

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут»

С.О. Кудря, В.І. Будько

**ВСТУП ДО СПЕЦІАЛЬНОСТІ.
НЕТРАДИЦІЙНІ ТА ВІДНОВЛЮВАНІ
ДЖЕРЕЛА ЕНЕРГІЇ**

Курс лекцій

Київ 2013

Вступ до спеціальності. Нетрадиційні та відновлювані джерела енергії: Курс лекцій/ С.О. Кудря, В.І. Будько. – К.: НТУУ «КПІ», 2013. – 387 с.

*Гриф надано Методичною радою НТУУ «КПІ»
(протокол № 1 від 19 вересня 2013 р.)*

Електронне навчальне видання

ВСТУП ДО СПЕЦІАЛЬНОСТІ. НЕТРАДИЦІЙНІ ТА ВІДНОВЛЮВАНІ ДЖЕРЕЛА ЕНЕРГІЇ

Курс лекцій
для студентів напряму підготовки
«Електротехніка та електротехнології»

Курс лекцій «Вступ до спеціальності» призначений для вивчення студентами за напрямом підготовки «Електротехніка та електротехнології» за програмою професійного спрямування «Нетрадиційні та відновлювані джерела енергії». Мета навчального видання – надати студентам базові знання про перетворення енергії різних видів відновлюваних джерел – сонячної, вітрової, геотермальної, енергії малих річок, біомаси та доквілля в електричну та теплову енергію.

Автори: Кудря Степан Олександрович, д.т.н., проф., Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут»
Будько Василь Іванович к.т.н., доц., Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут»

Відповідальний редактор: Кириленко Всеволод Михайлович, к.т.н., доц., Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут»

Рецензенти: Резцов Віктор Федорович, д.т.н., проф., Інститут відновлюваної енергетики НАН України
Павлов Віктор Борисович, д.т.н., гол. наук. співроб., Інститут електродинаміки НАН України

ЗМІСТ

Лекція 1. Вступ. Структура курсу. Роль енергетики в розвитку суспільства. Класифікація джерел енергії на Землі. Термінологія, основні поняття дисципліни.

Лекція 2. Енергетичний потенціал джерел енергії на Землі.

Лекція 3. Напрями та рівні споживання енергії.

Лекція 4. Мінеральні та органічні викопні джерела енергії. Ядерне паливо.

Лекція 5. Енергетичні ресурси кам'яного і бурого вугілля, горючих сланців, торфу, нафти, природного газу та іншого органічного палива в світі та в Україні.

Лекція 6. Класифікація відновлюваних джерел енергії

Лекція 7. Основні характеристики та питомі енергетичні показники енергії вітру.

Лекція 8. Методи та засоби перетворення вітрової енергії.

Лекція 9. Основні характеристики та енергетичні показники сонячної радіації. Класифікація методів перетворення енергії сонячної радіації.

Лекція 10. Фотоенергетика. Сонячна теплоенергетика.

Лекція 11. Основні характеристики та питомі енергетичні показники енергії біомаси.

Лекція 12. Основні сучасні технології та обладнання з переробки біомаси.

Лекція 13. Геотермальні ресурси.

Лекція 14. Методи та засоби перетворення геотермальної енергії.

Лекція 15. Енергія водних ресурсів.

Лекція 16. Мала гідроенергетика.

Лекція 17. Енергетичні ресурси, основні напрями освоєння енергії довкілля.

Лекція 18. Методи та засоби освоєння енергії довкілля. Теплові насоси.

Лекція 19. Системи акумулювання енергії відновлюваних джерел.

Лекція 20. Комбіновані енергетичні системи на основі відновлюваних джерел.

Лекція 21. Тенденції та рівні розвитку відновлюваної енергетики в світі та в Україні.

Лекція 22. Вартісні показники відновлюваної енергетики. Перспективи розвитку.

Лекція 23. Загальна характеристика нетрадиційних джерел енергії.

Лекція 24. Енергетичні ресурси нетрадиційних джерел енергії.

Лекція 25. Екологічні показники традиційної та відновлюваної енергетики.

Лекція 26. Роль первинних джерел енергії при формуванні національної енергетичної політики.

Лекція 27. Національні пріоритети і необхідність врахування вимог міжнародних договорів і зобов'язань. Уніфікація законодавства різних країн. Концепція розвитку нетрадиційної та відновлюваної енергетики України. Законодавчо-правова та нормативна база нетрадиційної та відновлюваної енергетики України.

Список літератури.

Лекція 1

Вступ. Структура курсу. Роль енергетики в розвитку суспільства. Класифікація джерел енергії на Землі. Термінологія, основні поняття дисципліни

Історичні етапи освоєння людством джерел енергії. Використання енергії сонця, вітру, води та біомаси в первісних суспільствах. Розвиток технологій використання джерел енергії та їх вплив на розвиток цивілізації. Енергетика як базис економічного розвитку. Структура та рівні споживання енергії. Класифікація джерел енергії на Землі. Термінологія, основні поняття дисципліни.

Вступ

Енергія нерозривно пов'язана з життям кожної людини. Не випадково, що за рівнем енергоспоживання на душу населення судять про стан розвитку країни і про благополуччя її громадян. Проблеми енергетики, зумовлені ростом цін на енергоносії, які в свою чергу пов'язані з вичерпністю легкодоступних родовищ органічного і ядерного палива, а також частими аваріями на атомних станціях зумовлюють необхідність аналізу стану споживання енергії на сучасному етапі розвитку суспільства і намітити шляхи енергозабезпечення людства в майбутньому. Крім кількісної характеристики споживання енергії не менш важливим є екологічна і економічна оцінка енергозабезпечення. Вони в першу чергу залежать від науково-технічного рівня технологій видобутку енергоносіїв та перетворення і споживання енергії.

Необхідність кардинальних змін у світовій енергетиці пов'язана з вичерпанням традиційних викопних енергоносіїв, енергетичними кризами та катастрофами на атомних станціях. Виробництво енергії із використанням органічного викопного палива та ядерної енергії супроводжується забрудненням оточуючого середовища та негативним впливом на тепловий баланс планети, що може призвести до глобальних незворотних змін клімату.

Проблеми сучасної енергетики спонукали до пошуку нових шляхів енергозабезпечення людства, одним із яких є повернення до використання енергетичних ресурсів, від яких людство практично відійшло на початку минулого століття – енергії Сонця та Землі.

Основні органічні енергоресурси, крім вугілля, навіть при достатньо дбайливому їх споживанні, можуть закінчитися вже через 40-50 років. Тому необхідно пам'ятати про попередження великих вчених, які випередили свій час, повною мірою усвідомлюючи необхідність збереження для наступних поколінь не тільки навколишнього середовища, але й органічного палива як сировинної бази хімічної, медичної та біохімічної галузей. К.Е. Ціолковський сказав: “Только наше невежество заставляет нас пользоваться ископаемым топливом”. К.А. Тимірязєв говорив, що “...каждый луч Солнца, не уловленный, а бесплодно отразившийся назад в мировое пространство, – кусок хлеба, вырванный изо рта отдаленного потомка”. Не менш актуальними є також слова Д.І. Менделєєва: «Топить нефтью – все равно, что топить ассигнациями».

Одним із найбільш перспективних напрямів розвитку світової енергетики в даний час є використання відновлюваних джерел енергії, що знімає ряд

проблем, які виникають у процесі функціонування традиційної енергетики, в тому числі щодо шкідливого впливу на навколишнє середовище. У ряді країн заплановано виведення з експлуатації всіх атомних електростанцій, альтернативою яким є поступова заміна потужностей, що вибувають, електростанціями на основі відновлюваних джерел енергії.

Використання відновлюваних джерел для вирішення проблем енергозабезпечення населення та промисловості є надзвичайно важливим для України, що в першу чергу пов'язано з енергодефіцитністю і негативними тенденціями в галузі існуючої вітчизняної енергетичної системи та незадовільним станом оточуючого середовища.

Роль енергетики в розвитку суспільств

Для свого існування людство повинно постійно вирішувати три основні проблеми – забезпечення продуктами харчування, забезпечення енергією та забезпечення природних умов, придатних для нормальної життєдіяльності. Ці проблеми взаємопов'язані між собою, але при їх розгляді на даному етапі розвитку світового суспільства на перше місце виходить проблема енергозабезпечення, від ефективності та якості якого залежить рівень життя населення та стан оточуючого середовища.

Інтенсивне зростання народонаселення планети, чисельність якого зараз складає 7 млрд, а за прогнозом Міжнародного інституту проблем системного аналізу (МІПСА, Австрія) в 2025—2050 рр. на Землі буде 8,2 млрд жителів, а до 2100 р. — до 12 млрд чоловік, стимулює до вирішення енергетичних проблем.

Глобальні енергетичні проблеми полягають у тому, щоб не допустити настання енергетичної кризи, зменшити забруднення атмосфери, води і ґрунтів токсичними речовинами, понизити теплове забруднення планети внаслідок втрат енергетичних і промислових установок в навколишнє середовище. Одночасне вирішення цих проблем можливе шляхом створення альтернативних екологічно чистих енергетичних систем на основі нетрадиційних та відновлюваних джерел.

В даний час в промисловому масштабі існують три основні види енергетики: так звана "органічна" енергетика на основі викопних органічних енергоресурсів; ядерна енергетика на основі ядерного палива та енергетика, основана на використанні відновлюваних джерел енергії (ВДЕ). Проведений аналіз наявності ресурсів органічного палива в роботі показав, що світових запасів нафти вистачить на 50 років, природного газу – на 100 років, вугілля – на 350-500 років. Згідно прогнозу академіка РАН В.І. Субботіна, в Росії нафта залишиться основним джерелом енергії не більше 20 років, природний газ – протягом 80 років.

Зростання народонаселення Землі супроводжується бурхливим науково-технічним прогресом, що вже привів до величезного стрибка в розвитку продуктивних сил базових галузей, споживаючих всю зростаючу кількість енергії. Період з 1950 по 2000 р. був пов'язаний з розвитком надзвичайно енергоємної космонавтики і реальним здійсненням польотів тисяч апаратів в космічний простір.

Визначальний розвиток промисловості і економіки тієї або іншої країни безпосередньо залежить, по-перше, від забезпеченості енергоносіями, по-друге, від рівня розвитку енергетики

Сучасна традиційна енергетика в основному базується на використанні корисних копалин - вугілля, нафти, природного газу, які по своїй суті є вичерпаними джерелами енергії. Неможливо представити точну оцінку наявності корисних копалин в світі, тому що їх запаси ще недостатньо вивчені та розвідані, дані про них постійно міняються і уточнюються.

З давніх часів людство використовує енергію сонця, вітру та води для полегшення своєї праці. Відновлювані джерела енергії на примітивному рівні застосовувались завжди – це використання сонячної енергії для сушки продуктів, нагріву води, застосування вітрових та водяних млинів. В Єгипті збереглися залишки вітряків, яким не менше трьох тисяч років, а найбільшого поширення вітряки досягли в Голландії, де з їх допомогою навіть до цих пір осушуються прибережні ділянки Північного моря.

В останні роки вчені всього світу працюють над пошуком нових шляхів отримання енергії з метою скорочення використання корисних копалин для енергетичних потреб і збереження їх для використання в якості сировини для хімічної та харчової промисловості (виробництво синтетичних матеріалів, лікарських препаратів, харчових продуктів, тощо).

Перспектива забезпечення людства новими енергетичними ресурсами нещодавно пов'язувалась з використанням ядерної та термоядерної енергії, при цьому вважалось, що атомна енергія є невичерпною та безпечною для людини та оточуючого середовища. Однак досвід, набутий при освоєнні “мирного атому” показав, що експлуатація атомних електростанцій з огляду на рівень технічного оснащення, навіть найбільш сучасного, може призвести до аварії не тільки місцевого чи регіонального значення, але й до світової катастрофи. Запаси ядерного палива також не безмежні, а їх видобуток та переробка стають все більш енергоємними, і відповідно, дорогими. Крім того, в зв'язку з накопиченням відходів ядерного палива все актуальнішою стає проблема їх безпечного захоронення.

Запаси термоядерного палива можна вважати практично невичерпними, але, як показує практика, ера промислового використання термоядерного синтезу наступить ще не скоро.

Необхідно відмітити, що всі розглянуті види палива (органічне паливо, ядерна та термоядерна енергія) при своєму використанні негативно впливають на оточуюче середовище - крім шкідливих викидів, якими характеризується кожен з технологічних процесів по виробництву електричної та теплової енергії окремо, всі вони призводять до так званого “теплового забруднення” оточуючого середовища. На думку вчених, перегрів навколишнього середовища на 3,5 С° є критичною величиною, яка може призвести до глобальних змін клімату та атмосфери. Враховуючи темпи росту споживання енергії, критичний рубіж можна прогнозувати вже через 50 років.

Екологічну загрозу представляє також “парниковий ефект”. При згоранні органічного палива наряду з окислами азоту, сажею, золою та іншими

канцерогенними продуктами згорання виділяється велика кількість вуглекислого газу, концентрація якого в атмосфері, незважаючи на часткове поглинання рослинністю, постійно збільшується. Вуглекислий газ має властивість пропускати видимий спектр сонячного світла і поглинати інфрачервоне випромінювання Землі. Внаслідок цього навколо Землі створюється “парниковий ефект”, який характеризується підвищенням температури та вологості і може призвести до катастрофічних наслідків для флори та фауни нашої планети.

Детальний аналіз первинних джерел енергії, енергетичних технологій та наслідків їх застосування показує, що подолання енергетичної кризи, одночасно із отриманням позитивного екологічного ефекту, можна досягти з однієї сторони зменшенням питомого енергоспоживання за рахунок впровадження енергоефективних і енергозберігаючих технологій, з іншої - за рахунок широкомасштабного використання відновлюваних та нетрадиційних джерел енергії.

Об'єктивною закономірністю суспільного розвитку є систематичне зростання енергоспоживання. При цьому науково-технічний прогрес в багатьох своїх проявах направлений на підвищення енергетичної ефективності суспільного виробництва, тобто на енергозбереження.

Енергоефективність слід розглядати в двох аспектах:

1) Зниження фізичного об'єму палива і (або) енергії, що витрачається на одиницю виробленої продукції або національного доходу, тобто економія органічного і ядерного палива, електричної і теплової енергії, яка досягається в результаті:

- підвищення рівня технологічної і виробничої дисципліни, дбайливішого відношення до енергоресурсів;
- зниження непродуктивних втрат палива і енергії за рахунок організаційно-технічних заходів, що реалізуються при виробництві (видобутку), перетворенні, транспортуванні, зберіганні, розподілі та на стадії кінцевого споживання палива і енергії;
- технічного переозброєння, модернізації і реконструкції діючих основних фондів, виведення з використання фізично і морально застарілих малоефективних в енергетичному відношенні основних фондів або їх заміни новими прогресивними;
- створення і впровадження нових, енергоекономічніших технологічних процесів і устаткування;
- вдосконалення структури економіки у напрямі випереджаючого розвитку малоенергоємних галузей, корінного підвищення якості продукції машинобудування і одночасного збільшення терміну її служби, зниження матеріаломісткості, поліпшення галузевої структури виробництва для досягнення якнайповнішого завантаження передових виробництв, що випускають в порівнянні з іншими аналогічними виробництвами менш енергоємну продукцію.

2) Заходи, реалізація яких у області енергетичного господарства забезпечує досягнення економічного ефекту за рахунок вдосконалення

структури самого енергетичного виробництва і енергетичного балансу, а також заміщення енергією трудових ресурсів (підвищення продуктивності праці) або дорогих і дефіцитних матеріалів (наприклад, збільшення витрат електроенергії, пов'язаного з впровадженням автоматизованих систем керування технологічними процесами і обладнанням, що знижує непродуктивні витрати енергії і відходи оброблюваних матеріалів). До цього аспекту енергозбереження відносяться і заходи, при яких економічний ефект досягається при додатковій витраті енергоресурсів, що забезпечує підвищення якості, надійності і терміну служби продукції або організацію виробництва нової продукції з кращими споживчими властивостями, підвищення комфортності житла, поліпшення умов і підвищення безпеки праці, зниження негативної дії на навколишнє середовище. Такі заходи носитимуть енергозберігаючий або ресурсозберігаючий характер в тому випадку, якщо економічний ефект, що досягається за їх рахунок, перевищуватиме витрати, пов'язані з додатковою витратою енергоресурсів.

Заходи, супроводжувані додатковими витратами енергії і пов'язані з виробництвом нового вигляду конструкційних і інших матеріалів, відносяться до енергозберігаючих, якщо застосування цих матеріалів у споживачів в порівнянні з тими, що раніше використовувалися, забезпечує економію енергоресурсів і зниження витрат виробництва, які дають економічний ефект, що перевищує вартість додатково витраченої енергії при виробництві цих матеріалів.

Енергозберігаюча політика як засіб підвищення загальної ефективності народного господарства різних суспільств включає і основні заходи щодо заміщення дорогих видів вичерпних енергоресурсів ефективнішими і широкомасштабними, наприклад заміну нафти вугіллям і т.д. Енергозберігаюча політика повинна охоплювати весь комплекс заходів по вдосконаленню енергоспоживання в народному господарстві як в частині скорочення енергоємності, так і відносно структури енергоспоживання.

