відіграла вирішальну роль у формуванні сучасного суспільства, від телеграфу та телефону до Інтернету та смартфонів. Сьогодні інженери-електрики працюють над широким спектром проєктів та технологій, які змінюють

наш світ. Однією з найцікавіших галузей досліджень у галузі електротехніки є відновлювані джерела енергії. Оскільки побоювання щодо зміни клімату продовжують зростати, зростає інтерес до розробки стійких джерел енергії. Інженери-електрики знаходяться в авангарді цих зусиль, працюючи над проектуванням та створенням сонячних панелей, вітряних турбін та інших технологій відновлюваної енергії, які можуть жити наші будинки та підприємства, не покладаючись на викопне паливо. Ще одним напрямом діяльності інженерів-електриків є розробка сучасної електроніки та систем зв'язку. Від смартфонів та планшетів до безпілотних автомобілів та розумних будинків інженери-електрики працюють над створенням наступного покоління підключених пристроїв, які змінять наше повсякденне життя. Ця робота включає широкий спектр технологій, включаючи комп'ютерні чіпи, датчики і бездротові мережі. На додаток до цих областей досліджень, інженери-електрики також працюють над вирішенням багатьох найбільш нагальних проблем, які стоять сьогодні перед суспільством. Вони працюють над покращенням охорони здоров'я за рахунок розробки медичних пристроїв та технологій візуалізації, підвищення суспільної безпеки за рахунок розробки передових систем безпеки та покращення транспорту за рахунок розробки електричних та автономних транспортних засобів. Незважаючи на весь цей прогрес, існують і проблеми, що стоять перед електротехнікою. Одна з найбільших проблем полягає у залученні та утриманні різноманітної та талановитої робочої сили. В умовах швидкого технічного прогресу і ринку праці, що постійно змінюється, як ніколи важливо мати висококваліфіковану і адаптовану робочу силу. Це вимагає прихильності до освіти та навчання, а також зосередження уваги на різноманітності та інклюзивності, щоб гарантувати, що поле залишається відкритим для всіх. В цілому, нинішній стан електротехніки характеризується великими можливостями та потенціалом. Оскільки суспільство продовжує розвиватися та виникають нові проблеми, інженери-електрики продовжуватимуть грати вирішальну роль у формуванні нашого майбутнього. В останні роки в галузі електроенергетики та електротехніки спостерігається швидкий технологічний прогрес. Ці технології не тільки підвищили ефективність та надійність енергосистем, а й можуть революціонізувати способи виробництва та споживання електроенергії. Одним із найбільш значних досягнень у цій галузі є розробка технології інтелектуальних мереж. В інтелектуальних мережах використовуються передові датчики, комунікаційні мережі та програмне забезпечення для керування потоком електроенергії в режимі реального часу. Ця технологія дозволяє більш ефективно використовувати енергію, знижує ризик перебоїв у подачі електроенергії та дозволяє інтегрувати відновлювані джерела енергії в мережу. Ще одна галузь, у якій технології досягають значних успіхів, – це системи зберігання енергії. Оскільки відновлювані джерела енергії, такі як сонце та вітер, стають все більш поширеними, зростає потреба у рішеннях щодо зберігання енергії для зберігання

надлишкової енергії в періоди пікової продуктивності та вивільнення її за високого попиту. Для задоволення цієї потреби розробляються інноваційні акумуляторні технології, такі як літій-іонні батареї, проточні та твердотільні батареї. Крім накопичення енергії, досягнення в галузі електромобілів також значно впливають на область електротехніки.

Для електромобілів потрібна зарядна інфраструктура та інноваційні зарядні рішення, які можуть забезпечити швидку, надійну та зручну зарядку. Також розробляється технологія бездротового заряджання, що дозволяє заряджати без фізичного підключення. Використання штучного інтелекту та машинного навчання також справило революцію у галузі електротехніки. Ці технології можна використовувати для оптимізації енергосистем, прогнозування збоїв до їх виникнення та підвищення ефективності використання енергії.

Загалом технологічні досягнення в галузі електроенергетики та електротехніки призводять до значних змін у тому, як ми виробляємо, зберігаємо та споживаємо енергію. Оскільки технології продовжують розвиватися, цілком імовірно, що ми побачимо ще більше інноваційних рішень, які допоможуть нам перейти до стійкішого енергетичного майбутнього.

Область електроенергетики та електротехніки швидко зростає та розвивається в багатьох країнах світу. Деякі з країн, які досягли значного прогресу в цій галузі, є США, Китай, Японія, Німеччина та Південна Корея. Сполучені Штати відомі сильною електротехнічною промисловістю, безліччю престижних університетів та науково-дослідних інститутів, що займаються розвитком цієї галузі. Країна є домом для деяких з найбільших електроенергетичних компаній світу, таких як General Electric та Siemens, і приділяє велику увагу відновлюваним джерелам енергії, таким як енергія вітру та сонця.

Китай також досяг значних успіхів у галузі електротехніки, зосередивши увагу на розвитку своєї внутрішньої енергосистеми та розширенні можливостей використання відновлюваних джерел енергії. Країна вклала значні кошти у дослідження та розробки у цій галузі та стала лідером у таких технологіях, як електромобілі та інтелектуальні мережі.

Японія – ще одна країна з сильною електротехнічною промисловістю, де такі компанії, як Toshiba та Mitsubishi Electric, лідирують у дослідженнях та розробках. Країна також відома своїми інноваційними технологіями у галузі робототехніки та автоматизації, які мають велике значення для електроенергетики. Німеччина є лідером у галузі технологій використання відновлюваних джерел енергії, таких як вітрова та сонячна енергія, та вклала значні кошти у розвиток своєї інфраструктури електромереж. Країна є домом для деяких з найбільших у світі компаній з відновлюваної енергії, таких як EON та RWE, і приділяє велику увагу енергоефективності та сталому розвитку.

Зрештою, Південна Корея – ще одна країна, яка досягла значного прогресу в галузі електротехніки, приділяючи особливу увагу розвитку передових технологій, таких як електромобілі та розумні будинки. Країна вклала значні кошти у дослідження та розробки у цій галузі та приділяє велику увагу інноваціям та передовим технологіям. Загалом ці країни є одними з найкращих у світі з розвитку електроенергетики та електротехніки.