Дійсні енергетичні потреби суспільства при способі життя, що склався, даних кліматичних умовах і рівні технічного оснащення характеризуються споживанням кінцевої енергії, що одержується на виході з останньої фази перетворення енергоресурсів і підведеної для безпосереднього використання в технологічних, побутових і транспортних процесах. Змінювати потребу в кінцевій енергії можна тільки шляхом дії на неенергетичну частину продуктивних сил суспільства. Економія кінцевої енергії означає справжнє енергозбереження, тобто зниження дійсної енергоємності народного господарства. При цьому важливо знати, який вид кінцевої енергії вдається заощадити, оскільки її види значно розрізняються щодо народногосподарської значущості, енергетичного потенціалу і витраті енергоносіїв. Споживання первинних енергоресурсів співвідноситься із споживанням перетворених видів енергії як величина, зворотна ККД переробки, перетворення і розподілу енергетичних ресурсів. Тому правомірно враховувати також коефіцієнт використання природних джерел енергії, тобто вилучення палива з надр, ступінь використання водотоку і т.д. У зв'язку з цим економія первинних

енергоресурсів може досягатися не тільки економією енергоносіїв, але і вдосконаленням всіх процесів виробництва (видобутку), переробки, перетворення і розподілу енергоресурсів.

Загальна економія енергоресурсів в народному господарстві за рахунок всіх енергозберігаючих заходів формується як сума економії первинних енергоресурсів, що досягається: у сфері споживання в неенергетичній частині продуктивних сил, за рахунок вдосконалення енергетичного господарства споживачів, в самому паливно-енергетичному комплексі. На практиці планування економії палива і енергії визначається по різниці норм їх витрати на початку і в кінці даного періоду, помноженої на об'єми виробництва продукції в кінці періоду. До цього додається економія, що одержується за рахунок використання побічних (вторинних) енергоресурсів (горючих і теплових) і спалювання різного роду відходів і вторинної сировини - відходів заготовок і переробки деревини, лугів в целюлозному виробництві, горючих сільськогосподарських відходів, побутових відходів міст і т.д. При формуванні паливно-енергетичних балансів враховують розміри використання ядерної енергії і всіх видів відновлюваних енергоресурсів - гідроенергії, геотермальної, сонячної, вітрової енергії, біомаси і т.д. В результаті забезпечується продуктова і погалузева прив'язка результатів енергозберігаючої політики, що необхідно для адресності планування і можливості організації обліку і контролю розмірів енергозбереження.

У кількісних оцінках повинні враховуватися такі важливі чинники енергозбереження, як зниження матеріаломісткості (особливо металоємності) виробництва, вдосконалення розміщення продуктивних сил по території країни і поліпшення схеми транспортних перевезень, переважне використання менш енергоємної продукції, централізація електро- і тепlopостачання і т.д.

В цьому випадку оцінку і аналіз повинні також одержати і аналогічні структурні, соціальні і природні чинники, що діють у напрямі зростання енергоємності народного господарства, - збільшення транспортних перевезень через необхідність освоєння енергетичних і сировинних ресурсів в більш віддалених районах країни, використання бідних родовищ природних копалин з гіршими геологічними умовами, підвищення вимог до умов праці і життя населення, енерговитрати на охорону навколишнього середовища.

При загальній оцінці енергозбереження і формуванні енергозберігаючої політики необхідно відрізнити економію енергоресурсів, супутню „природним” структурним змінам і технічному прогресу в народному господарстві, від економії, що вимагає цілеспрямованих дій: цільових капіталовкладень, спеціальної системи економічного стимулювання, контролю і т.д.

Економічні умови та чинники зростання рівня енергоефективності промислового виробництва України. Енергетичні проблеми України полягають як у технічному оснащенні (використовується в основному старе, зношене і малоефективне обладнання), так і в джерелах забезпечення енергоносіями (більш ніж 50% енергоносіїв Україна імпортує за високими цінами). Паливно-енергетичний комплекс України характеризується негативними станом та тенденціями, зокрема зростанням дефіцитності

вітчизняних первинних енергоресурсів, підвищенням їх вартості на світовому ринку та проблемами зовнішнього постачання, недостатньою ефективністю використання наявних паливно-енергетичних ресурсів та практично відсутньою диверсифікацією джерел постачання палива, що створює загрозу національній безпеці України. Важливість вирішення проблемних питань підвищення енергоефективності та розвитку відновлюваної енергетики в Україні обумовлена дефіцитністю і обмеженістю запасів енергоресурсів, погіршенням стану навколишнього середовища та необхідність виконання міжнародних зобов'язань, зокрема щодо дотримання норм Кіотського протоколу.

Сучасна переорієнтація України на входження до ринку, зміна взаємовідносин між економічними суб'єктами потребують вирішення першочергових короткострокових завдань, що суттєво звужує перспективи технологічного розвитку країни. Разом з тим значно поширилося використання новітніх інформаційних технологій, з'явилися окремі елементи інтеграції національної економіки у світову. Зміцнення і розширення контактів між світовими науковими центрами сприяло залученню додаткових ресурсів в національну науку. Однак вітчизняна наука ще досить відірвана від діяльності промислового виробництва.

У провідних країнах світу широке застосування отримали лінійні, ланцюгові та циклічні моделі економіки. Особливого розвитку отримали ланцюгові моделі. В них діяльність щодо енергоефективності розглядається не як елемент ефективного використання енергетичних ресурсів, а як процес передачі знань на окремих стадіях просування продукції на ринок, як ланцюг зі зворотними зв'язками між основними складовими. Ключовим фактором у таких моделях є ефективність та взаємостимулювання зв'язків між різними фазами циклу енергоефективності. У цій моделі наукові розробки виступають не тільки як джерело інноваційних ідей, а й як ресурс вирішення проблем щодо зниження споживання енергії в енергоємних галузях промисловості.

Головними джерелами економічного зростання країни є науково-технічний прогрес (НТП), інноваційна та інтелектуальна діяльність. Це обумовлює нагальну потребу активізації довгострокової стратегії економічного, науково-технічного і соціального розвитку, окресливши її головні цілі, етапи, результати і врахувавши особливості фундаментальних і прикладних досліджень. При цьому дієдатність і результативність впровадження нововведень з енергоефективності формується та відпрацьовується в основному на рівні основної ланки промисловості: підприємства, фірми, науково-технічної організації.

У сучасних умовах глобалізації економіки і загострення енергетичних проблем та проблем, пов'язаних із зміною клімату, зросла роль міжнародних зобов'язань у формуванні енергетичної політики країн ЄС. Виступивши одним з ініціаторів Кіотського протоколу (1997 р.), що приписує розвиненим країнам забезпечити до 2008–2012 рр. 5,2%-не скорочення викидів газів, які створюють парниковий ефект, країни ЄС заявили про готовність понизити на 8% (порівняно 1990 р.) рівень викидів "парникових" газів – зокрема Люксембург на 28%, Німеччина і Данія – 21%, Австрія – 13% і т.і. Одним з основних шляхів

виконання цих міжнародних зобов'язань вважається ширше використанні відновлюваних джерел енергії (ВДЕ) і підвищення їх частки в енергетичному балансі країн Євросоюзу. За оцінками експертів ЄС, міжнародні зобов'язання, що обумовлені Кіотським протоколом і закріплені Директивами ЄС, створюють істотні стимули до використання ВДЕ в країнах Євросоюзу, особливо в Німеччині, Данії, Люксембурзі.

Таким чином, для енергозабезпечення людства роль нетрадиційних та відновлюваних джерел енергії в сучасній енергетиці починає набувати все більшої значимості.

Основними факторами, що обумовили освоєння НВДЕ в світі є наступні:

- необхідність забезпечення енергетичної безпеки країн, яка пов'язана з енергетичними кризами;
- необхідність зменшення обсягів шкідливих викидів, що утворюються в процесі використання традиційних енергоносіїв;
- необхідність збереження запасів енергоресурсів для майбутніх поколінь;
- збільшення витрат органічної сировини для неенергетичних потреб.

Вирішення енергетичних проблем є надзвичайно важливим для України. Екологічна проблема, подарована “мирним” атомом в результаті аварії на Чорнобильській атомній станції лягла важким тягарем в основному на плечі українського народу. На наслідках цієї глобальної катастрофи ми зупинятися не будемо, тому що ця проблема висвітлена багатьма вітчизняними і зарубіжними авторами. Одне необхідно підкреслити - людство зробило велику помилку, направивши свої зусилля на освоєння як “мирного”, так і “військового” атому.

Енергетичні проблеми України полягають як в технічному оснащенні – використовується в основному старе, зношене і малоефективне обладнання, так і в джерелах забезпечення енергоносіями - більш ніж 50% енергоносіїв Україна імпортує по високих цінах і в основному з однієї країни - Росії.

Згідно прогнозу Міжнародного енергетичного агентства (МЕА) щодо розвитку світової енергетики, з 1997 по 2020 р. потреба людства в енергії зросте на 57 %. На долю нафти, газу і вугілля в 2020 р. доводитиметься близько 90 % світовій потребі в електроенергії. За рахунок Китаю і Індії потреба у вугіллі збільшиться на 49 %. На виробництво електроенергії витратиметься 37 % вугілля, що здобувається, 30 % природного газу, 33 % нафти. Аналізуючи закономірності виробництва і споживання енергоносіїв в різних країнах земної кулі, розвитку економіки і зростання ВВП, можна зробити наступні висновки: у останні десятиліття ХХ в. більшість розвинених країн не тільки збільшили видобуток викопних енергоносіїв і кількість споживаної енергії, але і підвищили ефективність її використання, що привело до інтенсивнішого розвитку економіки, зростання добробуту населення і ВВП. Особлива увага в даний час приділяється розвитку ресурсозберігаючих технологій, які дозволяють економити до 20–25 % первинних енергоносіїв. Разом з тим наявність в деяких країнах енергоємних галузей промисловості знижує ефективність використання енергії і супроводжується викидами в навколишнє

середовище шкідливих речовин. Ці висновки характерні не тільки для країн, орієнтованих виключно на виробництво і продаж сировини (Росія, Казахстан, Україна, Киргизстан і ін.), але і для високорозвинених країн – США, Канада, Великобританія, які хоча і володіють технологіями високого рівня, проте поступаються по ефективності використання енергії при виробництві продукції іншим країнам Західної Європи і Японії.

Класифікація джерел енергії на Землі

Всі енергетичні ресурси на Землі є продуктами діяльності Сонця, за виключенням гравітаційної енергії взаємодії планет - Сонця, Місяця і Землі, а також теплової енергії ядра Землі (геотермальної), яка є результатом хімічних і ядерних реакцій, що протікають в її надрах.

Енергетичні ресурси Землі, які відповідно даних Світової енергетичної ради класифіковано на 16 видів, можна виділити в окремі групи, взаємопов'язані між собою (рисунок 1.1):

1. За рівнем і масштабами освоєння: “традиційні – нетрадиційні”;
2. За природою енергоутворення: “відновлювані – невідновлювані”.

Розподіл енергетичних ресурсів в першій групі проведено з огляду на рівень освоєння та розповсюдження енергетичних технологій їх використання; в другій групі – за природою та періодичністю утворення – невідновлювані джерела енергії утворюються протягом величезних відрізків часу, тоді як відновлювані в тій чи іншій періодичності постійно існують в природі.

НЕВІДНОВ- ЛЮВАНІ	1. Вугілля (включаючи лігніт) 2. Сира нафта і природний газовий конденсат 3. Важкі нафти, пальні сланці, бітум 4. Природний газ 5. Ядерна енергія	ТРАДИЦІЙНІ
ВІДНОВ-ЛЮВАНІ	6. Торф 7. Дрова 8. Гідроенергія 9. Енергія мускульної сили тварин та людей	НЕТРАДИ- ЦІЙНІ
	10. Біомаса (за винятком дров) 11. Сонячна енергія 12. Геотермальна енергія 13. Вітрова енергія 14. Енергія припливів 15. Енергія хвиль 16. Теплова енергія океану	

Рисунок 1.1. Класифікація джерел енергії

До **традиційних енергоресурсів** належать всі джерела енергії, які є первинними джерелами енергії сучасної традиційної енергетики, це всі

невідновлювані джерела енергії, а також два види відновлюваних джерел енергії: дрова і гідроенергія великих водотоків.

До **нетрадиційних (нових) енергоресурсів** належать всі види відновлюваних джерел енергії: біомаса (за виключенням дров), сонячна енергія, вітрова енергія, геотермальна енергія, теплова енергія океану, гідроенергія припливів, хвиль, водотоків (за виключенням гідроенергії великих водотоків). Крім того, до нетрадиційних можна зарахувати невідновлювані енергоресурси – природний газ малих газових, газоконденсатних, нафтогазоконденсатних родовищ, попутний нафтовий газ, промислові гази, метан вугільних родовищ.

До **невідновлюваних або вичерпних енергоресурсів** належать вугілля, торф, нафта, природний газ, ядерне паливо.

Відновлювані або невичерпні енергоресурси – це потоки енергії, які постійно чи періодично діють у навколишньому середовищі. В цілому всі енергетичні потоки відновлюваних джерел енергії (ВДЕ) поділяються на дві основні групи – пряма енергія сонячного випромінювання та її вторинні прояви у вигляді енергії вітру, гідроенергії, теплової енергії оточуючого середовища, енергії біомаси та інше. До них належать: промениста енергія Сонця, енергія вітру, гідроенергія течій, хвиль, припливів, теплова енергія навколишнього середовища (Землі, повітря, морів та океанів), енергія мускульної сили людей і тварин.

До відновлюваних джерел енергії належать також всі види рослинності (біомаса), в яких у результаті процесу фотосинтезу проходить постійне накопичення енергії сонячного потоку у вигляді вуглеводнів.

Геотермальну енергію зараховують до відновлюваних видів енергії, хоча її теплова енергія виділяється в результаті протікання хімічних реакцій і розпаду радіоактивних елементів, запаси яких мають межу, тобто по своїй суті вона є невідновлюваним джерелом енергії.

Термінологія, основні поняття дисципліни

Таблиця 1.1. Співвідношення одиниць енергії

	кДж	ккал	кВт·год	кг у.п.	кг н.е.
1 кДж	=	0,2388	0,000278	0,000034	0,000024
1 ккал	4,1868	=	0,001163	0,000143	0,0001
1 кВт·год	3600	860	=	0,123	0,086
1 кг у.п.	29308	7000	8,14	=	0,7
1 кг н.е.	41868	10000	11,63	1,428	=

Умовне паливо (у.п.) – одиниця обліку палива, що застосовується для співставлення різних його видів і використовується як енергетичний еквівалент, що характеризує потенційну енергоемність або розміри запасів відповідного енергоджерела. В одиницях маси 1 кг у.п. = 29,3 МДж = 7000 ккал = 8,14 кВт·год = 0,7 кг н.е.

За одиницю умовного палива приймається 1 кг палива з теплою згоряння 7000 ккал/кг або 29,3 МДж/кг, або 8,14 кВт·год/кг.

Співвідношення між паливом умовним і натуральним виражається формулою:

$$B_y = (Q_n/7000)B_n = E_n \times B_n, \quad (1.1)$$

де B_y – маса еквівалентної кількості у.п., кг;

B_n – маса натурального палива, в кг – твердого та рідкого або в м^3 – газоподібного;

Q_n – найнижча теплота згоряння натурального палива, ккал/кг або ккал/ м^3 ;

E_n – калорійний еквівалент, дорівнює $Q_n/7000$.

E_n нафти = 1,4; коксу – 0,93; торфу – 0,4; природного газу – 1,2.

В енергетиці використовується характеристика – кількість умовного палива, витрачена на виробництво одиниці електричної енергії:

$$g = 122,9 \times \eta, \quad (1.2)$$

де η – ККД енергоустановки.

За допомогою використання показника "паливо умовне" складаються паливні баланси або загальні енергетичні баланси галузей, країн та світу в цілому.

Велику роботу у напрямі створення системи термінів і їх визначень в області енергозбереження виконала Світова енергетична конференція (МІРЕК, з 1 січня 1990 г.- Світова енергетична рада). Знання термінів у області енергетики, правильне їх розуміння має велике практичне значення.

Основна термінологія

Традиційні енергоресурси – енергоресурси, що застосовуються в якості первинного джерела енергії в сучасній традиційній енергетиці, до них відносяться всі невідновлювані джерела енергії (органічні викопні палива – і два види відновлюваних – дрова і гідроенергія великих водотоків.

Нетрадиційні енергоресурси – джерела енергії, що представляють собою альтернативу традиційним джерелам енергії, які використовуються в сучасній традиційній енергетиці. До них відносяться:

- всі види відновлюваних джерел енергії: біомаса (за винятком дров), сонячна, вітрова, геотермальна енергія, енергія припливів, хвиль, малих водотоків, тепла енергія океану;

- деякі види невідновлюваних джерел енергії: шахтний метан вугільних родовищ, природний газ малих газових, газоконденсатних та нафтоконденсатних родовищ, супутній нафтовий газ, промислові гази та енергетичний потенціал надлишкового тиску газових потоків

Невідновлювані або вичерпні енергоресурси – енергоджерела з фактично і потенційно обмеженим енергоресурсом - в основному корисні копалини, газ, вугілля, нафта, ядерне паливо.

Відновлювані або невичерпні енергоресурси – це потоки енергії, що постійно або періодично діють в природі і обмежені лише стабільністю Землі як космопланетарного елемента – промениста енергія Сонця, вітрова енергія, гідроенергія течій, хвиль та припливів, природна тепла енергія оточуючого

середовища (Землі, повітря, морів та океанів), енергія біомаси, енергія мускульної сили тварин та людей.

Органічне паливо – органічні речовини, як правило, природного походження, що використовуються в якості енергоджерел – вугілля, нафта, газ, дрова.

Розвідані запаси енергоресурсів - включають розвідані запаси енергоносіїв, наявність яких визначено досить вірогідно, а їх кількість визначена досить точно. Розвідані енергоресурси можуть бути добуті вже найближчим часом із застосуванням сучасних технологій.

Потенційні запаси енергоресурсів - включають розвідані запаси та прогнозні запаси енергоресурсів. Прогнозні запаси - це запаси енергоресурсів, наявність яких вірогідно доведено, але видобуток їх вимагає застосування нових, ще не розроблених у даний час технологій.

Енергетичний потенціал відновлюваних джерел енергії – показник, що визначає кількість енергії, властиву відповідному виду ВДЕ. Для оцінки можливих обсягів використання енергетичних ресурсів ВДЕ енергетичний потенціал за вітчизняною класифікацією розділяють наступним чином:

- **теоретично-можливий або теоретичний потенціал ВДЕ** – загальна кількість енергії, якою характеризується кожне з відновлюваних джерел енергії;
- **технічний або технічно-досяжний потенціал ВДЕ** – частина енергії загального потенціалу, яку можна реалізувати за допомогою сучасних технічних пристроїв;
- **доцільно-економічний потенціал ВДЕ** - частина енергії загального потенціалу, яку доцільно використовувати, враховуючи економічні, соціальні, техніко-технологічні та політичні фактори.

Умовне паливо – одиниця обліку палива, що застосовується для співставлення різних його видів і використовується як енергетичний еквівалент, що характеризує потенційну енергоемність або розміри запасів відповідного енергоджерела. В одиницях маси $1 \text{ кг у.п.} = 29,3 \text{ МДж} = 7000 \text{ ккал} = 8,14 \text{ кВт.год} = 0,7 \text{ кг н.е.}$

Парниковий ефект – екологічна проблема, що визначається як підвищення температури і вологості атмосфери Землі внаслідок емісії в атмосферу вуглецевого газу і поглинення ним інфрачервоного випромінювання.

Лекція 2

Енергетичний потенціал джерел енергії на Землі

Кількісні характеристики енергетичних запасів в світі. Основні запаси первинних енергоносіїв, їх розподіл по континентах і різних регіонах та країнах. Енергетичний потенціал джерел енергії в Україні.

Сонце – специфічний гідродинамічний об'єкт, температура надр якого настільки висока, що забезпечує синтез водню та гелію. Цей синтез вивільняє енергію у вигляді високочастотного електромагнітного випромінювання, яке, перевипромінюючись, поступово доходить від надр Сонця до його поверхні. Випромінювання, яке досягає Землі, виходить із тонкого поверхневого шару Сонця, що називається фотосферою. Потужність випромінювання Сонця надзвичайно велика – $3,8 \cdot 10^{20}$ МВт. Електромагнітне випромінювання фотосфери Сонця поширюється у космічному просторі зі швидкістю світла. Енергія, яку щоденно випромінює Сонце, є джерелом життя на Землі. Вона підтримує у газоподібному стані земну атмосферу, постійно нагріває сушу і водойми, дає енергію вітрам і водотокам, морським течіям і хвилям, забезпечує життєдіяльність тваринного та рослинного світу. Частина сонячної енергії витрачається на створення енергоресурсів у надрах Землі у вигляді кам'яного вугілля, торфу, нафти, природного газу та інших викопних енергоресурсів. Матеріалом для утворення горючих копалин були залишки рослинності і живих організмів, що в результаті довгострокових процесів без доступу повітря та під дією високої температури і тиску перетворювалися на торф, вугілля та нафту. Таким чином, на протязі мільйонів років проходив процес біохімічного перетворення сонячної енергії. Все це підкреслює роль Сонця як основного первинного джерела енергії на планеті.

Загальна енергетична система Землі показана на рис. 2.1.

Вся енергетична система Землі складається з двох частин:

- ◆ динамічного потоку енергії, що проходить над поверхнею Землі;
- ◆ статичного запасу енергії, тобто органічного палива, ядерної та геотермальної енергії, що знаходиться під поверхнею Землі.

На поверхню Землі та на її атмосферу направлені наступні три енергетичні потоки:

- ◆ сонячне випромінювання потужністю 174400 ТВт;
- ◆ гравітаційна енергія планет потужністю 3 ТВт;
- тепловий потік із середини Землі потужністю 30 ТВт.

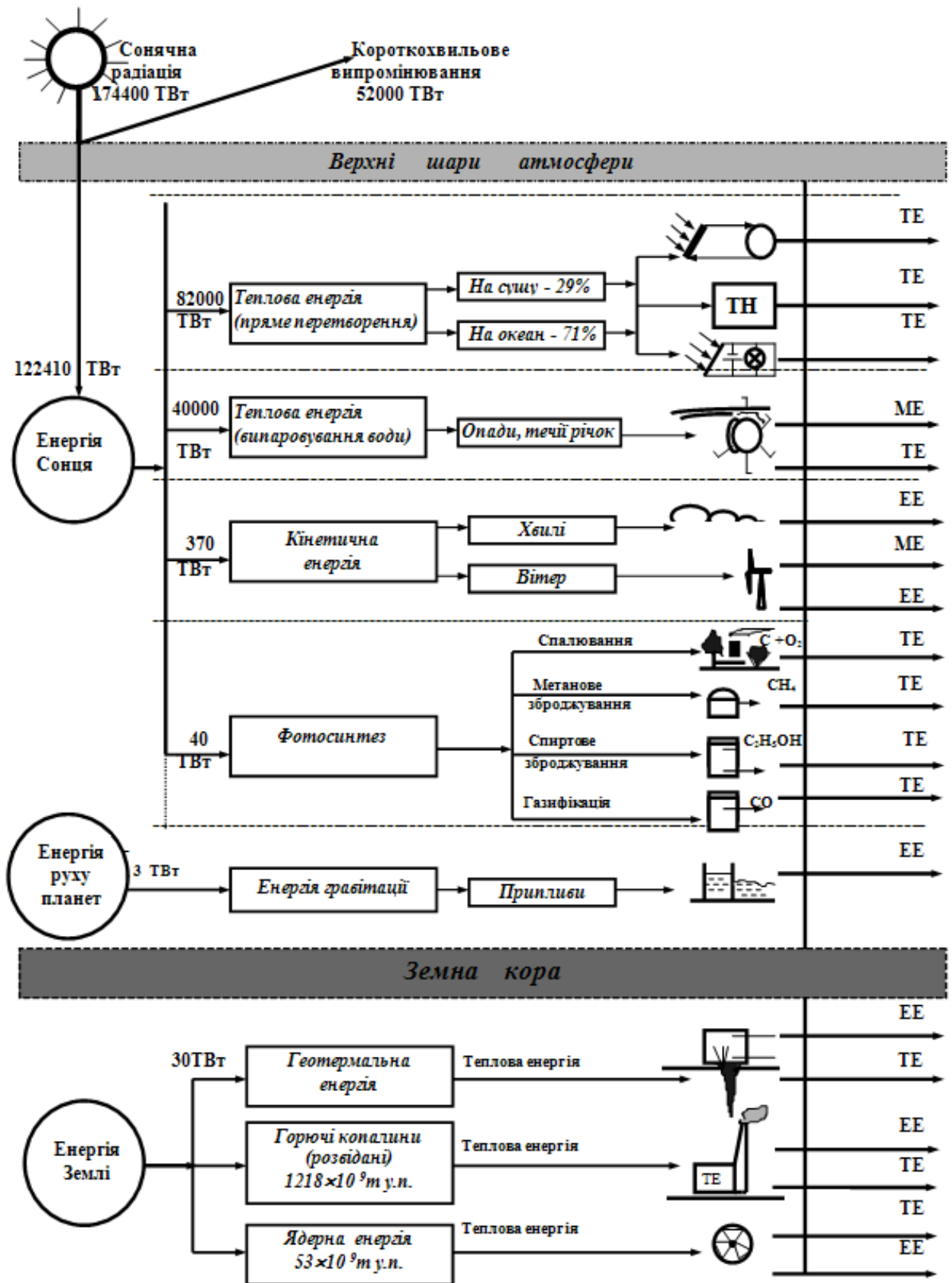


Рисунок 2.1. Схема енергетичного балансу планети

Біля 30% (52000 ТВт) сонячного випромінювання відбивається в космічний простір і практично не впливає на загальний енергетичний баланс планети. Решта, близько 70% сонячного випромінювання, потужністю 122410 ТВт, що в 3710 разів перевищує потужність двох інших потоків енергії, є основною складовою енергетичного балансу Землі.

Загальна енергія, що поглинається атмосферою та поверхнею Землі протягом року, майже в 11000 разів перевищує річне свання енергії на планеті. Одна частка цієї енергії поглинається атмосферою, сушею та океаном і перетворюється в теплову енергію, яку за допомогою технічних засобів можна використовувати у вигляді теплової та електричної енергії.

Під дією другої частки енергії (40000 ТВт) проходить випаровування, циркуляція і випадання води, тим самим обумовлюється виникнення течій річок, морів та океанів. Третя частка енергії (370 ТВт) спричиняє температурні перепади, завдяки яким виникають атмосферні потоки повітря (вітер). Четверта, найменша частина енергії (40 ТВт, що становить трохи більше 0,03% від загального потоку енергії) поглинається рослинами і, завдяки проходженню в них процесу фотосинтезу, накопичується у вигляді органічних сполук. Цей потік енергії є одним із найважливіших – завдяки йому здійснюються фізіологічні процеси всіх живих організмів. У процесі фотосинтезу в хімічну енергію перетворюється тільки 1-2% сонячної енергії, але навіть такої малої частки достатньо для існування всього живого світу.

За рік земна куля отримує від Сонця $1330 \cdot 10^{27}$ Ккал теплової енергії. Більша частина цієї теплової енергії затримується в атмосфері і лише 2,5% перетворюється в енергію вітру. 25,5 % сонячних променів після проходження через атмосферу попадає на водні ресурси, але тільки 0,04% утворює гідроенергію. 14,5% сонячних променів падає на тверду поверхню, але тільки 0,12% перетворюється в хімічну енергію.

Загальна кількість сонячної енергії, що досягає поверхні Землі за рік, у 50 разів перевищує всю енергію, яку можна отримати із доказаних світових запасів викопного палива, і в 35000 разів перевищує нинішнє щорічне споживання енергії в світі.

Органічне паливо

Основними вимогами при визначенні енергетичної придатності органічного палива, окрім енергетичних та екологічних характеристик, є достатня кількість запасів палива або сировини для його отримання в природі та доступність видобування.

Історія використання органічного палива починалась із спалювання дров, соломи, кізяку, торфу, вугілля. Технічний прогрес суттєво доповнив цей перелік такими високоефективними речовинами як природний газ, нафта та продукти її переробки.

В даний час паливом називають горючі речовини, які при спалюванні виділяють значну кількість теплоти, що використовується безпосередньо в технологічних процесах або перетворюється в інші види енергії. Ефективність палива залежить від кількості енергії, яку можна отримати на одиницю його

ваги або об'єму; ця характеристика називається теплотворною здатністю палива (таблиця 2.1).

Таблиця 2.1

Вид палива	Теплотворна здатність МДж/кг
Деревина	19,77 МДж/кг
Торф	18,663 МДж/кг
Буре вугілля	27,2 МДж/кг
Кам'яне вугілля	32,1 МДж/кг
Антрацит	32,56 МДж/кг
Природний газ	35,6 МДж/м ³
Мазут	39,2 МДж/кг
Бензин	44,0 МДж/кг

Основними одиницями при визначенні питомих показників енергетичного потенціалу є кілоджоуль (**кДж**), кілокалорія (**ккал**), кіловатгодина (**кВт·год**), кілограм умовного палива (**кг у.п.**), кілограм нафтового еквіваленту (**кг н.е.**).

Для порівняння запасів, витрат і обліку різних видів палива використовують поняття «умовне паливо», в якості основної одиниці якого прийнято 1кг палива, що має теплоту згоряння 29,3 МДж.

Співвідношення одиниць енергії представлено в таблиці 2.2.

Таблиця 2.2. Співвідношення одиниць енергії

	кДж	ккал	кВт·год	кг у.п.	кг н.е.
1 кДж	=	0,2388	0,000278	0,000034	0,000024
1 ккал	4,1868	=	0,001163	0,000143	0,0001
1 кВт·год	3600	860	=	0,123	0,086
1 кг у.п.	29308	7000	8,14	=	0,7
1 кг н.е.	41868	10000	11,63	1,428	=

Запаси органічного палива, найбільш вживаного на даний час в промислових масштабах (вугілля, нафта і природний газ), підрозділяють на доведені об'єми і прогнозовані відкриття нових запасів з вірогідністю 50 %. У табл. 1 приведені об'єми доведених запасів органічного викопного палива і перспективних геологічних ресурсів палива на Землі (за оцінками Геологічної служби США, млрд т у. т.). Деяко більше 80 % цих запасів приходить на тверді паливні копалини (вугілля і його похідні), 5-6 % на долю нафти і 4-5 % – природного газу.

Прогнозовані запаси оцінюються величиною порядку 10^{13} т у. п, зокрема вугілля більше 80 %, нафти і газу в сумі менше 20 %. Коефіцієнт видобутку для вугілля приймається рівним 30-50 %, для нафти – 30-50, для природного газу – 50-80 %. Фахівці вважають, що вирішення проблеми підвищення нафтовіддачі родовищ складніше, ніж політ в космос. Крім використання дорогого устаткування необхідне знання закономірностей залягання нафто- і газонесних

пластів, глибин їх залягання, внутрішнього тиску в пластах і ін. Як свідчать дані геологорозвідки, в надрах України нафта залягає на глибині в 2 рази більшій, ніж в Росії.

В цілому прогнозовані запаси органічного палива в надрах Землі оцінюються в 4-6 трлн т у.п., зокрема нафти – від 130 до 206 млрд т у.п. (таблиця 2.3)

Таблиця 2.3. Об'єми (млрд т у.п.) доведених і прогнозованих запасів органічного палива світу

Енергоносій	Об'єм доведених запасів, що видобуваються	Прогнозовані відкриття із імовірністю 50%	Повні запаси
Нафта	206,1-210	110	320
Природний газ	180	180	360
Бітумні піски	260	470	750
Кам'яне вугілля	984	4250	5264
Всього	1634	5010	6694

Слід зазначити, що до будь-яких даних про світові запаси енергоносіїв слід відноситися критично.

У довідковій літературі зустрічаються старі дані про те, що світові запаси нафти складають 272 млрд т, що в 2 рази перевищує доведені світові запаси, дані про які приведені в таблицях 2.4, 2.5.

Таблиця 2.4. Встановлені запаси нафти в регіонах світу

Регіон миру	Нафта			
	на 2001р., млн т	%	на 2005р., млн т	%
Північна Америка	7396,9	5,32	51525*	25,0
Південна Америка і Карібський басейн	12860,0	9,25		
Західна Європа	2322,6	1,67	2061,0	1,0
Центральна і Східна Європа і СНД	7977,2	5,74	12366,0	6,0
Африка	10121,3	7,28	17106,3	8,0
Близький і Середній Схід	92377,2	66,46	92377,2	56,0
Південно-східна Азія, Австралія і Океанія	5940,8	4,27	9480,6	3
Всього в світі	138996,1	100,0	206100,0	99,0
Країни ОПЕК	110013,8	79,15	120200,1	58,3

Примітка. * Західна півкуля Землі: Північна і Південна Америка та Карібський басейн

Таблиця 2.5. Встановлені запаси природного газу і вугілля в регіонах світу на 2001 р.

Регіон миру	Природний газ		Вугілля	
	млрд м ³	%	Кам'яне, млрд т	Буре, млрд т
Північна Америка	7328,7	4,90	674	201
Південна Америка і Карібський басейн	6926,7	4,63	37	2
Західна Європа	4498,5	3,01	337	11
Центральна і Східна Європа і СНД	56693,3	37,93	6977	765
Африка	11161,8	7,47	181	<1
Близький і Середній Схід	52521,6	35,14	1	1
Південно-східна Азія, Австралія і Океанія	10339,3	6,92	659	108
Всього в світі	149470,0	100,0	9772	1089
Країни ОПЕК	66475,6	44,47	139	67

Із даних, представлених в таблиці 2 видно, що максимальною кількістю *нафти* володіють країни Близького Сходу (Саудівська Аравія, Об'єднані Арабські Емірати (ОАЕ), Іран, Ірак, Кувейт, Катар, Оман, Йемен, Бахрейн, Сірія, Ізраїль і ін.) — 66,46 %, потім Південна Америка і Карібський басейн (Аргентина, Барбадос, Болівія, Бразилія, Венесуела, Гватемала, Еквадор, Колумбія, Куба, Перу, Сурінам, Тринідад і Тобаго, Чилі) — 9,25 %, Африка (Алжир, Ангола, Габон, Єгипет, Лівія, Нігерія, Республіка Конго і ін.) — 7,28 %, Східна Європа і СНД — 5,74 %. На США, Канаду і Мексику припадає 5,32 % нафти (за іншими даними Канада володіє 13,39 % нафти).

ІПК Західної Європи володіють лише 1,67 % нафти миру. На долю Росії доводиться біля 4,72- 5,0 % світових запасів нафти. Сумарна кількість нафти складає 138,9961 млн т, це лише на 0,478 % відрізняється від даних на 01.01.1999г., що обумовлене поточним видобутком нафти, — 0,24-0,25 % у рік від світових запасів. На долю країн ОПЕК доводиться 110013,8 млн т нафти.

Розподіл *природного газу* по регіонах світу також нерівномірний. Як видно з табл. 3, на долю Центральної і Східної Європи і СНД припадає 37,93 % природного газу. При цьому частка Росії складає 32,21 %, країн Близького Сходу — 35,14 %, Африки — 7,47 % і США — 3,17 %. Починаючи з середини ХІХ в. США активно розробляли свої нафтоносні родовища. За 100 років, з 1859 по 1959 р., було видобуто 12500 млн т нафти. У 1969 р. США видобули 510 млн т нафти, в 2000 р. — тільки 317 млн т.

Всього в світі, за даними на 01.01.2001 р., встановлені запаси природного газу склали 149,47 трлн м³. Розвідані ж світові запаси природного газу на 01.01.2005 р. — 169 трлн м³.