Зосередившись на відновлюваних джерелах енергії, інтелектуальних мережах та інноваційних технологіях, ці країни прокладають шлях до більш стійкого та ефективного майбутнього. Електротехніка – це область, що постійно розвивається, має значні перспективи в сучасному світі. Оскільки технології продовжують розвиватися з експоненційною швидкістю, електротехніка продовжуватиме відігравати життєво важливу роль у створенні нових технологічних інновацій та рішень. Область охоплює все: від проектування та розробки електронних пристроїв до керування складними електричними системами. Однією з найбільш значних перспектив електротехніки є поява технологій використання відновлюваних джерел енергії.

Інженери-електрики все частіше беруть участь у розробці та впровадженні сонячних батарей, вітряних турбін та інших форм екологічно чистої енергії. Зростання попиту на відновлювані джерела енергії створило безліч робочих місць у цій галузі.

Ще одним важливим напрямом у електротехніці є розробка автономних систем. Інженери-електрики грають вирішальну роль у розробці автономних систем, які можуть працювати без втручання людини. Сюди входять безпілотні автомобілі, дрони та роботи. У міру того, як ці технології стають все більш поширеними, зростатиме потреба в інженерах-електриках для проектування та обслуговування цих систем.

Зростання Інтернету речей (IoT) також створює можливості для інженерів-електриків. У міру того, як підключається все більше пристроїв, інженерам необхідно проектувати системи, що забезпечують зв'язок між ними. Це включає все, від розробки датчиків до розробки протоколів зв'язку.

Ще одна перспектива в електротехніці – розвиток інтелектуальних мереж. Інженери-електрики відіграють життєво важливу роль у розвитку інтелектуальних мереж, які є електричними мережами, що використовують передові технології зв'язку та управління для керування розподілом електроенергії. Інтелектуальні мережі можуть допомогти скоротити втрати енергії та підвищити надійність електричної системи. Нарешті, в галузі електротехніки, ймовірно, спостерігатиметься значне зростання розвитку систем штучного інтелекту (ШІ). Інженери-електрики відіграють важливу роль у розробці систем штучного інтелекту, які можуть навчатися та адаптуватися до нових ситуацій. Це включає все: від розробки обладнання, на якому працюють системи ШІ, до розробки алгоритмів, які дозволяють їм вчитися і приймати рішення.

На закінчення відзначимо, що перспективи в галузі електротехніки великі та різноманітні. Від відновлюваних джерел енергії до автономних систем інженерії-електрики мають багато можливостей зробити свій внесок у розробку нових технологій, які змінять світ найближчими роками. Таким чином, область електротехніки є захоплюючою та корисною областю для роботи. Електроенергетична галузь зазнає значних перетворень у зв'язку з дедалі ширшим використанням відновлюваних джерел енергії і зростаючим попитом на стійкі джерела енергії. Перспективи цієї галузі величезні, а можливості для інновацій та зростання безмежні. Одним із основних факторів змін у галузі є зниження вартості технологій використання відновлюваних джерел енергії, таких як сонячна та вітрова енергія.

У міру того, як ці технології стають доступнішими, вони все більше замінюють традиційні джерела електроенергії, що працюють на викопному паливі. Очікується, що ця тенденція збережеться, оскільки найближчими десятиліттями прогнозується, що відновлювані джерела енергії становитимуть значну частину світового енергетичного балансу. Ще одним фактором, який стимулює інновації в електроенергетиці, є ширше використання технологій інтелектуальних мереж. Ця технологія дозволяє комунальним підприємствам краще керувати попитом та пропозицією електроенергії, що призводить до підвищення ефективності та зниження витрат. Інтелектуальні мережі також дозволяють інтегрувати відновлювані джерела енергії у мережу, спрощуючи балансування мінливості вітрової та сонячної енергії з потребами споживачів. Електроенергетика також вивчає нові технології, такі як накопичення енергії, які можуть допомогти вирішити деякі проблеми, пов'язані з мінливістю відновлюваних джерел енергії. Батареї та інші технології зберігання можуть згладити мінливість вітрової та сонячної енергії, спрощуючи інтеграцію цих джерел у мережу. Очікується, що зростання ринку електромобілів також вплине на електроенергетичну галузь. У міру розгортання більшої кількості електромобілів зростатиме попит на зарядну інфраструктуру та електроенергію для живлення цих транспортних засобів. Це дає можливість комунальним підприємствам розробити нові бізнес-моделі та потоки доходів.

Перспективи електроенергетичної галузі ще більше покращуються за рахунок дедалі більшої уваги до енергоефективності та стійкості. Уряди та підприємства дедалі більше усвідомлюють важливість скорочення викидів парникових газів та переходу до низьковуглецевої економіки. Це стимулює інвестиції у відновлювані джерела енергії та інші екологічно чисті технології, створюючи нові можливості для електроенергетики. На закінчення слід зазначити, що перспективи електроенергетики блискучі завдяки попиту, що зростає, на стійкі джерела енергії і все більш широкому впровадженню нових технологій, таких як відновлювані джерела енергії, інтелектуальні мережі та

накопичення енергії. Оскільки галузь продовжує розвиватися, з'являться значні можливості для інновацій, зростання та нових бізнес-моделей.

Питання для самоперевірки

1. Які новітні технології в галузі енергетики мають найбільший потенціал для комерціалізації протягом наступного десятиліття?
2. Як розвиток відновлюваних джерел енергії, таких як сонячна та вітрова енергетика, змінить глобальний енергетичний ринок?
3. Яка роль водневих технологій у майбутньому енергетичному секторі і як вони вплинуть на традиційні види палива?
4. Як інновації в сфері зберігання енергії можуть змінити способи генерації та споживання енергії?
5. Які ризики та виклики пов'язані з впровадженням нових енергетичних технологій?
6. Як розвиток енергетичних технологій вплине на економіку країн, що розвиваються?
7. Які політичні та регуляторні зміни необхідні для стимулювання інновацій у сфері енергетики?
8. Як розвиток штучного інтелекту та великих даних може покращити ефективність енергетичних систем?
9. Який вплив матиме розвиток технологій енергоефективності на зменшення викидів парникових газів?
10. Як розвиток енергетичних технологій може вплинути на глобальну геополітичну ситуацію?

ТЕМИ І ЗМІСТ ПРАКТИЧНОЇ СКЛАДОВОЇ КУРСУ

Практичне заняття №1 ВИКОНАННЯ РОЗРАХУНКІВ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ

Мета заняття: Ознайомити студентів із методами розрахунку енергетичної ефективності різних технічних систем, навчити виконувати розрахунки для оцінки енергетичних витрат і ефективності енергетичних ресурсів на прикладі різних об'єктів.

Завдання:

1. Ознайомитись із поняттям енергетичної ефективності та її значенням для сучасних енергетичних систем.
2. Виконати розрахунки енергетичної ефективності для обраних об'єктів.
3. Порівняти енергетичні показники до і після оптимізації.
4. Оцінити економічну вигоду від покращення енергетичної ефективності.

Теоретична частина:

1. Енергетична ефективність визначається як відношення корисно використаної енергії до загальної енергії, що споживається системою:

$$\eta = \frac{E_{\text{корисна}}}{E_{\text{спожита}}} \times 100\% \quad (1.1)$$

де: $E_{\text{корисна}}$ – корисна енергія, що використовується для виконання певної роботи (наприклад, тепло для опалення, механічна енергія для руху тощо); $E_{\text{спожита}}$ – загальна енергія, спожита системою.

2. Типи енергетичних систем:

- Теплові установки.
- Електричні машини.
- Автомобільний транспорт.
- Будівельні конструкції та будівлі.

3. Фактори, що впливають на енергетичну ефективність:

- Коефіцієнт корисної дії (ККД) обладнання.
- Якість та вид енергоресурсів.
- Технологічні втрати енергії.
- Оптимізація процесів.

Практична частина:

Завдання 1: Розрахунок енергетичної ефективності опалювальної системи

Дано:

- Площа приміщення: 100 м²
- Середнє споживання тепла на 1 м² для обігріву: 100 Вт
- Потужність теплогенератора: 10 кВт
- Час роботи системи опалення за добу: 10 годин

Необхідно:

- Розрахувати загальну спожиту енергію для опалення приміщення за одну добу.
- Розрахувати корисну енергію, що йде на обігрів приміщення (при умові, що система опалення працює на 80% ефективності).
- Визначити енергетичну ефективність системи опалення.
- Оцінити, яким чином покращення ефективності на 10% зменшить енергоспоживання.

Рішення:

1. Загальна спожита енергія для опалення приміщення за одну добу:

$$Q_{\text{спожите}} = P_{\text{теплогенератора}} \times t = 10 \text{ кВт} \times 10 \text{ год} = 100 \text{ кВт} \cdot \text{год}$$

2. Корисне тепло:

$$Q_{\text{корисне}} = Q_{\text{спожите}} \times \eta_{\text{системи}} = 100 \text{ кВт} \cdot \text{год} \times 0.8 = 80 \text{ кВт} \cdot \text{год}$$

3. Енергетична ефективність:

$$\eta = \frac{Q_{\text{корисне}}}{Q_{\text{спожите}}} \times 100\% = \frac{80}{100} \times 100\% = 80\%$$

4. Покращення ефективності на 10%: Якщо покращення ефективності збільшує її на 10%, то нова ефективність становитиме 88%:

$$Q_{\text{корисне}} = Q_{\text{спожите}} \times 0.88 = 100 \text{ кВт} \cdot \text{год} \times 0.88 = 88 \text{ кВт} \cdot \text{год}$$

Таким чином, зменшення енергоспоживання буде таким:

$$\Delta Q = Q_{\text{спожите}} - Q_{\text{корисне}} = 100 - 88 = 12 \text{ кВт} \cdot \text{год}$$

Завдання 2: Розрахунок енергетичної ефективності теплового двигуна

Дано:

- Потужність, спожита тепловим двигуном: 15 кВт
- Час роботи двигуна: 5 годин
- Корисна механічна енергія, отримана від двигуна: 10 кВт

Необхідно:

- Розрахувати загальну спожиту енергію від двигуна за 5 годин.
- Розрахувати енергетичну ефективність двигуна.
- Визначити економічну вигоду від зменшення втрат енергії на 5%.

Рішення:

1. Спожита енергія за 5 годин:

$$E_{\text{спожита}} = P_{\text{двигуна}} \times t = 15 \text{ кВт} \times 5 \text{ год} = 75 \text{ кВт} \cdot \text{год}$$

2. Енергетична ефективність:

$$\eta = \frac{E_{\text{корисна}}}{E_{\text{спожита}}} \times 100\% = \frac{10}{75} \times 100\% = 13.33\%$$

3. Визначення економічної вигоди від зменшення втрат енергії на 5%:

Втрати енергії до зменшення:

$$E_{\text{втрати стара}} = E_{\text{спожита}} - E_{\text{корисна}} = 75 \text{ кВт} \cdot \text{год} - 10 \text{ кВт} \cdot \text{год} = 60 \text{ кВт} \cdot \text{год}$$

Втрати енергії після зменшення на 5%:

$$E_{\text{втрати нова}} = E_{\text{втрати стара}} \times (1 - 0.05) = 60 \text{ кВт} \cdot \text{год} \times 0.95 = 57 \text{ кВт} \cdot \text{год}$$

Економія втрат енергії:

$$\Delta E_{\text{втрати}} = E_{\text{втрати стара}} - E_{\text{втрати нова}} = 60 \text{ кВт} \cdot \text{год} - 57 \text{ кВт} \cdot \text{год} = 3 \text{ кВт} \cdot \text{год}$$

Економічна вигода: Якщо вартість 1 кВт·год становить $C = 4.32$ грн/кВт, то економія коштів:

$$\Delta C = \Delta E_{\text{втрати}} \times C = 3 \text{ кВт} \cdot \text{год} \times 4.32 \text{ грн/кВт} = 12.96 \text{ грн}$$

Завдання 3: Розрахунок енергетичної ефективності системи освітлення

Норми освітлення становлять 25–30 Вт/м² загальної площі. Скільки електроенергії можна заощадити за місяць, влаштувавши місцеве освітлення робочого столу за умови щоденної роботи лампочки протягом 5 годин? Площа кімнати 16 м².