Родовища природного газу на планеті Земля розподілені таким чином — на долю Близького і Середнього Сходу припадає 71,0 трлн м³, або 42%, Східної Європи і колишнього СРСР — 55,4 трлн м³, або 32,8 %, Західної півкулі — 13,5 трлн м³, або 8 %, Африки — 13,35 трлн м³, або 7,9 %, Азіатсько-тихоокеанського регіону — 10,6 трлн м³, або 6,3 %, Західної Європи — 5,1 трлн м³, або 3 %.

Пошуки і видобуток нафти і природного газу в Західній Європі ведуться з давніх часів. Цікаво, що у Франції нафтоносне родовище Пешель-брон розробляють шахтним способом з 1813 р. В цілому у всій Європі, за винятком СНД, довгі роки видобували незначну кількість нафти і природного газу. До Другої світової війни родовища промислової нафти були виявлені в Карпатах (Румунія, Польща), а також у Франції і Германії. Перед початком Другої світової війни родовища нафти були відкриті в регіонах Угорщини і Австрії, в післявоєнні роки — в Нідерландах, Болгарії, Югославії, Албанії, Іспанії. Встановлені запаси в країнах Східної Європи складають, млн т: у Польщі — 18,3, Албанії — 26,2, Білорусії — 31,5, Угорщині — 17,4, Хорватії — 14,7, Чехії — 2,4, Словаччині — 1,4 і ін.

У Європі по видобутку нафти тривалий час перше місце займала Румунія, в якій в 1969 р. максимальна здобич склала 13,25 млн т нафти і 22 млрд м³ природного газу, друге місце ФРН — 7,9 млн т нафти, третє Австрія — 2,72 млн т нафти, четверте Франція — 2,5 млн т нафти. В Україні максимальний видобуток нафти, включаючи газоконденсат, в 1970 р. складала 13,9 млн т, природного газу — 60,9 млрд м³, в 1975 р. — 12,8 млн т і 68,7 млрд м³ відповідно. В даний час здобич нафти в Україні складає 3,0—3,8 млн т/год і 19,6 млрд м³ природного газу, 0,8 млрд м³ нафтового попутного газу і 1,3 млн т газового конденсату.

Після відкриття багатого Гронінгенського родовища природного газу в Нідерландах і родовищ нафти і природного газу в територіальних водах Норвегії і Великобританії в Северном і в Норвезькому морях перше місце по запасах нафти і природного газу серед країн Західної Європи належить Норвегії. Встановлені запаси нафти і газу в її територіальних водах склали 290 млн т і 227 млрд м³ відповідно. До теперішнього часу Норвегією здобуто 172 млн т нафти і 112 млрд м³ газу. Після здобичі приведених вище кількостей нафти і газу виявлено просідання морського дна в межах родовища Екофіськ.

У геологічному відношенні нафто- і нафтогазоносні родовища на території Західної Європи розташовані на півдні в межах Альпійського складчастого поясу, на півночі — епіпалеозойської платформи. Всього в Західній Європі виділено 11 нафтогазоносних провінцій, що розміщуються в западинах. Найбільш багата по нафті і природному газу — Північноморська нафтогазоносна зона, що є в даний час основною нафто- і газодобувною зоною Західної Європи. В межах Північного моря відкрито більше 100 родовищ нафти і більше 80 — природного газу. Відкриті родовища є високопродуктивними і

забезпечують здобич 24 % нафти і 30 % природного газу світової здобичі. Сумарні запаси нафти і природного газу, придатні для здобичі, оцінюються в 7,5 млрд т, з яких 4 млрд т складає нафта.

Вугілля також розподілене нерівномірно. Всього встановлені запаси вугілля в світі складають приблизно 11 723,06 млрд т. У США вони дорівнюють 107 млрд т у. т., при об'ємі видобутку 1,275 млрд т/год будуть вичерпані через 84 роки. Прогнозні ресурси вугілля в США на родовищах до глибини 1800 м оцінюються в 3,6 трлн т. Розрахунок для цього випадку показує, що навіть при вищих об'ємах видобутку вугілля США вистачить більш ніж на 1000 років. Загальні встановлені ресурси вугілля в Китаї досягли 1033,4 млрд т (8,8 % світових). При річному видобутку вугілля в Китаї, рівному 1325 млн т (1997) і 1900 млн т (2005), запасів вугілля в Китаї вистачить на 779 років і 544 роки відповідно. Великі запаси вугілля відкриті в Росії, млрд т: Підмосковний басейн — 15,5, Печерський — 265, Камський — 10, Уральський — 17,56, Західний і Східний Сибір — 5696,2, Далекий Схід — 12,8. Сумарні запаси вугілля в Росії — 6017,06 млрд т. Відкритих запасів вугілля в Сибіру — 5695,2 млрд т (94,6 % сумарних запасів Росії) вистачить для забезпечення потреб Росії (230,2 млн т — здобич в 2005 р.) на період, що охоплює 26 138 років.

Запаси кам'яного і бурого вугілля миру складають 12373,2 млрд т (з них 6977 млрд т (56 %) зосереджено на території Росії, України і СНД). Основні запаси вугілля (11417,5 млрд т), розташовані на території Росії, України, США і Китаю, можуть забезпечувати потреби населення земної кулі в енергоносіях протягом тисяч років. Значна частина твердого палива (вугілля, смол і ін.) зосереджена на північ від 40° п. ш. — в Росії, Україні і США, а в Південній півкулі багатий вугіллям Китай. Цих країн припадає на частку 92,3 % світових запасів вугілля — твердого енергоносія.

Зростання видобутку товарного вугілля в світі прогнозують з 3705 млн т в 1996 р. до 7700 і 11300 млн т в 2025 і 2050 рр. відповідно. У 1999 р. 37 % світової електроенергії проводилося з використанням вугілля.

Окрім вугілля і нафти світ багатий **торфом**. На конференції ООН в 1981 р. в Найробі торф розглядався як альтернативне паливо замість органічних енергоносіїв, що виснажуються. В світі торф є на всіх континентах і зосереджений в 40-50 країнах. Загальна площа торф'яників миру перевищує 500 млн га і складає 3,5 % суші земної кулі. Світові запаси придатного до розробки торфу — близько 3 млрд т. Площа торф'яників в США і Канаді досягає 40 і 56 млн га відповідно. Великі площі торф'яників є і в Європі: у Фінляндії, Ірландії, Швеції, Польщі, Германії, європейській частині Росії, Україні, а також в Сибіру.

Великого значення набуває видобуток та використання твердого палива — **горючих сланців**, які складаються переважно із мінеральної складової (70-90%) та органічної речовини керогену, вміст якої не перевищує 30%. В процесі нагрівання сланців від 50% до 98% органічної складової вивільняється у вигляді летких і, переважно, рідких продуктів — сланцевих масел. Тому горючі сланці називають «твердою нафтою».

Запаси керовану горючих сланців в земній корі більш ніж у 30 разів перевищують запаси нафти.

Деякі країни, наприклад Естонія та Ізраїль, розглядають горючі сланці як єдиний місцевий паливний ресурс, а Австралія планує довести переробку своїх сланців в смолу до масштабів, які забезпечать повну незалежність країни від ввозу нафти. При цьому необхідно відмітити, що вартість продуктів, отримуваних із горючих сланців (іхтіол та інші фармацевтичні препарати, бензин, керосин, мастила і паливні масла, парафін, лаки і мастики, сирий бензол і т.і.) в декілька разів перевищує вартість вихідної сировини.

Проблеми сучасної енергетики спонукали до пошуку нових шляхів енергозабезпечення людства, одним із яких є повернення до використання енергетичних ресурсів, від яких людство практично відійшло на початку минулого століття – енергії Сонця та Землі. Основні органічні енергоресурси, крім вугілля, навіть при достатньо дбайливому їх споживанні, можуть закінчитися вже через 40-50 років.

Особливо у важкому положенні із-за браку нафти і інших вуглеводневих енергоносіїв опиняться економіка країн, що розвиваються. Отже, країни з малими об'ємами власних вуглеводневих ресурсів повинні протягом найближчих 10-20 років форсувати розробку альтернативних джерел енергії, в першу чергу відновлюваних, до яких відносяться тепла та промениста енергія Сонця, енергія вітру, енергія біомаси, гідроенергія рік, хвиль та припливів, тепла енергія оточуючого середовища, в тому числі Землі, повітря, морів та океанів, геотермальна енергія.

Відновлювані джерела енергії

Енергетичний потенціал відновлюваних джерел енергії є однією із найважливіших характеристик – показник, що визначає кількість енергії, властиву відповідному виду ВДЕ. Для оцінки можливих об'ємів використання енергетичних ресурсів відновлюваних джерел енергетичний потенціал у вітчизняній класифікації розділяють таким чином:

- теоретичний або теоретично-можливий потенціал відновлюваних джерел енергії – загальна кількість енергії, якою характеризується кожне із джерел відновлюваної енергії;
- технічний або технічно-досяжний потенціал відновлюваних джерел енергії – частина енергії загального потенціалу, яку можна реалізувати за допомогою сучасних технічних пристроїв;
- доцільно-економічний потенціал відновлюваних джерел енергії – частина енергії загального потенціалу, яку доцільно використовувати, враховуючи економічні, соціальні, техніко-технологічні й політичні чинники.

Кількісні показники енергетичних ресурсів відновлюваних джерел планети показані в таблиці 6.

Теоретично-можливий річний потенціал відновлюваних енергоресурсів планети перевищує потенційні запаси органічного і ядерного палива в 15 разів і майже у 80 разів перевищує розвідані запаси традиційних енергоресурсів. Доцільно-економічний потенціал відновлюваних енергоресурсів планети

приблизно в 2 рази перевищує об'єм річного видобутку всіх видів органічного палива.

Інформація щодо розподілу енергетичних ресурсів відновлюваних джерел енергії у ряді країн, у тому числі в Україні, видається у вигляді довідників, класифікаторів і атласів, які являють собою візуалізовані елементи інформаційних систем. Розширення інформаційної бази на основі сучасних технічних засобів сприяє розповсюдженню інформації про можливості освоєння енергії відновлюваних джерел у конкретних місцевостях, що підвищує рівень проектних розробок за рахунок раціонального вибору і комплектації устаткування на основі відновлюваних джерел, а також їх комплексного використання, у тому числі із традиційними енергосистемами.

Таблиця 2.6. Енергетичний потенціал відновлюваних енергоресурсів планети

Відновлювані енергоресурси	Енергетичний потенціал відновлюваних енергоресурсів, млрд т у.п./рік		
	Теоретично-можливий	Технічно-досяжний	Доцільно-економічний
Променева енергія Сонця	86000	5	1
Теплова енергія морів і океанів	7500	1	0,1
Енергія вітру	860	5	1
Гідроенергія, зокрема:	6,065	3	1,52
<i>Енергія водотоків</i>	<i>3</i>	<i>2,91</i>	<i>1,5</i>
<i>Енергія хвиль</i>	<i>3</i>	<i>0,05</i>	<i>0,01</i>
<i>Енергія припливів</i>	<i>0,065</i>	<i>0,04</i>	<i>0,01</i>
Енергія біомаси, зокрема:	40	2,55	2,0
<i>лісів</i>	<i>15</i>	<i>1,5</i>	<i>1,5</i>
<i>рослин</i>	<i>10</i>	<i>1,0</i>	<i>0,5</i>
<i>водоростей</i>	<i>15</i>	<i>0,05</i>	<i>0</i>
Геотермальна енергія	16	0,4	0,2
Всього	94422,065	16,95	5,82

Енергетичний потенціал джерел енергії в Україні

На території України відкрито 126 родовищ **нафти** з промисловими встановленими запасами, рівними 427,9 млн т, і з прогнозованими геологічними запасами в межах 1229 млн т. Україна володіє промисловими запасами нафти і газу в надрах Південного (Чорне море, шельфи Криму і Азовського моря, Приазов'я і його шельфи, Одеська і Запорізька області), Західного (Івано-Франківська, Закарпатська, Чернівецька і Львівська області) і

Східного (Полтавська, Сумська, Харківська, Чернігівська, Луганська, Донецька і Дніпровська області) регіонів.

Перспективні запаси нафти і газу в районі о-ва Зміїний, в західній частині Чорноморського шельфу у берегів Криму, а також в акваторії Азовського моря. Це частина вугле-, нафтогазового геологічного поясу Землі, що охоплює Румунію, Україну, зокрема Крим і Чорне море, Каспій, Казахстан, Сибір. Він пов'язаний з єдиним механізмом нафтогазоутворення.

За даними геологів, в Україні розвідано 200 родовищ нафти, що складає тільки 20 % прогнозованих скарбів. Величезні запаси нафти законсервовані у Східно-Саратському і Жовтоярському нафтових родовищах України. Порівняно недавно виявлені нафтогазові родовища в Полтавській і Сумській областях, запасів яких вистачить на 50 років інтенсивної розробки. Почавши видобуток нафти в 2000 р., управління "Охтирканафтогаз" щорічно дає 1,2-1,56 млн т сирої нафти (40 % видобутку в Україні) і 1,568 млрд м³ (8 %) природного газу.

У Україні встановлені запаси *природного газу* складають 1121,3 млрд м³. Проте розвитку нафто- і газодобувної промисловості перешкоджає відсутність прийнятних законів, які б стимулювали виробництво життєво важливих вуглеводнів для України. Адже процес нафтовидобутку і газодобування є капітало- і наукоємним процесом, що вимагає безперервного розвитку. За принципами забезпечення національної безпеки власних енергетичних ресурсів в будь-якій країні повинно бути не менше 50 %.

Про величезні поклади нафти і природного газу на території України відомо давно, більш того, на початку минулого століття Україна займала третє місце в світі по видобутку нафти. Українські учені прогнозували зростання видобутку нафти і природного газу, причому за найнижчою собівартістю в колишньому СРСР. Терміни виконання цих проектів в життя відсунуло відкриття в 1960-х роках величезних запасів нафти в Тюмені і Сибіру.

Окрім вуглеводнів нафти і природного газу в надрах України є багаті поклади кам'яного і бурого *вугілля*. Вугільні басейни України складають 146 млрд т (1,5 % світових), придатних для видобутку 108 млрд т (1,1 %, максимальний видобуток вугілля — 160 млн т/рік), Вугільні басейни України складають 146 млрд т (1,5 % світових), придатних для видобутку 108 млрд т (1,1 %, максимальний видобуток вугілля— 160 млн т/рік).

Геологічним підприємством "Західукргеологія" подвоєні запаси Львівсько-Волинського вугільного басейну. Виявлений і частково розвіданий південно-західний район із запасами вугілля в 1,1 млрд т. Запаси Любельського родовища оцінені в 0,8 млрд т, Тягловського — в 0,3 млрд т. Вперше в районі шахти Тягловська-1 виявлені запаси метану (3 млрд м³). Досить швидко з малими капіталовкладеннями можна організувати його видобуток і використовувати як паливо для електростанцій, в автотранспорті і комунальному господарстві, тим самим скорочуючи високий травматизм, часто із смертельним результатом, в шахтах Донбасу і Луганщини через вибухів метану. Слід зазначити, що в США з вугільних пластів вже видобувають близько 20 млрд м³ газу.

В Україні виявлено більше 2 тис. родовищ *торфу* із запасом 2,171 млрд т торфу. Приблизно половина зосереджена у Волинській, Рівненській і Чернігівській областях. Згідно розрахункам, 57 т торфу по енергоемності еквівалентно 200 м³ дров, які можна отримати з 1 га лісу. У Україні здобич торфу в 1960, 1970, 1980, 1990, 1995, 2000 і 2004 рр. складала 4,7; 4,1; 1,6; 1,6; 1,1, 0,4 і 0,5 млн т відповідно.

На території України розташовані великі родовища *горючих сланців, горючих сланців* (Карпатське і Болтишське) із загальними запасами більше 500 млрд т.

Енергоресурси *відновлюваних джерел енергії* є практично на всій території України. До основних складових відновлюваної енергетики України відносяться вітроенергетика, сонячна енергетика, мала гідроенергетика, біоенергетика, геотермальна енергетика і енергетика доквілля. Загальний річний технічно-досяжний енергетичний потенціал відновлюваних джерел енергії України в перерахунку на умовне паливо становить біля 98 млн т у.п. (табл. 2.7), що становить більше 50% загального енергоспоживання в Україні на даний час і 30% від енергоспоживання в 2030 році.

Таблиця 2.7. Потенціал енергії відновлюваних джерел в Україні

№ з/п	Напрями освоєння ВДЕ	Річний технічно-досяжний енергетичний потенціал	
		млрд кВт·год/рік	млн т у.п./рік
1.	Вітроенергетика	79,8	28,0
2.	Сонячна енергетика	38,2	6,0
3.	Мала гідроенергетика	8,6	3,0
4.	Біоенергетика	178	31,0
5.	Геотермальна теплова енергетика	97,6	12,0
6.	Енергетика доквілля	146,3	18,0
Загальні обсяги заміщення традиційних ПЕР за рахунок ВДЕ		548,5	98,0

Лекція 3

Напрями та рівні споживання енергії

Виробництво теплової та електричної енергії. Рівні споживання енергії в світі та в Україні. Залежність енергетичних пріоритетів від рівня розвитку суспільства, промисловості, енергетики, економіки. Роль науки та освіти в підвищенні ефективності освоєння джерел енергії. Методи та заходи енергозбереження

Виробництво теплової та електричної енергії

Енергетика складається з двох великих галузей - паливної й електроенергетики. Як вам відомо з попередніх курсів географії, паливна енергетика у свою чергу об'єднує в собі сукупність галузей, які видобувають і переробляють різні види паливно-енергетичних ресурсів. Загалом центри паливної промисловості збігаються з місцями розміщення паливних корисних копалин та їх видобутку.