Рішення:

1. За нормами освітлення визначаємо потужність лампочок:

$$P = 25\text{--}30 \text{ Вт/м}^2 \cdot 16 \text{ м}^2 = 400\text{--}480 \text{ Вт}$$

2. Для освітлення столу площею 2 м² достатньо 50–60 Вт.

3. Отже, за 5 годин горіння щоденно заощаджується:

$$[(400 - 480) \text{ Вт} - (50 - 60) \text{ Вт}] \times 5 \text{ год} = 1.75 - 2.1 \text{ кВт} \cdot \text{год},$$

що за 30 днів місяця складе від 52,5 до 63 кВт · год.

Приймемо тариф за електроенергію 4.32 грн/кВт · год. Ця електроенергія коштує від 226,8 до 276,16 гривень. На цю суму бюджет вашої родини збільшиться.

Підсумки заняття:

1. Аналіз отриманих результатів розрахунків.
2. Обговорення впливу енергетичної ефективності на зниження витрат енергії та економію ресурсів.
3. Визначення найбільш ефективних варіантів для зменшення енергоспоживання.

Практичні заняття №2
АНАЛІЗ СТАНУ ЕНЕРГЕТИЧНИХ СИСТЕМ ЗА ДОПОМОГОЮ
ДІАГНОСТИЧНИХ ІНСТРУМЕНТІВ

Мета заняття:

1. Ознайомити студентів із методами діагностики електрообладнання.
2. Навчити застосовувати діагностичні прилади для оцінки стану електрообладнання.
3. Розвинути вміння виявляти несправності електрообладнання та розробляти заходи щодо їх усунення.

Теоретична частина

Основні питання для обговорення:

Типи електрообладнання:

- Трансформатори
- Електродвигуни
- Електричні апарати (контактори, автоматичні вимикачі)

Види несправностей електрообладнання:

- Перегорання обмоток
- Пошкодження ізоляції
- Зношення контактних груп
- Порухи параметрів електромережі

Методи діагностики:

- Візуальний огляд
- Вимірювання електричних параметрів (опір, струм, напруга)
- Використання тепловізорів
- Акустичний метод діагностики (виявлення шумів, характерних для пошкоджених вузлів)

Інструменти та обладнання:

- Мультиметри
- Мегомметри
- Тепловізори
- Віброметри
- Осцилографи

Практична частина

Задача

Умова задачі: На підприємстві було виявлено проблеми у роботі електродвигуна, який використовується для приводу насоса. Працівники повідомили, що двигун працює з підвищеним рівнем шуму, корпус нагрівається сильніше, ніж зазвичай, а також іноді спрацьовує захист від перевантаження. Ваше завдання – провести діагностику двигуна, використовуючи доступне обладнання, та надати висновок щодо його стану.

Послідовність виконання:

Візуальний огляд:

- Огляньте двигун на наявність механічних пошкоджень, забруднень або слідів перегріву.
- Перевірте цілісність кабелів та з'єднань.

Вимірювання параметрів:

- За допомогою мультиметра виміряйте напругу та струм на вході двигуна. Порівняйте їх з паспортними значеннями.
- Використовуючи мегомметр, перевірте стан ізоляції обмоток двигуна.

Тепловий аналіз:

- За допомогою тепловізора виявіть перегрівання на корпусі двигуна. Визначте, чи є нерівномірний розподіл температури, що може свідчити про несправності.

Акустична діагностика:

- Прослухайте роботу двигуна. Визначте характер шуму (гудіння, стукіт, вібрації).

Аналіз отриманих даних:

- Встановіть можливі причини несправностей:
- Несправність підшипників.
- Несправність обмоток.
- Проблеми з мережевим живленням.

Рекомендації:

- Підготуйте перелік дій для усунення несправностей.

Вихідні дані для задачі (імітація):

- Номінальна напруга двигуна: 380 В.
- Номінальний струм: 15 А.
- Температура нормальної роботи корпусу: до 60°C.
- Результати вимірювань:
- Напруга: 370 В.
- Струм: 18 А.
- Температура корпусу: 85°C.
- Опір ізоляції обмоток: 2 МОм (норма – не менше 5 МОм).

Очікуваний висновок:

- Перевантаження двигуна через підвищений струм.
- Погіршення стану ізоляції обмоток (зношення або пошкодження).
- Можлива несправність підшипників, що спричиняє перегрів та шум.

Завдання для студентів:

- На основі отриманих даних скласти технічний звіт із висновками.
- Підготувати рекомендації для усунення несправностей та профілактичного обслуговування двигуна.

Практичні заняття №3

МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСІВ УТИЛІЗАЦІЇ

Мета заняття:

1. Ознайомити студентів із принципами утилізації електроенергетичного обладнання.
2. Навчити моделювати процеси утилізації з урахуванням економічних, екологічних та технічних факторів.
3. Сформувати навички використання програмного забезпечення для аналізу ефективності утилізації.

Теоретична частина

Основні питання для обговорення:

Електроенергетичне обладнання, яке потребує утилізації:

- Трансформатори (містять оливу, мідь, сталь)
- Кабелі (ізоляція, метали)
- Вимикачі, контактори, генератори

Етапи утилізації:

- Демонтаж і розбирання: розділення обладнання на складові частини
- Відділення небезпечних компонентів: наприклад, трансформаторної оливи
- Переробка: вилучення металів (мідь, сталь, алюміній), утилізація пластика та ізоляційних матеріалів
- Знешкодження: утилізація небезпечних відходів, таких як трансформаторна олива

Методи моделювання утилізації:

- Використання програмного забезпечення для оцінки об'ємів перероблюваних і відходових матеріалів
- Вибір оптимального процесу з економічної та екологічної точки зору

Екологічні та економічні аспекти:

- Зменшення обсягу відходів
- Відновлення вторинних ресурсів (металів)
- Вплив на довкілля

Практична частина

Моделювання утилізації трансформатора:

Дані про трансформатор:

- Маса: 5 тонн.
- Склад:
- Мідь: 15%.
- Сталь: 50%.
- Масло: 10%.
- Пластик: 20%.
- Інші матеріали: 5%.