Електроенергетика – галузь промисловості, що включає виробництво різних видів електроенергії та транспортування її лініями електропередач до споживача. Розвиток електроенергетики залежить, в першу чергу, від рівня економічного розвитку країни, наявності енергоресурсів, їх якості, розміщення, способу видобутку. Загальні обсяги виробництва та споживання електроенергії на душу населення є одними із ключових показників економічного розвитку будь-якої країни. Так 3/4 виробництва електроенергії світу припадає на 10 держав: США, Японію, Китай, Росію, Німеччину, Канаду, Францію, Великобританію, Україна та Індію.

Як вам відомо, електроенергія виробляється різними типами станцій. Нині основну частку електроенергії виробляють теплові електростанції (ТЕС) — понад 60%. Друге місце в структурі виробництва електроенергії у світі посідають гідроелектростанції (ГЕС). Вони забезпечують виробництво п'ятої частини електроенергії. Атомні електростанції (АЕС) посідають третє місце за обсягом світового виробництва електроенергії.

Найменшу собівартість має гідроелектроенергія, але будівництво станції такого типу потребує величезних одноразових капіталовкладень і затягується на роки. ГЕС бувають найрізноманітнішої потужності — від карликових до велетенських. Розвинені країни освоїли 50 % своїх гідроресурсів, а країни, що розвиваються, — лише 7 %. Гідроелектростанції виробляють до 20% електроенергії світу, у країнах, добре забезпечених гідроенергоресурсами, цей показник значно вищий: Норвегія (99%), Бразилія (92%), Австрія, Канада, Перу, Нова Зеландія - понад 50%.

Відносно низькою собівартістю відрізняється електроенергія атомних електростанцій (АЕС), проте їх спорудження пов'язане з відомим ризиком і не під силу слаборозвинутим країнам. Атомні електростанції забезпечують до 10% світового виробництва електроенергії. Вони використовують енергію розпаду радіоактивних ізотопів урану або плутонію. Атомні реактори АЕС працюють у 32 країнах світу. Провідні позиції по електроенергії, виробленої на АЕС займають у Франція (76%), Бельгія (61%), Німеччина, Україна (до 45 %).

Велика частина електроенергії у світі виробляється на теплових електростанціях (ТЕС), які використовують традиційні види палива: вугілля, газ, мазут. Традиційні теплові електростанції є універсальним типом електростанцій, оскільки, незважаючи на високу собівартість виробленої ними енергії, їх спорудження є порівняно дешевим. Теплові станції, що розміщуються повсюди у світі, незалежно від рівня розвитку держави, використовують здавна відомі енергоносії - вугілля, нафту й нафтопродукти, природний газ. Ті ТЕС, які, крім електроенергії, виробляють і тепло для централізованого опалення житлових, адміністративних і виробничих приміщень, називають теплоелектроцентралями (ТЕЦ). Серед особливостей сучасної світової електроенергетики слід відзначити, зокрема, нарощування потужностей електростанціями, які працюють на вугіллі і приурочені до місць видобутку. Це зумовлено різкими коливаннями цін на світовому ринку нафти, наявністю надійних резервів порівняно дешевого вугілля тощо.

Теплові електростанції, які працюють на вугіллі, користуються достатніми запасами відносно дешевого палива. Однак саме через це паливо ТЕС є забруднювачами атмосфери. Упродовж останнього періоду спостерігалось зменшення частки електроенергії АЕС в сумарному її виробництві всіма типами станцій. Ця обставина пов'язана як з негативним ставленням громадськості до ядерних програм в енергетиці, що зросло після чорнобильської трагедії, так і з впровадженням енергозберігаючих технологій. У деяких країнах (Швеція, Австрія) були прийняті спеціальні законодавчі акти, що взагалі забороняють спорудження АЕС. Так само поволі знижувалася в структурі електроенергетичного балансу частка гідравлічних станцій, що пов'язано з поступовим вичерпанням енергетичного потенціалу великих водних артерій індустріально розвинутих країн.

Близько 19% електроенергії світу виробляють електростанції, що використовують відновлювані джерела енергії: сонячну енергію, енергію вітру, припливів, енергію хвиль, біоенергію, геотермальну енергію. Найбільше серед них геотермальних електростанцій, які використовують внутрішнє тепло Землі. Геотермальні електричні станції (ГТЕС) використовують внутрішнє тепло Землі, їх турбіни рухає пара, що виділяється з води, піднятої з надр. Десята частина електроенергії Нової Зеландії виробляється саме на таких станціях. Є вони також в Італії, США, Ісландії, Японії та деяких інших країнах. У світі почали споруджувати електростанції, що використовують енергію морських припливів і відпливів (наприклад, у Франції). Це припливні електростанції (ПЕС).

Використання енергії вітру є доцільним, якщо його швидкість на поверхні Землі перевищує 20 км/год. Активно використовують вітрову енергію в Каліфорнії (США). Поки що нинішні вітротурбіни дуже дорогі. На даному етапі людство все ще використовує мізерну частку енергії Сонця. Протягом трьох хвилин Земля одержує від Сонця таку кількість енергії, яку людство витрачає за цілий рік. Геліоелектростанції масового поширення ще не мають. Джерелом енергії є також біомаса, яка, наприклад, у Непалі, Ефіопії й Танзанії забезпечує близько 90 % спожитої енергії.

Кожна країна віддає перевагу якомусь одному типу електростанцій. Наприклад, у Норвегії, Південно-Африканській Республіці та Польщі будують в основному гідроелектростанції, у Франції — атомні електростанції. Світовими експортерами електроенергії є Росія, Україна, Угорщина, Франція. Основні імпортери електроенергії — США, Італія, Нідерланди.

Виробництво енергії в Україні. Теплову і електричну енергію в даний час в Україні в основному виробляють ТЕС, АЕС та ГЕС, поступово збільшуються рівні освоєння ВДЕ.

Електроенергетика — базова галузь економіки України, що є однією з найстаріших у країні. Виробництво електроенергії в даний час ґрунтується на спалюванні вугілля, мазуту, природного газу, використанні атомної енергії, енергії води, енергії вітру та Сонця.

Виробництво електроенергії в Україні здійснюється на теплоелектростанціях (ТЕС), теплоелектроцентралях (ТЕЦ), гідроелектростанціях, великих та малих (ГЕС), гідроакумулюючих електростанціях (ГАЕС), атомних електростанціях (АЕС), вітроелектростанціях (ВЕС), сонячних електростанціях (СЕС).

Основою електроенергетики країни є Об'єднана електроенергетична система (ОЕС), яка здійснює централізоване електрозабезпечення внутрішніх споживачів. ОЕС взаємодіє з енергосистемами сусідніх держав, забезпечує експорт та імпорт електроенергії. До її складу входять вісім регіональних електроенергетичних систем: Дніпровська, Донбаська, Західна, Кримська, Південна, Південно-Західна, Північна і Центральна, зв'язані між собою системоутворюючими і міждержавними лініями електропередачі напругою 750 кВ і 330–500 кВ.

Централізоване виробництво електричної енергії в ОЕС здійснюють 14 найпотужніших теплових і вісім гідравлічних електростанцій, які входять до складу шести державних та приватних акціонерних енергогенеруючих компаній: Західенерго, Центренерго, Дніпроенерго, Київенерго, Донбасенерго підпорядкованих Мінпаливенерго України, та чотири АЕС, які входять до складу Національної атомної енергогенеруючої компанії «Енергоатом».

Розподіл електроенергії в ОЕС здійснюють 24 обласні, Автономної Республіки Крим, міст Києва та Севастополя акціонерні енергопостачальні компанії.

Транспортування електричної енергії від енергогенеруючих до енергопостачальних компаній магістральними і розподільними електромережами країни забезпечує Національна енергетична компанія «Укренерго», до складу якої входять вісім згаданих вище регіональних електроенергетичних систем.

На 31 грудня 2011 року встановлена потужність електростанцій ОЕС України становить 53 310,6 МВт, що на 149 МВт більше минулого року. З яких 51,16 % ТЕС, 25,95 % АЕС, 12,05 ТЕЦ, 8,64 % ГЕС, 1,62 % ГАЕС, 0,23 % ВЕС та 0,35 % СЕС.

В Україні за 2010 рік обсяг виробництва електричної енергії електростанціями, які входять до ОЕС України, досяг 187,9 млрд кВт·год. Для

порівняння – у 1999 було вироблено 172,1 млрд. кВт·год, 2000 р. — 171 млрд. кВт·год електроенергії. Більшу її частину (49,6 %) виробляють ТЕС, АЕС виробляють 42 %, ГЕС — близько 8,4 %.

Найбільші **ТЕС** розташовані в Донбасі (Вуглегірська, Старобешівська, Миронівська, Курахівська й ін.), на Придніпров'ї (Придніпровська, Криворізька), у Харківській (Зміївська), Київській (Трипільська), Івано-Франківській (Бурштинська), Львівській (Добротвірська) областях, у Запоріжжі, Одесі й ін. Більшість цих електростанцій виробляє й тепло (ТЕЦ).

В розвитку **гідроенергетики** особливе значення у ХХ ст. відіграв каскад ГЕС на Дніпрі: Дніпрогес, Каховська, Дніпродзержинська, Кременчуцька, Київська, Канівська. Побудовані ГЕС на Дністрі (Дністровська), Росі, у Закарпатській області (Теребле-Ріцька).

В останні десятиріччя швидкими темпами розвивалася **атомна енергетика**. Працюють Південноукраїнська, Рівненська, Хмельницька, Запорізька АЕС.

Південні райони країни значно гірше забезпечені електроенергією власного виробництва, ніж Донбас, Придніпров'я, центр країни.

Понад 47 % електроенергії в Україні дають АЕС (Рівненська, Запорізька, Південно-Українська та Хмельницька). ТЕС є основними станціями, що забезпечують електричною енергією в напівпікові та, разом з ГЕС та ГАЕС, у пікові години.

Власні паливні ресурси станом на 2010 рік забезпечують лише 67 % потреб України, решта імпортується (т.ч. з Росії і Туркменістану, Азербайджану).

У 2001 р. структура споживання електроенергії та палива (135,8 млрд кВт·год.): вугілля та продукти його переробки — 64,2 млн т; природний газ — 65,8 млрд куб.м; нафта і газовий конденсат — 16,9 млн т.

Становище традиційної електроенергетики України незадовільне: необхідна модернізація устаткування та впровадження нових ресурсозберігаючих технологій, розробка та освоєння альтернативних джерел електроенергії (сонячні, вітряні, геотермальні електростанції).

Рівні споживання енергії в світі та в Україні

Споживання енергоресурсів на Землі стрімко збільшується. Однак корисне використання первинних енергоресурсів при застосуванні найпоширеніших перетворених енергоносіїв становить у даний час у світі по електроенергії в середньому 35-40 %, по тепловій енергії - 60-70 %, а при використанні механічної енергії – 25 %. У той же час світова економіка може успішно розвиватися тільки тоді, коли темпи збільшення енергоспоживання будуть істотно нижчими темпів економічного росту. У протилежному випадку людство рано або пізно опиниться в енергетичному тупику свого розвитку незалежно від наявного природного й шновацшного енергетичного ресурсного потенціалу. Навіть в умовах нинішнього часу, коли темпи росту енергоспоживання у світі майже вдвічі нижчі, ніж темпи економічного розвитку, попит на енергоресурси швидко зростає, і за останні 60 років їх споживання було приблизно адекватним сумарному енергоспоживанню за всю

історію розвитку людства. З початку ХХ ст. енергоспоживання зросло у 12 разів при рості населення в 3,9 рази й склало більше 15 млрд. т у.п. енергоресурсів і 19 млрд. кВт.год електроенергії. У той же час, за даними Всесвітньої Енергетичної Ради, сучасні розвідані запаси первинних енергоресурсів у світі становлять приблизно 1700 млрд. т у.п.

Характерною тенденцією зміни структури кінцевого споживання енергії в 1973-2006 рр. стало швидке зростання використання електричної енергії. Якщо в 1973 році її частка в світовому споживанні кінцевої енергії складала 9,4%, то в 2006 році вона виросла до 16,7%, перетворивши електроенергію на другий після нафти світовий енергоносіє кінцевого використання. Істотні зміни відбулися і в галузевій структурі споживання електричної енергії. Якщо в 1973 році основними споживачами електричної енергії були промисловість і транспорт, що використали 53,4 і 2,4% її виробництва, то в 2006 році їх частка знизилася до 41,6 і 1,6%.

Частка споживання непромислових секторів – житлово-комунального господарства і соціальної сфери, культури, торгівлі, сільського господарства і ін. зростає з 44,2% в 1973 році до 56,7% в 2006 році.

Природний газ зберіг в 1973-2006 рр. роль третього за значенням кінцевого енергоносія. Його частка в світовому споживанні кінцевої енергії зростає в цей період з 14,4% до 15,3%. Природний газ все більше використовується в житлово-комунальному і торгово-суспільному секторах споживання, на транспорті і як сировина і все менше в промисловому секторі.

Частка промисловості в споживанні природного газу знизилася протягом 1973-2006 рр. від 54 до 35,2%, а його використання як сировини зросло вчетверо – від 2,7 до 10,9%.

Частка непромислових секторів у використанні природного газу зростає від 40,7 до 48,1%, а частка транспорту більш ніж подвоїлася – від 2,6% в 1973 році до 5,8% в 2006 році.

Роль твердого палива – вугілля, дров і відходів в кінцевому споживанні знизилася від 26,5% в 1973 році до 21,5%, хоча його абсолютне кінцеве споживання дещо виросло – від 887 до 997 млн. т у. п. Зниження ролі вугілля було обумовлене його заміщенням більш екологічними і зручними у використанні видами палива і енергії в житлово-комунальному і суспільному секторах. Практично повністю припинилося застосування вугілля на транспорті. Основним споживачем вугілля залишається промисловість, а саме електроенергетика. Промислове використання вугілля зросло в 1973-2006 роках з 57,5 до 78,8%.

Секторальна структура кінцевого споживання електричної енергії, як і природного газу, характеризується збільшенням частки житлово-комунального господарства і інших непромислових галузей від 44,2% в 1973 році до 56,7% в 2006 р. і зменшенням частки промисловості з 53,4 до 41,6% і транспорту з 2,4 до 1,7%.

Не дивлячись на енергійні заходи, що виконуються в світі по зниженню нафтової залежності, частина нафти в світовій структурі кінцевого споживання вдалося понизити трохи – від 48,1% в 1973 році до 43% в 2006 році.

Пояснюється це тим, що нафта є практично єдиним джерелом енергії для автомобільного, залізничного, авіаційного, суднового, внутрішньозаводського транспорту, сільськогосподарської, будівельної і іншої техніки, а також незамінним джерелом вуглеводневої сировини для хімічної промисловості. Тому заходи щодо зниження споживання нафти найбільш помітно торкнулися електроенергетики і теплопостачання – галузей, що допускають заміну наф ті іншими видами первинної енергії. Якщо в 1973 році на потреби транспорту і у якості сировини було використано 56,9% нафти, то в 2006 році – вже 77%, зокрема на потреби транспорту 60,5%. Таким чином, нафта набула характерні риси спеціалізованого енергоносія, достатньо жорстко прив'язаного до потреб транспорту і хімії.

Таким чином, простежується чітка тенденція до секторальної спеціалізації основних традиційних видів енергії. Споживання нафти стягується в сектор транспорту і хімії, вугілля і ядерної енергії – в сектор електроенергетики, електричної енергії і природного газу – в непромисловий сектор, зокрема сектор тепло- і холодопостачання населення і інших непромислових споживачів.

Динаміка структури споживання первинної енергії для потреб електроенергетики вказує на збереження провідної ролі у цій галузі органічного палива – вугілля, природного газу і нафти, не дивлячись на швидке зростання атомної енергетики і ВДЕ, хоча частка використання викопної органіки для генерації електричної енергії дещо зменшилася – з 74,5% в 1973 році до 66,9% в 2006 році. Відповідні зміни були обумовлені прагненням максимального витіснення з паливної структури електроенергетики нафти – енергоносія, що випробовує найбільші коливання цін і умов постачання. Таке заміщення проходило за рахунок переважного розвитку атомної енергетики швидкими темпами в 70-х і 80-х роках минулого сторіччя. Після припинення розвитку атомної енергетики унаслідок Чорнобильської катастрофи 1986 року стала інтенсивно рости газова енергетика, прискорився розвиток електроенергетики на базі відновлюваної енергії – вітру, біомаси, Сонця.

До кризи прогнозували, що світова економіка буде розвиватися в середньому темпом близько 4 % на рік, а збільшення енергоспоживання буде становити приблизно 2 % на рік, то в найближче століття буде потрібно збільшення витрат енергоресурсів у світі більш ніж у 7 разів, тобто до 100 млрд. т у.п. на рік з відповідним негативним впливом на навколишнє середовище, що уже сьогодні перевантажено наслідками техногенної діяльності. Такі розміри щорічного споживання енергоресурсів відповідають майже 6 % розвіданих світових запасів невідновлюваних енергоресурсів планети, і навіть при подвоєнні згодом розвіданих запасів (з урахуванням наявних прогнозних оцінок) вони були б витрачені всього за 30 років.

У короткостроковому й навіть середньостроковому часовому зрізі невідповідність структур запасів і споживання основних енергоносіїв не буде, мабуть, визначальним чином впливати на структуру енергетичного попиту, хоча й призведе поступово до більш виражених цінових трансформацій у цій сфері. У більш далекій перспективі, наприклад, у період до 2030-2050 років,

зазначені невідповідності обумовляють масштабні економічні (цінові) зміни, що стимулюють зростання частки твердого палива, розробку й застосування нових технологій використання вугілля, у тому числі енерготехнологічних, екологічних і згодом вуглекислотних, а також безпечний розвиток атомної, освоєння водневої енергетики й пізніше - термоядерної. Це буде позначатися вже в період до 2030 року, і до цього треба своєчасно готуватися. У структурі виробництва й споживання первинних ПЕР повинні знайти своє вагоме місце як нетрадиційні та відновлювані джерела енергії, так і нові джерела енергії – ядерний цикл, водень, газогідрати тощо. При прогнозуванні та реалізації перспективної структури енергоспоживання має постійно бути присутнім екологічний фактор, роль якого в міру росту енергоспоживання буде ставати усе більше визначальною. Крім того, особливим видом ресурсу в ПЕР має стати ресурс інноваційного енергозбереження.

В Україні за 2010 рік обсяг споживання (нетто) електричної енергії ОЕС України склав 147,5 млрд кВт·год. Основними споживачами електроенергії (2010 рік) в розрізі категорій є: промисловість 81,9 млрд кВт·год (55,5 %), населення 37,7 млрд кВт·год (25,6 %), комунально-побутове господарство 24,5 млрд кВт·год (16,6 %) та сільське господарство 3,4 млрд кВт·год (2,3 %).

Загальне споживання енергоресурсів в Україні в 2009 році було еквівалентним **204,11** млн. т у.п., органічного палива – 162 млн. т у.п. Географічна структура споживання електроенергії в Україні неоднорідна. Найбільше споживання електроенергії в областях, де розвинена гірничо-металургійна промисловість. У 2009 році найбільшими споживачами електроенергії в Україні були Дніпропетровська, Донецька, Луганська та Запорізька області, що спожили 52608,3 млн. кВт·год (58 % від загальнодержавного споживання) електроенергії.

Залежність енергетичних пріоритетів від рівня розвитку суспільства, промисловості, енергетики, економіки

Найважливіше значення для енергетики майбутнього та соціально-політичної обстановки у світі буде мати геоенергетична світова ситуація. Цей фактор пов'язаний головним чином з нерівномірністю розподілу й обмеженістю природних запасів на планеті, а також розкидом регіональних розмірів споживання енергоресурсів. Країни Європи, Північної Америки не забезпечені власними природними запасами, достатніми для задоволення внутрішнього попиту на енергоресурси, і споживають понад 55 % цих ресурсів від сумарного їхнього споживання у світі. У той же час країни Близького Сходу, володіючи 55% світових запасів вуглеводнів, самі споживають менше 10 %. Регіональний дисбаланс ПЕР збільшується прогнозованими високими темпами росту економіки в країнах, що розвиваються, Азіатсько-Тихоокеанського регіону, Африки, Латинської Америки, більшість яких також не має достатніх власних енергоресурсів. З іншого боку, Росія, при чисельності населення близько 2,5 % населення планети, володіє приблизно 30 % сумарних світових запасів енергоресурсів, споживаючи 7 % від сумарної їхньої витрати у світі й виробляючи 10 % від сумарного їхнього світового виробництва. У цих умовах паливно-енергетична сфера чим далі, тим більше буде ставати вузловим

міжрегіональним чи між країним інтересом, інструментом економічної інтеграції й можливих політичних рішень.

Дефіцит власних енергоресурсів буде стимулювати в країнах світу прискорення науково-технічних пошуків і досягнень у сфері нових джерел енергії, розширення використання відновлюваних енергоресурсів, а також енергозберігаючих технологій. І та обставина, що найбільш залежними від імпорту енергоресурсів і кон'юнктури світового енергетичного ринку є розвинені країни з високим науково-технічним потенціалом, буде забезпечувати високі темпи прогресу в даній сфері. Уже в першій половині ХХІ ст. (2030 р.) на порядок денний постануть питання інноваційних шляхів розвитку енергетичної сфери.

У той же час посилювана енергетична кон'юнктура сприятиме розвитку експортних можливостей країн, що володіють надлишковими власними енергоресурсами. При цьому найбільш динамічним буде ріст попиту на перетворені кваліфіковані й екологічно чисті енергоносії, до яких, насамперед, належить електрична енергія.

Все більший вплив на енергетичну діяльність людства матиме фактор навколишнього середовища, негативний вплив на яке з боку паливно-енергетичної сфери є домінуючим. Сумарний вплив техногенних процесів на природу вже знаходить свій прояв у вигляді глобальних природних змін (що починаються) клімату, його потепління, виникнення "озонових дір" та ін. Цей вплив досягає порога стабільності відтворення біоти й інших природних ресурсів, що загрожує непередбаченими глобальними наслідками для системи екоса Землі. Введення глобальних обмежень на викиди CO₂ (як найбільш значимого із парникових газів) істотно вплине на структуру світової енергетики та її окремих регіонів. Конкретна величина довгострокових обмежень залишається зараз дуже невизначеною, чітких загально визначених рекомендацій поки не вироблено. Але оскільки людство не може зупинитися у своєму розвитку, то в перспективі світова концепція стійкого розвитку, що поки ще діє у вигляді декларацій і намірів суспільства й держав, неминуче має трансформуватися в реальний ключовий фактор подальшого розвитку цивілізації й буде визначати вектор культурної й промислової діяльності, у тому числі, в першу чергу, в енергетичній діяльності. Все це накладає свій відбиток на напрямки розвитку паливно-енергетичного комплексу кожної з країн.

У сукупності згадані вище основні планетарні факторії майбутнього земної цивілізації (геополітичний, геодемографічний, геоенергетичний і геоекологічний) визначають також напрямки розвитку світового енергетичного сектора як найважливішої структури економіки й всієї життєдіяльності країн в сьогоденні й майбутньому. Більше того, перспективні тенденції геопроцесів об'єктивно призводять до подальшого посилення ролі енергетичної діяльності людства, зростання залежності майбутнього цивілізації від своєчасних трансформацій в енергетичній сфері.

Роль науки та освіти в підвищенні ефективності освоєння джерел енергії

Роль науки в підвищенні ефективності освоєння джерел енергії в основному полягає в створенні нового високоефективного обладнання та технологій.

В сфері традиційної енергетики наукові дослідження направлені на удосконалення існуючого та створення нового високоефективного обладнання та технологій, а також на впровадження енергозберігаючих заходів. Використання енергії відновлюваних джерел фактично є одним із заходів збереження енергоресурсів, для подальшого розвитку відновлюваної енергетики України до світового рівня та широкомасштабного освоєння енергії відновлюваних джерел необхідним є вирішення проблем науково-технологічного забезпечення розвитку кожного з основних видів відновлюваних джерел енергії, в першу чергу, створення ефективної бази фундаментальних і прикладних наукових досліджень та проектно-конструкторської бази для розробки і впровадження нової техніки та технологій відновлюваної енергетики.

Наукові дослідження, що проводились останнім часом в галузі відновлюваної енергетики, забезпечили розширення напрямів використання енергії ВДЕ, підвищення коефіцієнта корисного використання вітроенергетичного обладнання до 0,3, ККД фотобатарей – до 30%, розширили

Значної уваги заслуговує розвиток системи економічних досліджень для прийняття економічно обґрунтованих рішень стосовно напрямів та обсягів розвитку та впровадження ВДЕ.

Освіта і виховання у сфері енергетики - це напрямки єдиного процесу виховання ощадливого ставлення громадян до використання паливно-енергетичних ресурсів, яке забезпечується шляхом надбання та засвоєння знань про економічні, екологічні і соціальні переваги енергозбереження та здійснення державного контролю щодо рівня і ефективності отриманих знань. Знання у сфері енергозбереження є обов'язковими для всіх посадових осіб, діяльність яких пов'язана з використанням паливно-енергетичних ресурсів.

Впровадження заходів щодо підвищення рівня енергоефективності традиційної енергетики та обсягів освоєння енергії відновлюваних джерел повинно здійснюватись шляхом застосування основних факторів:

- **технологічний фактор:** розширення обсягів використання нових та існуючих енергозберігаючих технологій і обладнання, вдосконалення енерговикористовуючого обладнання, впровадження сучасних систем обліку та контролю за витратами енергоресурсів, вибір найефективніших енергоносіїв, використання відновлюваних та вторинних ПЕР, впровадження автоматизованих систем управління енергоспоживанням, використання економічних систем і приладів електроосвітлення, впровадження засобів силової електроніки, удосконалення структури парку електроприводів у всіх галузях, удосконалення систем теплопостачання, впровадження нових прогресивних технологій виробництва та перетворювання ПЕР, підвищення якості продукції сировини та матеріалів, скорочення втрат ПЕР і матеріалів тощо;

- **структурний фактор:** підвищення в структурі економіки питомої ваги наукоємних малоресурсомістких галузей та виробництв, зниження матеріаломісткості (в першу чергу, металоємності) продукції, раціоналізація енергетичного балансу регіону, галузей, підприємств та населення, вирівнювання графіку навантажень електричної мережі протягом доби, заміщення в енергетичному балансі вуглеводневого палива іншими джерелами енергії, в першу чергу відновлюваними;

- **економічний фактор:** використання системи економічних важелів, що стимулюють процес реалізації енергозберігаючих заходів та впровадження устаткування на основі ВДЕ (тобто економічного механізму стимулювання). До нього слід віднести створення системи енергетичних стандартів, норм та нормативів, що визначають рівень енергоефективності, певних умов та правил стимулювання енергозбереження, надання податкових пільг та створення належних умов фінансування (пріоритетність фінансування, пільгові кредити, позики тощо), ефективна цінова та тарифна політика на енергоресурси та інше.

- **правовий фактор:** використання дійової системи законодавчих та нормативно-правових актів, яка передбачає регламентацію всіх важливих аспектів процесу енергозбереження та використання ВДЕ.

- **організаційний фактор:** вплив регіональних органів управління на політику енергозбереження, вплив існуючої мережі регіональної державної інспекції з енергозбереження на ефективність енерговикористання, впровадження заходів регіональної та галузевих програм енергозбереження та їх супровід, створення системи енергоменеджменту, пропаганда енергозбереження тощо.

Реалізація демонстраційних проектів високої енергоефективності та відновлюваної енергетики для адміністративних будівель і об'єктів соціальної інфраструктури. Впровадження демонстраційних проектів високої енергоефективності для адміністративних будівель і об'єктів соціальної інфраструктури та демонстраційних проектів на основі відновлюваних джерел енергії є одним із важливих заходів, що сприятимуть заощадженню ПЕР. Найбільш ефективним є впровадження демонстраційних об'єктів в місцях відпочинку та навчання з метою формування у населення ощадливого ставлення до використання енергії та навчання принципам енергозбереження і ефективного використання енергії довкілля.

Важливою функцією демонстраційних об'єктів є проведення наукових досліджень, визначення ефективності впровадження енергозберігаючих заходів, експлуатаційних характеристик устаткування відновлюваної енергетики тощо. Аналіз отриманих даних дозволить підвищити рівень ефективності при подальшому впровадженні відповідних заходів та обладнання.

Важливим фактором є регулярне інформування населення і суб'єктів господарської діяльності про досягнення у сфері енергозбереження і програми підтримки їх реалізації для формування в суспільній свідомості принципів економічного і раціонального використання паливно-енергетичних ресурсів.

Освітня система – найважливіший канал інформації для зміни громадської поведінки щодо енергозбереження. Необхідність навчання з енергозбереження викликана сучасним економічним станом країни, глибоким проникненням енергетики в усі галузі виробництва і побут, збільшенням забруднення навколишнього середовища. Потрібно не лише впровадження нового змісту навчання, а і формування іншого світогляду людини, загальнолюдських цінностей та активної життєвої позиції.

Важливим елементом формування комплексного механізму впровадження заходів з підвищення енергоефективності є створення різноманітних громадських об'єднань, виставкова, видавнича та інформаційна діяльність, інформаційно-рекламна та просвітницька діяльність, нагороди за енергоефективність.

Західний досвід в енергозбереженні показує, що дуже важливо охопити рухом за збереження енергії якомога більше індивідуальних споживачів ПЕР. Результати показують, що для запуску механізму енергозбереження потрібні дії як «зверху», так і «знизу». На сучасному етапі навіть робота «знизу» – район, селище, місто, промисловий, індивідуальний об'єкт тощо – буде визначальною.

Методи та заходи енергозбереження

Головними завданнями у сфері енергозбереження є:

- розробка загальнонаціональної системи підвищення громадсько-освітнього рівня;
- створення організаційних, економічних, правових і соціальних умов для забезпечення стійкого інтересу до проблем енергозбереження;
- розробка механізму державного регулювання діяльності усіх закладів і установ у сфері енергозбереження, причетних до популяризації знань, освіти та навчання, в першу чергу дошкільних виховних, середніх загальноосвітніх, професійно-технічних, вищих навчальних закладів, закладів підвищення кваліфікації та перепідготовки кадрів, наукових установ;
- розробка комплексу норм, правил та вимог до рекламної, інформаційної, виховної, навчальної, навчально-методичної та науково-дослідної роботи;
- розробка галузевих та регіональних програм підвищення кваліфікації та перепідготовки посадових осіб, діяльність яких пов'язана з видобуванням, отриманням, переробкою, транспортуванням, зберіганням і використанням паливно-енергетичних ресурсів;
- створення виховних, освітньо-професійних, навчальних та науково-методичних програм енергозбереження окремо для кожної соціальної та вікової груп населення з урахуванням правових, економічних і екологічних вимог та широкого застосування досягнень новітніх енергозберігаючих технологій;
- проведення систематичних наукових досліджень для оцінки та підвищення громадсько-освітнього рівня у сфері енергозбереження, якості підготовки спеціалістів у цьому напрямі;
- поєднання етапів вирішення проблем освіти та виховання у сфері енергозбереження з іншими державними програмами, а також програмами міжнародного співробітництва;

- визначення джерел та напрямків, розробка механізму фінансування програм та кампаній з популяризації та освіти у сфері енергозбереження.

Таким чином, енергозбереження є довгостроковою, стратегічно важливою складовою державної політики, яка містить значні резерви впливу на соціально-економічні перетворення в країні, сталий економічний розвиток та соціальну стабільність в суспільстві. В ринкових умовах господарювання альтернативи енергозбереженню немає. Для втілення в життя енергозберігаючої політики в Україні існує достатньо організаційно-економічних механізмів і достатньо можливостей для реалізації енергозберігаючих заходів. Важливо не гаяти часу і забезпечити їх організацію і контроль виконання, що є одним із першочергових завдань держави.

Основою державної політики енергозбереження в національній економіці є її система законодавства. Закон України «Про енергозбереження» був прийнятий в розпал кризових явищ в економіці в 1994 році. Він передбачає систему інституційних, регулятивних і стимулюючих мерів у напрямі режиму раціонального споживання ТЕР. В даний час врегульовані практично всі положення Закону України «Про енергозбереження», які вимагали подальшої конкретизації в інших законодавчих актах.

Відповідно до українського законодавства енергозбереження – це діяльність, направлена на раціональне використання і економне витрачання первинної і перетвореної енергії і природних енергетичних ресурсів в національній економіці. Енергозбережна політика включає адміністративно-правове і фінансово-економічне регулювання процесів здобичі, переробки, транспортування, зберігання, виробництва, розподілу, використання і утилізації ТЕР. До них відносять сукупність всіх використовуваних природних і перетворених видів палива і енергії.

Лекція 4

Мінеральні та органічні викопні джерела енергії. Ядерне паливо

Класифікація. Основні періоди та термін утворення корисних копалин. Напрями енергетичного використання та характеристики основних галузей енергетики на їх основі. Напрями неенергетичного використання. Строки вичерпання. Тенденції розвитку традиційної енергетики, проблеми та пошуки їх рішення. Роль відкриття атомної енергії в розвитку суспільства та особливості її розвитку в XXI столітті. Наслідки використання атомної енергії в Україні та тенденції щодо її подальшого використання. Плани розвитку (згорання) ядерних програм у різних країнах світу. Нові ідеї розвитку ядерних енергетичних технологій.

Класифікація мінеральних та органічних джерел енергії.

Основні періоди та термін утворення корисних копалин.

Енергетичні джерела енергії – це матеріальні об'єкти, в яких зосереджена енергія, придатна для практичного використання людиною. Енергоресурси поділяють на первинні та вторинні; первинні енергоресурси - це природні ресурси, які не переробляли і не перетворювали: сира нафта, природний газ, вугілля, горючі сланці, вода річок і морів, гейзери, вітер тощо.

Під мінеральними ресурсами розуміють сукупність різних видів корисних копалин, які можуть бути використані за сучасного рівня розвитку продуктивних сил. За характером використання мінеральні ресурси поділяються на групи: паливно-енергетичні, рудні й нерудні. На їх базі розвиваються такі важливі галузі промислового виробництва, як чорна і кольорова металургія, електроенергетика, машинобудування, хімічна промисловість та ін.

Органічні викопні джерела енергії - це органічне паливо, що складається з паливних речовин, незгоряючих залишків і вологи. Паливні копалини характеризуються спільним походженням пальної частини. Вони утворюються переважно із рослинної маси, але містять також певну кількість білкових і жирних речовин тваринного походження.

Паливні корисні копалини поділяються на 3 основні групи: гумусові (торф, буре та кам'яне вугілля); сапропелеві (горючі сланці) та петрофіти (нафта, природні горючі гази, озокерит).

Мільйони років у надрах Землі тривав процес розкладання решток тварин і рослин, що колись переробили і зберегли сонячну енергію. У результаті утворилися такі невідновлювані джерела енергії, як нафта, вугілля, природний газ, торф, запаси котрих досить обмежені, рано чи пізно вони будуть вичерпані.

Чому ж людство продовжує нарощувати використання викопних джерел енергії, незважаючи на всі недоліки в результаті їх освоєння? Цьому є кілька причин: економічні (прагнення швидко отримати прибутки); психологічні (небажання змінювати звичний спосіб життя); і, навіть, політичні (енергія - це влада).

Органічне паливо на Землі існує в твердій (торф, різні види вугілля і т.п.), рідкій(нафта) та газоподібній (природний газ) формі, що зумовлено умовами розкладання органічних речовин та їх джерелом.