Використовуючи програмне забезпечення (наприклад, Excel, MATLAB, або спеціалізовані інструменти для моделювання), розрахувати:

- Об'єм матеріалів, які можна переробити.
- Об'єм небезпечних відходів, що підлягають знешкодженню.

Оцінка економічної ефективності утилізації:

- Визначити прибуток від продажу перероблених матеріалів (наприклад, мідь — \$7 за кг, сталь — \$0.5 за кг).
- Розрахувати витрати на утилізацію небезпечних відходів (олива — \$300 за тонну).

Моделювання екологічного впливу:

- Змоделювати зменшення викидів CO₂ при повторному використанні металів замість видобутку нових.
- Оцінити залишковий вплив від утилізації пластиків та оливи.

Оптимізація процесу:

- Запропонувати зміни у процесі утилізації для підвищення ефективності.
- Моделювати вплив цих змін на загальний результат.

Задача для студентів

Умова:

На підприємстві накопичено 10 одиниць трансформаторів, кожен із яких має такі характеристики: Маса: 5 тонн; Склад:

- Мідь: 15%.
- Сталь: 50%.
- Олива: 10%.
- Пластик: 20%.

- Інші матеріали: 5%.

Завдання:

- Розрахуйте загальну кількість кожного матеріалу для утилізації
- Визначте вартість отриманих матеріалів і витрати на утилізацію
- Змодельуйте зменшення екологічного впливу (викиди CO₂) при повторному використанні металів
- Складіть план оптимізації процесу утилізації

Підведення підсумків

1. Обговорення отриманих результатів моделювання
2. Презентація студентами запропонованих рішень
3. Визначення найбільш ефективних та екологічних стратегій утилізації
4. Надання рекомендацій щодо покращення процесу

Практичні заняття №4

РОЗРАХУНОК І ОПТИМІЗАЦІЯ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ПРОМИСЛОВИХ ПІДПРИЄМСТВ

Мета заняття: вивчити питання енергозбереження та методики визначення втрат під час транспортування електроенергії.

Електроенергетична система включає електричну частину електростанцій та споживачів енергії, які пов'язані між собою за допомогою електричних мереж. Розподіл та передача електричної енергії здійснюються електричними мережами, що включають трансформаторні та перетворювальні підстанції, розподільні пристрої та повітряні або кабельні лінії електропередачі (ЛЕП).

Передачу електроенергії можна здійснювати при напрузі, що виробляється джерелом, узгодженим із споживачем, або змінюючи напругу в ЛЕП за допомогою трансформаторів (рис. 4.1).

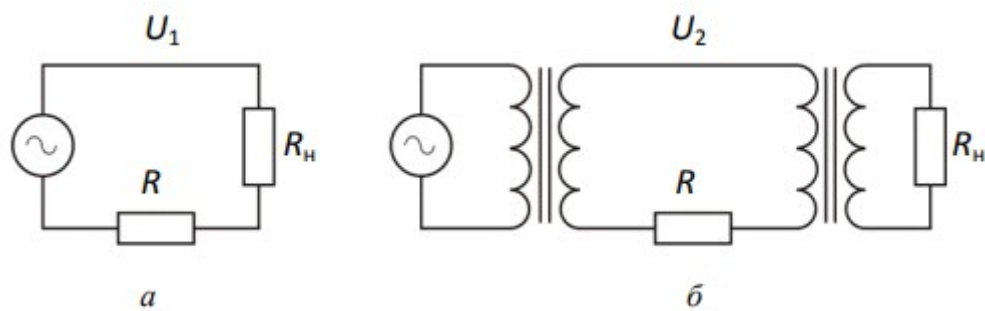


Рисунок 4.1 – Система передачі електроенергії без підвищення напруги (а)
та з підвищенням напруги (б) у лінії електропередачі

Розглянемо обидва випадки передачі електроенергії, вважаючи, що корисне навантаження P , обумовлене опором навантаження R_n , залишається постійною і передається при опорі ланцюга $R = \text{const}$.

В основі аналізу лежать закон Ома та формула для розрахунку потужності ділянки ланцюга:

$$I = U/R \quad (4.1)$$

$$P = IU \quad (4.2)$$

При прийнятих припущеннях корисна потужність, що передається джерелом споживачеві, дорівнює:

$$P = I_1 U_1 \quad (4.3)$$

$$P = I_2 U_2 \quad (4.4)$$

де індекси 1 та 2 відповідно відносяться до схем *a* і *б* на рис. 4.1. Втрати енергії в обох схемах, навпаки, відрізняються:

$$P_1^n = I_1^2 R \quad (4.5)$$

$$P_2^n = I_2^2 R \quad (4.6)$$

Відносна величина втрат:

$$P_1^n / P_2^n = I_1^2 R / I_2^2 R = I_1^2 / I_2^2 \quad (4.7)$$

З урахуванням (4.3) та (4.4):

$$P_1^n / P_2^n = (P / U_1)^2 / (P / U_2)^2 = U_2^2 / U_1^2 \quad (4.8)$$

Таким чином, втрати при передачі електроенергії обернено пропорційні квадрату напруги. З цієї причини в лініях електропередач використовуються високі напруги, які в даний час досягають 750–1150 кВ. Це дозволяє без істотних втрат передавати електроенергію на великі відстані по проводах невеликого перерізу, що також призводить до непрямой економії енергії за рахунок зниження матеріаломісткості ЛЕП.

Наявність трансформаторів у передавальних та розподільчих системах змінного струму призводить до виникнення додаткового індуктивного опору X_L та додаткових втрат за рахунок реактивної потужності Q .

Паразитну реактивну потужність можна зменшити, послідовно включивши в ланцюг ємнісний опір X_c у вигляді батареї конденсаторів. Це впливає з векторного характеру параметрів, що розглядаються. Повна потужність S залежить від коефіцієнта (косинусу кута ϕ), що показує ступінь запізнення струму від напруги:

$$S = \frac{P}{\cos \phi}, \cos \phi = \frac{P}{S} = \frac{R}{Z} \quad (4.9)$$

Споживачами реактивної потужності поряд з активною крім трансформаторів є електродвигуни, зварювальні апарати, індукційні електропечі, флуоресцентні лампи та інше електротехнічне обладнання.

Реактивна потужність, що становить, завжди присутня в ланцюгах змінного струму, що містять котушки або обмотки, за рахунок ЕРС самоіндукції. Як і в розглянутому випадку з трансформатором, її можна зменшити запровадженням ємнісного опору.

Завдання, рішення

Завдання 4.1. Електричний ланцюг змінного струму містить послідовно включені активний опір $R = 80$ Ом та індуктивний опір $X_L = 100$ Ом. Для компенсації реактивної потужності ланцюг додано ємнісний опір $X_C = 40$ Ом. Напруга в ланцюзі залишилася без зміни і дорівнює $U = 110$ В.

Визначити, яку величину змінилася споживана потужність.

Рішення. Опір ланцюга з активним та індуктивним опором

$$Z_1 = \sqrt{R^2 + X_L^2} = 128,1 \text{ Ом.}$$

Опір ланцюга з активним, індуктивним та ємнісним опором

$$Z_2 = \sqrt{R^2 + (X_L^2 - X_C^2)} = 100 \text{ Ом.}$$

Повна потужність, що використовується, визначається за формулою (4.9):

$$S = P / \cos \phi = (U^2 / R)(Z / R)$$

Початкова споживана потужність дорівнює 242,1 Вт, а після встановлення ємнісного опору - 189 Вт. Таким чином, споживана потужність зменшилася на 53,1 Вт.

Активна, реактивна та повна потужності пов'язані з відповідними напругами та струмом в електричному ланцюзі:

$$P = U_a I; Q = U_r I; S = U I$$

де U_a - активне (звичайне) падіння напруги; U_r – реактивне падіння напруги; U – повне падіння напруги ланцюга.

Зниження втрат в лініях електропередачі може бути досягнуто використанням постійного струму або надпровідників. У першому випадку потрібні потужні перетворювачі напруги. Досвідчена експлуатація таких ліній показала їхню високу вартість та нерентабельність у порівнянні з традиційними системами передачі електроенергії. У другому випадку експлуатація надпровідника ЛЕП вимагає криогенних систем, що ще вище за вартістю.

Завдання для самостійного вирішення

Завдання 4.2. Електричний ланцюг змінного струму містить послідовно включені активний опір $R = 80 \text{ Ом}$ та ємнісний опір $X_c = 100 \text{ Ом}$. Для компенсації реактивної потужності ланцюг додано ємнісний опір $X_L = 50 \text{ Ом}$. Напруга в ланцюзі залишилася незміни, $U = 110 \text{ В}$. Визначити, яку величину змінилася споживана потужність. Побудувати векторну діаграму.

Завдання 4.3. Електричний ланцюг змінного струму містить послідовно включені активний опір $R = 80 \text{ Ом}$, індуктивний опір $X_L = 80 \text{ Ом}$ та ємнісний опір $X_c = 40 \text{ Ом}$. Визначити необхідний характер і величину компенсаційного опору, при якому напруга ланцюга залишиться без змін.

Практичні заняття №5

ПРОЕКТУВАННЯ ЕЛЕКТРИЧНИХ СИСТЕМ З ВИКОРИСТАННЯМ ВІДНОВЛЮВАНИХ ДЖЕРЕЛ ЕНЕРГІЇ

Найбільш оптимальна область використання сонячної енергії – це нагрівання води та повітря, гаряче водопостачання та опалення приміщень. Пристрій, що перетворює енергію сонця на теплову енергію, називається сонячний колектор (СК). Робота СК базується на принципі тепличного ефекту. Сонячне випромінювання, потрапляючи на зачорнений теплообмінник СК через прозоре покриття, нагріває теплоносії. Теплоносії може бути повітря, вода та ін.

Сонячні колектори використовуються для отримання гарячої води та опалення приміщень. Температура нагрівання води залежить від пори року, географічної широти місцевості, кута нахилу колектора до горизонту, а також конструктивних та режимних параметрів сонячного колектора.

При розрахунках та виборі СК температура навколишнього повітря для квітня та вересня приймається рівною 10 °С (283 °К), для травня – 15 °С (288 °К), червня, липня, серпня – 20 °С (293 °К).

Завдання 5.1. Розрахувати площу сонячного колектора для забезпечення споживача гарячою водою в кількості m кілограмів на добу із заданою температурою T_k , °К у літній період (з травня по серпень).

Визначити кількість колекторів n для вироблення необхідного обсягу гарячої води та розрахувати їхню вартість. Вихідні дані для розрахунку взяти із табл. 1.1. Розрахунок здійснити для кожного місяця заданого періоду.

Методика розрахунку.

1. Визначається кількість питомої енергії, яка виробляється сонячним колектором в умовах Харківської області в літній період для кожного місяця:

$$Q_{в.уд.} = K_f \left[H \cdot \tau - \frac{(T_n - T_{o.c.})}{R^n} \cdot 3,6 \times 10^{-3} \right] \text{ МДж/м}^2 \quad (5.1)$$

де K_f – коефіцієнт перенесення сонячної енергії до рідини. Цей коефіцієнт показує частку теплового потоку $Q_{в.уд.}$, що передається воді, та в розрахунках приймається рівним 0,85;

H – сумарна сонячна денна радіація на горизонтальну поверхню;

τ – коефіцієнт пропускання сонячного випромінювання прозорим покриттям (з урахуванням поглинання сонячного випромінювання поверхнею колектора приймаємо $\tau = 0,9$ – для одинарного скляного покриття, $\tau = 0,8$ для подвійного скляного покриття, $\tau = 0,81$ для силікатного скла);

T_n – температура приймальної поверхні колектора, °К;

$T_{oc.}$ – температура довкілля, °K;

R^n – термічний опір приймальної поверхні типового колектора ($R^n = 0,13 \text{ м}^2 \text{ °K/Вт}$ – для одинарного скла, $R^n = 0,22 \text{ м}^2 \text{ °K/Вт}$ – для двошарового скла; $R^n = 0,4 \text{ м}^2 \text{ °K/Вт}$ – для силікатного скла).