До твердого викопного палива належать і горючі сланці. Це мінеральні породи, просякнуті органічними речовинами.

Природним рідким паливом є нафта - суміш рідких вуглеводнів з молекулярними масами з різних груп. Крім того, у ній міститься деяка кількість рідких кисневих, сірчистих і азотистих сполук. Нафта - це продукт розкладання одноклітинних рослин і організмів, що існували сотні мільйонів років тому. Гинучи, вони формували відкладення на глибинах від 30 метрів до 8 кілометрів.

Природний газ суто газових родовищ складається переважно з метану (95-98 % CH₄). Природний газ, як нафта і вугілля, утворився в надрах Землі з рештків рослин і дрібних тварин.

В свою чергу, кожна із корисних копалин має свою класифікацію, найширшу із яких має **нафта**. **Класифікація нафт за густиною** була запроваджена на ранніх етапах розвитку нафтопереробної промисловості, згідно з нею нафти поділяють на: легкі – менше 828 кг/м³; обважнені – 828-884 кг/м³; важкі – більше 885 кг/м³, однак вона не відображає кількісного хімічного тиа групового вуглеводневого складу нафти і може бути використана лише для попередньої оцінки їх властивостей.

Технологічна класифікація нафт, введена 1967р., використовується і в даний час, оскільки вона надає найбільш повну інформацію про хімічний та груповий вуглеводневий склад нафт. Згідно з нею всі нафти поділяють на класи за вмістом сірки в нафті, бензині, реактивному та дизельному паливі; типи нафти за виходом фракцій, які википають до 3500С; групи за потенційним вмістом базових олив та їх індексом в'язкості; види за вмістом твердих парафінових вуглеводнів у нафті. За цією класифікацією кожній нафті присвоюють шифр відповідно до її характеристики. Наприклад, шифр полтавської нафти ІТЗМЗІПІ2 або 13342. Маючи шифр будь-якої нафти, можна зробити висновок про її склад та характеристику. Цю інформацію використовують при виборі варіанта переробки даної нафти.

Горючі гази поділяють на: природні, попутні та нафто - заводські гази. Природні гази добуваються із самостійних газових родовищ. Попутні нафтові гази добуваються разом з нафтою - вони розчинені в ній і виділяються при виході нафти на поверхню. Склад попутних газів різко відрізняється від складу природних. Вміст етану та важких компонентів у ньому набагато вищий і може в сумі досягти 50% маси. Тому суміш розділяють і використовують як паливо та хімічну сировину. Суміш пропану і бутану зріджують та зберігають під тиском у балонах. Це дає змогу транспортувати газ у місця, не підключені до мережі газопроводів. Нафтозаводські гази утворюються при переробці нафти на заводах в ході термічних, термокаталітичних та інших процесів переробки нафти і використовуються як паливо у промисловості.

Вугілля має свою класифікацію, основою якої є кількість вуглецю в породі. Вугілля, в складі якого до 70 % вуглецю, називають бурим; вугілля, в складі якого вуглецю є від 70 до 95 % називають кам'яним, а вугілля, що має вміст вуглецю більше 95 % називають антрацитом. Ця характеристика є загальною, в промисловості вугілля класифікують за „марками”. Вона ґрунтується на генетичному принципі, на зміні вугільної речовини від

торфоподібної материнської породи до антрациту. Найпоширенішою є так звана донецька класифікація, за якою розрізняють наступні типи вугілля: довгополуменеве (Д), газове (Г), паровично-жирне (ПЖ), коксівне (К), паровично-спікливе (ПС) та пісне (П). Перше використовується як паливо, друге для добування світильного газу, третє для отримання масел з вугілля, коксівне – для добування коксу, решта – в хімічній промисловості.

Антрацит — це викопне вугілля, що при своєму виникненні прогрівалося найглибше, вугілля найвищої міри вуглефікації. Характеризується великою густиною і блиском. Містить 95 % вуглецю. Застосовується як тверде висококалорійне паливо (теплотворність 6800-8350 ккал/кг). Має найбільшу теплоту згоряння, але погано спалахує. Утворюється з кам'яного вугілля при підвищенні тиску й температури на глибинах близько 6 кілометрів.

Кам'яне вугілля — осадова порода, що є продуктом глибокого розкладу решток рослин (дерев'янистих папоротей, хвощів і плаунів, а також перших голонасінних рослин). Більшість покладів кам'яного вугілля було утворено в палеозої, головним чином у кам'яновугільний період, приблизно 300-350 мільйонів років тому. За хімічним складом кам'яне вугілля є сумішшю високомолекулярних поліциклічних ароматичних сполук з високою масовою долею вуглецю, а також води і летких речовин із невеликою кількістю мінеральних домішок, які під час спалювання вугілля утворюють золу. Викопне вугілля різниться співвідношенням своїх компонентів, що визначає їхню теплоту згоряння. Низка органічних з'єднань, які входять у склад кам'яного вугілля, володіє канцерогенними властивостями.

Вміст вуглецю в кам'яному вугіллі, залежно від його сорту, становить від 75 % до 95 %. Містить до 12 % вологи (3-4 % внутрішньої), тому має вищу теплоту згоряння порівняно з бурим вугіллям. Містить до 32 % летких речовин, завдяки чому непогано спалахує. Утворюється з бурого вугілля на глибинах бл. 3 кілометрів.

Буре вугілля — тверде викопне вугілля, що утворилося з торфу, містить 65-70 % вуглецю, бурого кольору, наймолодше з викопного вугілля. Використовується як місцеве паливо, а також як хімічна сировина. Містить багато води (43 %), і тому має низьку теплоту згоряння. Крім того, містить більшу кількість летких речовин (до 50 %). Утворюється з відмерлих органічних решток під тиском навантаження і дією підвищеної температури на глибинах близько 1 км.

За класифікацією, введеною у 1990 р. (ГОСТ 25543-88), передбачено таке віднесення вугілля:

- до бурого при середньому показнику відбиття вітриніту R_o менше 0,60 % і вищій теплоті згоряння в перерахунку на вологий беззольний стан (Q^{saf}) менше 24 МДж/кг;
- до кам'яного вугілля — при середній величині R_o 0,40-2,59 %, Q^{saf} 24 МДж/кг і більше і виході летких речовин в перерахунку на сухий беззольний стан (V^{daf}) 8 % і більше;
- до антрацитів — при середній величині R_o від 2,20 % і більше і V^{daf} менше за 8 %.

Торф класифікується за декількома ознаками, зокрема за складом рослинних решток, ступенем їхнього розкладання та зольністю. У залежності від типу рослин він поділяється на сфагновий, моховий, осоковий. За ступенем розкладання - на слабозкладений, середньорозкладений, сильнорозкладений. За вмістом мінеральної речовини - на слабозольний, середньозольний і високозольний.

Що до горючих сланців, то в них як такої класифікації немає. Їх можуть характеризувати за кольором, густиною або за місцем видобування.

Як видно, у найбільш вживаних корисних копалин більш детальна класифікація, що сприяє більш ефективній подальшій переробці.

Сучасне індустріальне суспільство немислиме без таких викопних органічних енергоджерел, як газ, нафта і вугілля. Високорозвинуті країни отримують з них близько 80 % енергії. Для вироблення електроенергії у світі за останні 30 років на теплових електричних станціях (ТЕС) використано 76 млрд тонн вугілля, 3 млрд тонн мазуту, 3 трлн кубічних метрів газу, а на АЕС - тільки 0,2 млн тонн ядерного палива. Якщо розглядати структуру світової витрати палива людством, то атомна енергетика посідає близько 6%, органічне паливо - близько 89%, а всі нетрадиційні джерела енергії - лише 2%. Спалювання органічного палива призводить до щорічного викиду 27 млрд тонн вуглекислого газу (CO₂) в атмосферу і мільйонів тонн оксидів сірки та азоту. Торф є найменш сформованою формою вугілля, що досить сильно зберегла риси рослинного походження і складається з води (90%), вуглецю (5%) та летючих матеріалів в (5%). Вугілля, як викопне енергоджерело було використане першим. Провідна роль в освоєнні вугілля як джерела енергії належить Англії, де розпочалася промислова революція. Можна сказати, що вугілля і пара забезпечили перемогу капіталізму над феодализмом і започаткували епоху промислового капіталізму в Європі й Америці. Внаслідок використання вугілля для виробництва енергії збільшилося забруднення навколишнього середовища, але сповільнився ще гірший процес - знищення лісів. Промислово розвинуті країни підвищили свій життєвий рівень, у першу чергу, саме завдяки більшому споживанню нафти. Недарма нафту часто називають "чорним золотом". Природний газ - це третє за величиною джерело енергії. Відомо, що 25 % енергії у світі виробляється з природного газу. Вміст енергії в природному газі високий, майже такий самий, як у нафті. Україна використовує до 100 млрд. м³ природного газу на рік, з яких власний видобуток становить близько 20 млрд м³. Значні об'єми газу зосереджені в нафтових родовищах (супутні гази) та вугільних шахтах (шахтний метан). Так тільки вугільні родовища України містять до 3,0 трлн. м³ газу. Природний газ використовується як паливо для електростанцій, побутове паливо, як сировина для промисловості тощо. Газ легко транспортувати до місця споживання по трубах. А перевівши його у скрапленій стан, можна перевозити у залізничних та автоцистернах, нафтових танкерах. Природний газ є найчистішою формою невідновної енергії: у ньому дуже низький вміст отруйних речовин, він згоряє дуже швидко, простий у використанні. Проте проблеми викидів вуглекислого газу при використанні природного газу залишаються.

Ядерне паливо поділяється на два види:

1. природне ядерне паливо: ізоотп урану-235;
2. вторинне ядерне паливо, штучно отримувані в ядерному реакторі ізоотп плутонію-239 і ізоотп урану-233.

За хімічним складом ядерне паливо може бути:

- металевим, включаючи сплави;
- оксидним (наприклад, UO_2);
- карбідом (наприклад, PuC_{1-x})
- нітрідним;
- змішаним ($PuO_2 + UO_2$)

Кабінетом Міністрів України Постановою № 432 від 5 травня 1997 р. (Із змінами, внесеними згідно з Постановами КМ № 850 від 05.07.2004 та № 264 від 26.03.2008) затверджено Класифікацію запасів і ресурсів корисних копалин державного фонду надр, яка встановлює єдині для державного фонду надр України принципи підрахунку, геолого-економічної оцінки і державного обліку запасів корисних копалин згідно з рівнем їх промислового значення та ступенем геологічного і техніко-економічного вивчення, умови, що визначають підготовленість розвіданих родовищ корисних копалин до промислового освоєння, а також основні принципи кількісної оцінки ресурсів корисних копалин.

Терміни і поняття Класифікації вживаються у такому значенні:

- **корисні копалини** - природні мінеральні утворення органічного і неорганічного походження у надрах, на поверхні землі, у джерелах вод і газів, на дні водоймищ, а також техногенні мінеральні утворення в місцях видалення відходів виробництва та втрат продуктів переробки мінеральної сировини;

- **корисний компонент** - складова частина корисної копалини, вилучення якої з метою промислового використання технологічно можливе і економічно доцільне. За наявності двох або більше корисних компонентів корисна копалина є комплексною. Родовище комплексної корисної копалини або двох чи більше однокомпонентних корисних копалин визначається як комплексне;

- **основні корисні копалини і компоненти** - корисні копалини і компоненти, що визначають промислове значення родовища, напрям його промислового використання і назву;

- **супутні корисні копалини і компоненти** - корисні копалини і компоненти, видобуток яких здійснюється разом з основними корисними копалинами, а вилучення і промислове використання технологічно можливі та економічно доцільні у процесі переробки основної мінеральної сировини;

- **ресурси корисних копалин і компонентів** - обсяги корисних копалин і компонентів невідкритих родовищ, оцінені як можливі для видобутку і переробки при сучасному техніко-економічному рівні розробки родовищ даного виду мінеральної сировини;

- **оцінка ресурсів корисних копалин і компонентів** - наближене визначення кількості та якості корисних копалин і компонентів на основі аналізу сприятливих геологічних та економічних передумов і позитивних результатів геологічних, геофізичних та інших досліджень;

- **запаси корисних копалин і компонентів (загальні запаси корисних копалин і компонентів)** - обсяги корисних копалин і компонентів, виявлені та підраховані на місці залягання за даними геологічного вивчення відкритих (ідентифікованих) родовищ корисних копалин;

- **мінеральна сировина** - корисна копалина, видобута і перероблена на товарну продукцію гірничого виробництва;

- **спільно залягаючі корисні копалини** - корисні копалини, що утворюють в розкривних і вмісних породах самостійні поклади, селективний видобуток і вилучення яких технологічно можливі та економічно доцільні у процесі видобутку основних корисних копалин;

- **товарна продукція гірничодобувного підприємства** - мінеральна сировина, видобута гірничодобувним підприємством і відповідає установленим стандартам;

- **комплексне використання родовищ корисних копалин** - видобуток усіх корисних копалин родовища і вилучення наявних корисних компонентів та їх промислове використання, а також використання відходів, що утворюються у процесі видобутку і переробки мінеральної сировини.

За промисловим значенням запаси корисних копалин поділяються на три групи:

- **балансові** - запаси корисних копалин ділянки надр, для яких на момент проведення геолого-економічної оцінки згідно з техніко-економічними розрахунками та/або матеріалами фінансової звітності доведено, що коефіцієнт рентабельності продукції гірничодобувного підприємства (розрахунковий та/або фактичний) є достатнім для економічно ефективного видобування корисних копалин на такій ділянці надр;

- **умовно балансові** - запаси, ефективність видобутку і використання яких на момент оцінки не може бути однозначно визначена, а також запаси, що відповідають вимогам до балансових запасів, але з різних причин не можуть бути використані на момент оцінки;

- **позабалансові** - запаси корисних копалин з ділянки надр, для яких на момент проведення геолого-економічної оцінки згідно з техніко-економічними розрахунками та/або матеріалами фінансової звітності доведено, що коефіцієнт рентабельності продукції (мінеральної сировини) гірничодобувного підприємства (розрахунковий та/або фактичний) мав рівень, недостатній для економічно ефективного видобування корисних копалин на такій ділянці надр

За ступенем геологічного вивчення запаси корисних копалин поділяються на дві групи: **розвідані і попередньо розвідані**.

Розвідані запаси - це обсяги корисних копалин, кількість, якість, технологічні властивості, гірничо-геологічні, гідрогеологічні та інші умови залягання яких вивчені з повнотою, достатньою для опрацювання проектів будівництва гірничодобувних об'єктів і об'єктів з переробки мінеральної сировини. Основні параметри розвіданих запасів, які обумовлюють проектні рішення щодо видобутку і переробки мінеральної сировини та охорони природи, визначаються за даними безпосередніх вимірів чи досліджень, виконаних у межах покладів за щільною сіткою, в поєднанні з обмеженою

екстраполяцією, обґрунтованою даними геологічних, геофізичних, геохімічних та інших досліджень. Розвідані запаси корисних копалин є основою для проектування і проведення розробки родовища (покладу).

Попередньо розвідані запаси - це обсяги корисних копалин, кількість, якість, технологічні властивості, гірничо-геологічні, гідрогеологічні та інші умови залягання яких вивчені з повнотою, достатньою для визначення промислового значення родовища. Основні параметри попередньо розвіданих запасів корисних копалин, що впливають на вибір способів видобутку і переробки мінеральної сировини, оцінюються переважно на основі екстраполяції даних безпосередніх вимірів чи досліджень, розташованих у межах родовища за рідкою або нерівномірною сіткою. Екстраполяція обґрунтовується аналогією з розвіданим родовищем (покладом), а також даними геологічного, геофізичного, геохімічного та іншого вивчення надр. Попередньо розвідані запаси є основою для обґрунтування подальшої розвідки чи дослідно-промислової розробки родовища (покладу).

За ступенем геологічного вивчення і достовірності ресурси корисних копалин поділяються на дві групи: **перспективні та прогнозні**.

Перспективні ресурси - це обсяги корисних копалин, кількісно оцінені за результатами геологічного, геофізичного, геохімічного та іншого вивчення ділянок у межах продуктивних площ з відомими родовищами корисних копалин певного геолого-промислового типу. Перспективні ресурси враховують можливість відкриття нових родовищ (покладів) корисних копалин того ж геолого-промислового типу, існування яких обґрунтовується позитивною оцінкою проявів корисних копалин, геофізичних, геохімічних та інших аномалій, природа і перспективність яких доведені. Кількісні оцінки параметрів родовищ (покладів) корисних копалин визначаються на основі інтерпретації геологічних, геофізичних, геохімічних та інших даних або статистичної аналогії. Перспективні ресурси є основою для геолого-економічної оцінки доцільності проведення пошуків і пошуково-розвідувальних робіт.

Прогнозні ресурси - це обсяги корисних копалин, що враховують потенційну можливість формування родовищ певних геолого-промислових типів, що ґрунтуються на позитивних стратиграфічних, літологічних, тектонічних, мінерагенічних, палеогеографічних та інших передумовах, установлених у межах перспективних площ, де промислові родовища ще не відкриті. Кількісна оцінка прогнозних ресурсів проводиться на основі припущених параметрів за аналогією з продуктивними площами, де є відкриті родовища корисних копалин того ж геолого-промислового типу. Прогнозні ресурси корисних копалин є основою для обґрунтування регіональних та прогнозно-геологічних робіт.

Напрями енергетичного та неенергетичного використання випокного палива

Основними напрямками енергетичного використання випокного палива є одержання теплової та електричної енергії. Одним з найбільш досконалих видів енергії є електроенергія. Її широке використання зумовлене такими факторами:

- можливість вироблення електроенергії у великих кількостях поблизу родовищ органічного палива та водних джерел;
- можливість транспортування на далекі відстані з порівняно незначними втратами;
- можливість трансформації електроенергії в інші види енергії: механічну, хімічну, теплову, світлову;- відсутність забруднення довкілля;
- можливість застосування на основі електроенергії принципово нових прогресивних технологічних процесів з високим ступенем автоматизації.