Сумарна денна сонячна радіація на горизонтальну поверхню визначається:

$$H = H_0 \left(a + b \frac{S}{S_0} \right), \text{ МДж/м}^2 \quad (5.2)$$

де H_0 – коефіцієнт, що приймається рівним еталонному (атмосферному) значенню сонячної радіації ($1360 \text{ Вт/м}^2 = 1,36 \text{ кВт/м}^2$). Враховуючи, що $1 \text{ кВт} = 3,6 \text{ МДж}$ кожного місяця цей коефіцієнт дорівнюватиме $H_0 = 1,36 \cdot 3,6 \text{ МДж/м}^2$;

a та b – постійні коефіцієнти для заданого району;

S – дійсна тривалість сонячного сяйва для заданого району, год;

S_0 – можлива тривалість сонячного сяйва, год.

Значення коефіцієнтів a , b і S_0 для Харківської області беруться з таблиці 1.2. для кожного розрахункового місяця; середнє значення S – за таблицею 1.3.

Температура приймальної поверхні колектора розраховується за виразом:

$$T_{\Pi} = \frac{T_{oc.} + T_B}{2}, \text{ °K} \quad (5.3)$$

де T_B – температура води в баку-акумуляторі до кінця дня (у розрахунках приймається рівною заданій кінцевій температурі T_K).

2. Визначається кількість енергії для нагрівання необхідної кількості води на добу до заданої температури кожного місяця розрахункового періоду i :

$$Q_{ni} = m \cdot C (T_K - T_H) 10^{-3} \quad (5.4)$$

де m – маса гарячої води, кг; C – теплоємність води ($C = 4,19 \text{ кДж/кг °K}$);

T_K – кінцева температура нагріву, °K;

T_H – початкова температура нагріву (приймається рівною температурі навколишнього середовища для розрахункового періоду).

3. Площа сонячного колектора визначається виразом:

$$P_{CK} = \frac{Q_{ni}}{Q_{в.уд.i}}, \text{ м}^2 \quad (5.5)$$

Виходячи з розрахункової площі СК визначається кількість колекторів n для розрахункового періоду часу використання. Для розрахунку приймаємо площу одного колектора $0,8 \text{ м}^2$.

4. Розраховується вартість необхідної кількості колекторів за їх максимальним значенням з розрахункових місяців.

5. Зробити висновок щодо доцільності використання енергії сонця для нагрівання води в умовах заданого району.

Приклад розрахунку

Вихідні дані:

Населений пункт: м. Харків;

Маса гарячої води, $m = 10 \text{ кг}$;

Кінцева температура нагрівання, $T_K = 70 \text{ }^\circ\text{C}$;

Вид скляного покриття – одинарне;

Розрахунковий період – із травня до серпня.

1. Сумарна сонячна радіація для травня:

$$H = H_0 \left(a + b \frac{S}{S_0} \right) = 4,9 \left(0,12 + 0,54 \cdot \frac{8,6}{16} \right) = 2,01 \text{ МДж/м}^2$$

2. Кількість питомої енергії, що виробляється сонячним колектором у літній період за травень:

$$\begin{aligned} Q_{в.йд.5} &= K_f \left[H \cdot \tau - \frac{(T_n - T_{o.c.})}{R^n} \cdot 3,6 \times 10^{-3} \right] = \\ &= 0,85 \left[2,01 \cdot 0,9 - \frac{315,5 - 288}{0,13} \cdot 3,6 \cdot 10^{-3} \right] = 0,89 \text{ МДж/м}^2 \end{aligned}$$

Кількість енергії для нагрівання води на добу до заданої температури для травня:

$$Q_{n5} = m \cdot C (T_K - T_H) 10^{-3} = 10 \cdot 4,19 (343 - 288) \cdot 10^{-3} = 2,3 \text{ МДж}$$

Для інших місяців Q_n визначається аналогічним чином.

3. Площа сонячного колектора:

$$П_{СК} = \frac{Q_{ni}}{Q_{в.йд.i}} = \frac{2,3}{0,89} = 2,58 \text{ м}^2$$

4. Кількість сонячних колекторів для травня:

$$n_5 = \frac{2,58}{0,8} = 3,2 \text{ шт}$$

Для інших місяців розрахунок кількості СК аналогічний. Для рекомендації до встановлення приймаємо найбільшу кількість СК, отриману для кожного місяця. Для нашого розрахунку $n=4$ шт. Вартість чотирьох сонячних колекторів визначається за діючими на момент розрахунку цінами заводу-виробника.

Таблиця 5.1 – Вихідні дані для розрахунку задачі

№ варіанта	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Населений пункт	Чугуїв	Солоницівка	Мерефа	Люботин	Харків	Золочів	Нова Водолага	Зміїв	Богодухів	Ізюм
Об'єм гарячої води, л	5	10	7	8	12	15	9	6	10	9
Кінцева температура нагрівання, °C	50	65	80	70	60	55	75	80	90	85
Вид скляного покриття СК	одинарне	подвійне	подвійне	силікатне	одинарне	силікатне	подвійне	одинарне	силікатне	подвійне

Таблиця 5.2 – Значення коефіцієнтів a , b , S_0 за місяцями

Місяць	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
a	0,15	0,14	0,2	0,17	0,12	0,10	0,18	0,11	0,14	0,19	0,16	0,13
b	0,18	0,41	0,4	0,45	0,54	0,54	0,4	0,48	0,44	0,44	0,42	0,32
S_0	8	10	12	14	16	16	16	14	12	10	8	8

області

Населені пункти	Величина S , год, по місяцях											
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Чугуїв	3,5	4,8	6,2	8,1	9,4	10,5	10,5	9,5	6,8	4,3	3	2,5
Мерефа												
Солоницівка	3,1	4,5	5,8	7,8	9,2	10,3	10,3	8,9	6,4	3,8	2,9	2,5
Зміїв												
Люботин	2,8	4,5	5,4	7,4	8,8	9,8	9,9	8,4	6,3	3,5	2,6	2
Харків	2,5	4,2	5,2	7,4	8,6	9,6	9,4	7,9	5,6	3,4	2,2	1,9
Ізюм												
Золочів	2,2	5,2	7,3	8,6	9,4	9	9	7,5	5,3	2,9	2	1,8
Нова Водолага												
Богодухів												

ТЕМИ ДЛЯ САМОСТІЙНОГО ОПРАЦЮВАННЯ

№ з/п	Види, зміст самостійної роботи	Кількість годин
1	Аналіз сучасних технологій виробництва електричної енергії: традиційні та альтернативні підходи	5
2	Методи зниження втрат енергії в електричних мережах	6
3	Перспективи використання акумуляторних систем у складі електричних мереж	6
4	Екологічні аспекти утилізації електричних батарей та інших електронних відходів	6
5	Розробка проекту підвищення енергоефективності побутових електроприладів	6
6	Інтеграція систем розумного дому в електричну мережу: можливості та виклики	5
7	Аналіз нормативно-правових вимог до експлуатації електричних мереж та обладнання	6
8	Технічне обслуговування трансформаторних підстанцій: сучасні підходи та технології	6
9	Перспективи розвитку мікророзподільчих систем (мікромереж) в умовах децентралізації енергопостачання	6
10	Аналіз впливу електромагнітних полів на довкілля та здоров'я людини	6
	Разом	58

ПИТАННЯ ДЛЯ ПОТОЧНОГО ТА ПІДСУМКОВОГО КОНТРОЛІВ

1. Які основні етапи виробництва енергетичного обладнання?
2. Що включає в себе процес експлуатації енергетичного обладнання?
3. Які існують сучасні методи утилізації енергетичного обладнання?
4. Які ресурси використовуються у виробництві енергетичного обладнання?
5. Як впливає зношення обладнання на його енергетичну ефективність?
6. Які матеріали найчастіше використовуються для виробництва трансформаторів?
7. Які технологічні процеси застосовуються при виготовленні турбін?
8. Чим відрізняється виробництво відновлюваних енергетичних систем (вітряки, сонячні панелі) від традиційних?
9. Як впливають сучасні технології на зниження витрат при виробництві енергетичного обладнання?
10. Що таке "зелене виробництво" в енергетиці?
11. Які основні принципи експлуатації електродвигунів у промисловості?
12. Які методи діагностики стану енергетичного обладнання є найбільш ефективними?
13. Як впливає неправильна експлуатація на тривалість роботи енергетичного обладнання?
14. Які показники контролюють під час експлуатації трансформаторів?
15. Що таке "профілактичне обслуговування", і як його застосовують у сфері енергетики?
16. Які основні етапи утилізації трансформаторів?
17. Що таке переробка вторинних ресурсів, і які її переваги в енергетиці?
18. Як забезпечується безпека при утилізації обладнання, яке містить небезпечні матеріали (наприклад, трансформаторну оливу)?
19. Які існують способи повторного використання компонентів електрообладнання?
20. Як впливає утилізація енергетичного обладнання на екологічну ситуацію?
21. Які екологічні стандарти регулюють виробництво та утилізацію енергетичного обладнання?
22. Як зменшення викидів CO₂ досягається під час утилізації енергообладнання?
23. Які переваги має замкнений цикл виробництва в енергетиці?
24. Що таке енергетична ефективність обладнання, і як вона вимірюється?
25. Як вибір матеріалів для обладнання впливає на його екологічність?

26. Які сучасні технології використовуються для переробки батарей великих енергосистем?

27. Як роботизовані системи допомагають у демонтажі старого енергетичного обладнання?

28. Які перспективи має використання штучного інтелекту у моніторингу стану енергообладнання?

29. Що таке "цифровий двійник" енергетичного обладнання, і як він допомагає в експлуатації та утилізації?

30. Як інноваційні матеріали (наприклад, композити) змінюють підходи до виробництва та утилізації обладнання?

РЕКОМЕНДОВАНА ЛІТЕРАТУРА

1. Монтаж енергообладнання та систем керування : навч. посіб. Для студентів вищ. навч. закл. / М. П. Кунденко та ін. Ч. І. Харків : ХНТУСГ, 2017. 282 с.
2. Монтаж та налагоджування електромеханічних пристроїв : навч. посіб. / В. В. Грабков та ін. Вінниця : ВНТУ, 2020. 173 с.
2. Правила технічної експлуатації електроустановок споживачів. Київ : ДП НТУКЦ «АсЕнерго», 2020. 304 с.
3. Величко С.А. Енергетика навколишнього середовища України (з електронними картами). Навчально-методичний посібник для магістрантів. – Харків: Харківський національний університет імені В.Н.Каразіна. - 2003. - 52с.– 2006. – 280 с.
4. Лежнюк П.Д. Відновлювані джерела енергії в розподільних електричних мережах: монографія / П.Д. Лежнюк, О.А. Ковальчук, О.В. Нікіторович, В.В. Кулик - Вінниця: ВНТУ, 2014. – 204 с.
5. Нетрадиційні та відновлювані джерела енергії / Кудря С. О. – Підручник. – Київ: Національний технічний університет України («КПІ»), 2012.– 495с.
6. Кузнєцов М.П. Моделювання параметрів роботи енергосистеми, які носять випадковий характер // Відновлювана енергетика. – 2012, №3. – С.5-9.
7. Bocklisch T. Hybrid energy storage systems for renewable energy applications. Energy Procedia, 2015. 103 p.
8. Obukhov S., Ibrahim A., Tolba M.A., M.El-Rifaie A. Power balance management of an autonomous hybrid energy system based on the dual-energy storage // Energies, 2019, v.12.
9. Okinda V.O., Odero N.A. A review of techniques in optimal sizing of hybrid renewable energy systems. IJRET: International Journal of Research in Engineering and Technology. Issue 11, 2015. – P.153-163.
10. Паливно-енергетичний комплекс України на порозі третього тисячоліття // Під заг. ред. Шидловського А.К., Ковалка М.П. - Київ: Українські енциклопедичні знання, 2001. - 400 с.
11. СОУ-Н МЕН 40.1-00100227-68:2012 «Стійкість енергосистем. Керівні вказівки». Міненерго України, 2112.

Навчальне видання

Бровко Костянтин Юрійович
Буданов Павло Феофанович
Винокурова Наталія Дмитріївна

**ВИРОБНИЦТВО, ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА УТИЛІЗАЦІЯ
ЕНЕРГЕТИЧНОГО ОБЛАДНАННЯ ТА РЕСУРСІВ**

Навчально-методичний посібник