Теплова енергія широко застосовується у побуті та на сучасних виробництвах у вигляді енергії пари, гарячої води, продуктів згоряння палива. Пару та гарячу воду традиційно отримують у котлах, в яких нагрівається вода за рахунок палива. Електричну і теплову енергію виробляють на:

- теплових електричних станціях (ТЕС) на органічному паливі з використанням у турбінах водяної пари - паротурбінні установки(ПТУ); продуктів згоряння - газотурбінні установки (ГТУ), їх комбінацій - парогазові установки (ПГУ);
- гідравлічних електричних станціях (ГЕС), котрі перетворюють механічну енергію руху води на електричну, використовуючи енергію падаючого потоку води, течії, припливу;
- атомних електричних станціях (АЕС), які перетворюють енергію ядерного розпаду на електричну.

З точки зору використання палива найбільш ефективним є комбіноване виробництво на теплоелектроцентралях (ТЕЦ) електричної та теплової енергії.

Основними напрямками неенергетичного використання викопного палива є чорна і кольорова металургія, машинобудування, хімічна промисловість та ін.

Існує велике різноманіття напрямів енергетичного та неенергетичного використання **нафти**.

Розходження температур кипіння вуглеводнів використовується для поділу нафти на температурні фракції, оскільки різні її компоненти переходять у газоподібний стан при різній температурі. Спочатку, ще до перегонки, з нафти відокремлюють розчинені в ній вуглеводні (переважно метан). Після нагрівання першими переходять у газоподібний стан і відганяються вуглеводні з невеликим числом атомів вуглецю в молекулі, що мають відносно низьку температуру кипіння (петролейний ефір). З підвищенням температури суміші переганяються вуглеводні з більш високою температурою кипіння.

У такий спосіб можна зібрати окремі фракції нафти. Найчастіше при такій перегонці одержують три основні фракції, що потім піддаються подальшому поділу. Основні фракції нафти наступні:

1. Фракція, що збирається від 40 °С до 200°С, - газолінова фракція бензинів містить вуглеводні від C_5H_{12} до $C_{11}H_{24}$. при подальшій перегонці виділеної фракції одержують: газолін (від 40 °С до 70 °С), бензин (від 70 °С – 120 °С) – авіаційний, автомобільний і т.д.

2. Лігроїнова фракція, що збирається в межах від 150 °С до 250 °С, містить вуглеводні від C_8H_{18} до $C_{14}H_{30}$. Лігроїн застосовується як пальне для тракторів.

3. Гасова фракція включає вуглеводні від $C_{12}H_{36}$ до $C_{18}H_{38}$ з температурою кипіння від $180\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $300\text{ }^{\circ}\text{C}$. Гас після очищення використовується у якості пального для тракторів, реактивних літаків та ракет.

4. Газойль (вище $275\text{ }^{\circ}\text{C}$) – дизельне паливо.

5. Мазут – залишок від перегонки. Містить вуглеводні з великим числом атомів вуглецю (до багатьох десятків) у молекулі. Мазут також розділяють на фракції: а) соляріві олії – дизельне паливо; б) мастила (автотракторні, авіаційні, індустриальні та інші); в) вазелін (основа для медичних та косметичних засобів).

З деяких сортів нафти одержують парафін (для виробництва сірників, свічок та ін.). Після відгону залишається гудрон, що широко використовується в дорожньому будівництві.

При подальшій переробці розрізняють 10 груп нафтопродуктів: нафтові палива; нафтові оливи; пластичні мастила; парафіни, церезини, вазеліни; нафтові бітуми; технічний вуглець (сажа); нафтовий кокс; присадки до палив та оливо; розчинники та ароматичні вуглеводні; інші нафтопродукти.

Залежно від сфери застосування розрізняють такі види нафтових палив: карбюраторні, реактивні, дизельні, газотурбінні, котельні, пічні, зріджені та стиснуті гази. Перші використовуються в авіації та автомобільних двигунах, другі призначені для спалювання в повітряно-реактивних двигунах (ПРД), а також для змащення та охолодження середовища у ПРД. Треті призначені для спалювання в дизельних двигунах. Газотурбінні палива застосовуються у стаціонарних паротурбінних і паро газових енергетичних установках, а також в газотурбінних установках водного транспорту. Котельні і пічні призначені для стаціонарних парових котлах, промислових печах та печах опалювальних установок. Останні – це пропан-бутанова суміш, яка використовується як паливо для побутових потреб та двигунів внутрішнього згоряння (ДВЗ).

Нафтові оливи також поділяються від сфери застосування на: моторні, енергетичні, трансмісійні, індустриальні, спеціальні та інші типи. Але призначення в них майже однакове – зменшення тертя в різних механізмах, двигунах, вузлах тертя, а також для виробництва вазеліну, парфумів, гуми, хімічних волокон тощо.

Призначення пластичних мастил – зменшення зношувань поверхонь тертя для продовження терміну служби деталей машин і механізмів. Крім того, майже всі мастила запобігають корозії металевих поверхонь.

Тверді нафтові парафіни використовуються для виробництва синтетичних жирних кислот, хлор-парафіну, свічок. Церезини застосовують для одержання мастил, воскових сплавів, ізоляційних матеріалів тощо. Вазеліни використовують для захисту від корозії хірургічних інструментів, у виробництві кремів, паст, мазей, у ветеринарних цілях тощо.

Нафтові бітуми застосовують для прокладання або ремонту доріг, в будівництві; технічний вуглець – як наповнювач в гумовотехнічній та лакофарбовій промисловості, як барвник при виробництві типографічних фарб, ебоніту тощо. Нафтовий кокс – для виплавки алюмінію та графітових електродів. Присадки додаються до нафтопродуктів в невеликих кількостях з метою значного покращення їх експлуатаційних властивостей. Нафтові

розчинники використовуються для потреб лакофарбової, лісохімічної промисловості, для миття та знежирення металевих поверхонь. А ароматичні вуглеводні застосовуються у парфумерії та виробництві вибухівки.

До інших нафтопродуктів належить нафтенові кислоти, змащувально-охолоджуючі засоби та освітлювальний гас. Перших застосовують як емульгатори, присадки, розчинники смол та анілінових барвників. Другі призначені для зменшення температури, силових параметрів та зношування різального інструменту у різних галузях промисловості. Освітлювальний гас використовують в освітлювальних лампах.

Основним напрямом використання *природного газу* є спалювання для отримання тепла в промисловості (доменні печі, котельні) та в побуті (для приготування їжі). Важливим напрямом є переробка на різні цінні продукти - ацетилену, водню, що використовуються в синтезі аміаку. Сажа, добута з метану, йде на виготовлення друкарської фарби, гумових виробів. Хімічні речовини, які одержують з газу – складові компоненти для виробництва пластмас, добрив, синтетичних волокон тощо. Природний газ навіть використовують для опріснення морської води. Тому він відіграє також значну роль в житті людини.

Не менш широким є використання *вугілля*, тільки половина всього вугілля йде на паливо, решта – для переробки в хімічній промисловості. У якості енергетичної сировини його спалюють на теплових електростанціях і в побуті.

В результаті переробки вугілля отримують багато різних речовин. При нагріванні без доступу повітря до 1000°C утворюється первинний продукт – кокс, який на 96-98% складається з вуглецю і використовується в металургії для випалювання зайвого вуглецю з чавуну. Одночасно із коксом утворюється коксовий газ, який йде на паливо та кам'яновугільна смола, що є багатим джерелом різних речовин, - з неї їх виділено близько 500. Речовини, які утворюються при переробці та хімічній обробці кам'яновугільної смоли використовують для виробництва продукції: розчинників, ароматичних речовин, ліків, фарб, вибухових речовин, бензолу, добрив, нашатирного спирту, різних смол, покрівельного матеріалу, дорожніх бітумів, різних палив, мастил, масел, пластмас, дезинфікуючих речовин, нафталіну, сажі тощо.

Горючі сланці також мають широке застосування. На електростанціях спалюються найкращі сорти (ТЕС в Естонії), трохи гірші йдуть на переробку. При нагріванні подрібненого сланцю до 500°C і вище утворюється сланцева смола – первинний продукт переробки. Органічна речовина при цьому розкладається, утворюючи маслянисту пару. Після конденсації вона дає в'язку смолу, газ та вуглистый залишок. Із сланцевої смоли виробляють висококалорійне паливо, масло для просочення деревини, клей, іхтіол (лікарська речовина), миючі засоби, спеціальний кокс для виготовлення електродів, парафін, пластмаси і гуму. Сланцевий попіл застосовується при виробництві цементу, будівельних блоків та панелей. Із сланців можна одержати ряд рідкісних елементів – уран, ванадій, молібден, реній тощо.

Торф раніше використовувався в основному на опалення будинків і спалювання в печах електростанцій. В даний час 60-70% торфу використовується в сільському господарстві в якості добрива, стимулятора росту рослин, кормових додатків для тварин і навіть для підстилки на тваринницьких фермах. Торф'яна підстилка набагато вигідніша, ніж солома чи тирса: 1т такої підстилки дає пізніше 5т високоякісного органічного добрива. Для вирощування садженців і розсади в теплицях роблять спеціальні торфоперегнійні горщечки, торфодерновими „килимами” укріплюють кювети доріг, озеленюють комплекси житлових та промислових будівель. Торф – джерело багатьох цінних продуктів: воску, органічних барвників. При нагріванні з нього дістають сульфат амонію, аміак, феноли, оцтову кислоту, етиловий та метиловий спирт, мастила, парафін, щавелеву кислоту, кормові дріжджі, активоване вугілля тощо.

Терміни вичерпання

Основні світові органічні енергоресурси, крім вугілля, навіть при достатньо дбайливому їх споживанні, можуть дуже швидко закінчитись. Як свідчать прогнози оцінки експертів, запаси нафти і газу вичерпаються в недалекому майбутньому — впродовж 50-100 років. Це зменшить техногенний тиск на довкілля, але водночас може призвести до енергетичного колапсу, якщо вже тепер не розробляти стратегію використання альтернативних енергетичних джерел.

Підтверджені запаси основних видів палива в 2005–2007 роках становили:

- Вугілля: 905 мільярдів тонн,
- Нафта: від 1119 млрд до 1317 млрд барелів,
- Природний газ: 175–181 трильйонів кубічних метрів,

Видобуток у 2006 році:

- Вугілля: 16,761 млн тонн на добу,
- Нафта: 84 млн барелів або 13,4 млн м³ на добу
- Природний газ: 2960 млрд м³ на добу

При вказаних рівнях запасів і видобутку палива вистачить на:

- Вугілля: 148 років
- Нафта: 43 роки
- Природний газ: 61 рік

При найоптимістичніших оцінках доведених запасів (Oil & Gas Journal, World Oil) палива вистачить на:

- Вугілля: 417 років
- Нафта: 43 роки
- Природний газ: 167 років.

Тенденції розвитку традиційної енергетики, проблеми та пошуки їх рішення

У світі щорічне споживання електричної енергії до 2015 року зросте до 20 трлн кВт.год, що на 75% більше, ніж у 1995 році (11,4 трлн кВт.год). Те, яким чином електрична енергія буде генеруватися та транспортуватися, вплине на

здатність країн задовольняти свої енергетичні потреби, вирішувати екологічні проблеми та на спроможність нарощувати економічний потенціал.

Напрямки розвитку енергетики залежать від перспектив розвитку країни або регіонів та наявності або можливості постачання паливно-енергетичних ресурсів для вироблення необхідної кількості електричної енергії. Так, якщо за останніх 10 років споживання електричної енергії в світі збільшилося на 31,5%, то 60% від цього приросту припало на країни Східної та Південно-Східної Азії і лише 16% на Європу.

Яскравий приклад розвитку енергетики подає Європейський Союз, де головними принципами енергетичної політики є функціонування енергетики на основі конкуренції, охорони навколишнього середовища, забезпечення стабільності і збереження гарантій постачання енергоносіїв із-за кордону. Зважаючи на те, що Євросоюз є одним з найбільш енергодефіцитних регіонів, там проводиться послідовна політика щодо зниження енергоємності своєї економіки. Задля вирішення екологічних проблем Євросоюз взяв курс на скорочення використання твердого палива і ядерної енергії. До 2030 року у Європі планується половину електричної енергії виробляти за рахунок використання природного газу. Як і раніше, велика увага там приділяється розвитку і впровадженню відновлюваних джерел енергії.

Енергетична політика США майже повністю повторює політику Євросоюзу. Незважаючи на те, що ця країна володіє великою кількістю ресурсів і займає 3-є місце в світі з видобутку нафти і 2-е - з видобутку природного газу, рівень її імпортової залежності 35-40%.

Аналіз тенденцій подальшого розвитку енергетики різних регіонів світу свідчить, що вони значною мірою повторюють концепцію Європейського Союзу, а саме: головними принципами енергетичної політики є розвиток і функціонування енергетики на основі конкуренції, охорони навколишнього середовища, забезпечення стабільності і збереження гарантій постачання енергоносіїв із-за кордону.

Таким чином, в основу реалізації світової енергетичної політики щодо генерації електричної енергії буде покладено використання теплових електричних станцій, атомних електростанцій, інтенсифікація використання гідроресурсів. Особлива увага буде приділена використанню відновлюваних джерел енергії і захисту навколишнього середовища.

Важливою проблемою енергетики сучасного індустріального суспільства є забезпечення збереження природи, чистоти води і повітря. Серйозною проблемою є виникнення так званого "парникового ефекту" через викиди вуглекислого газу при спалюванні органічного палива, і, відповідно, глобального потепління клімату на нашій планеті. Проблеми загазованості повітряного басейну, "кислих" дощів, отруєння річок наблизилися в багатьох районах до критичної межі і в значній мірі це обумовлено діяльністю традиційної енергетики.

Перед сучасною енергетикою постала необхідність вирішення комплексу питань, серед яких одними із першочергових є практичне використання в енергетиці наукових досягнень – впровадження новітніх техніки та технологій,

що забезпечують максимально ефективне перетворення первинної енергії в енергію, необхідну споживачу, подальший пошук та розробка нових альтернативних технологій для вироблення тепла та електроенергії і т.д.

Атомна енергетика

Ядерне паливо. Ядерне паливо використовується в ядерних реакторах, де воно зазвичай розташовується в герметично закритих тепловиділяючих елементах (ТВЕЛ) у вигляді пігулок розміром в декілька сантиметрів.

До ядерного пального прийняті високі вимоги щодо хімічної сумісності з оболонками ТВЕЛів – достатня температура плавлення і випаровування, висока теплопровідність, невелике збільшення об'єму при нейтронному опромінюванні, технологічність виробництва.

На сучасному етапі світову атомну енергетику згідно з принципом оцінки сталості енерговиробництва оцінюють за такими основними факторами: доступність і ефективність палива; землекористування; екологічні наслідки розміщення відходів; можливості повторного енергетичного циклу; доступність і конкурентоспроможність, включаючи зовнішні та соціальні витрати; вплив на клімат.

Відомості про запаси урану мають орієнтовний характер, оскільки важко судити про реальність оціночних даних. За сучасним рівнем вивченості залягання покладів урану на Землі можна виділити такі уранові провінції: Канадський геологічний щит, Скелясті гори, Південна Америка, Західна, Південна та Східна Європа, Центральна Азія, Центральна та Південна Африка, Австралія. Провідні місця у видобутку урану займають США, Канада, ПАР, Австралія, Франція, Росія, Україна. Крім цих країн, уран видобувається також у Бразилії, Мексиці, Казахстані, Аргентині, Індії, Пакистані, Китаї, Мозамбіку, Габоні, Конго, Заїрі, Великій Британії, Португалії.

В Україні відсоток електроенергії, що виробляють АЕС: Рівненська (м.Кузнецовськ, Рівненська обл.), Південно-Українська (м. Південно-Українськ, Миколаївська обл.), Запорізька (м. Енергодар, Запорізька обл.), Хмельницька (м. Нетішин, Хмельницька обл.), - досить високий - 40-47% (приміром, у Росії - 11%). На атомних електростанціях як паливо використовують радіоактивні елементи - уран, торій і плутоній. Отримання електричної енергії базується на реакціях радіоактивного розпаду цих елементів, що відбуваються у ядерних реакторах і супроводжуються виділенням значної кількості тепла. Тепло поглинається теплоносієм, який циркулює навколо активної зони ядерного реактора. Розігрітий теплоносій в теплообміннику нагріває воду до кипіння. Пара, що утворилася, спрямовується на парову турбіну, яка обертає електрогенератора. За винятком ядерного реактора, АЕС працює як звичайна теплоелектростанція. Паливо для АЕС отримують з багатих ураном порід на спеціально пристосованих фабриках. які самі по собі є екологічно небезпечними об'єктами. У середньому одного завантаження паливом вистачає на рік. Відпрацьовані паливні елементи так само містять радіоактивні матеріали та продовжують виділяти тепло. Тому їх охолоджують до остаточного радіоактивного розпаду. Існують дві найбільш серйозні проблеми атомної енергетики: економічна - атомне паливо досить дороге, вартість будівництва

атомних станцій, створення та підтримання на належному рівні систем забезпечення реакторів ядерним паливом, захоронення відпрацьованого палива і радіоактивних відходів та вивід ядерних об'єктів з експлуатації; й екологічна - імовірність аварій та проблема захоронення ядерних відходів. Проти АЕС існує ще один досить серйозний аргумент - це розповсюдження ядерного озброєння.

В Україні створено потужну сировинну базу з видобутку урану, яку за обсягами можна порівняти із сировинними базами таких провідних країн, як США, Канада, Австралія. Хоча за своєю структурою і якісними характеристиками ця база їм поступається, вона здатна в перспективі забезпечити роботу вітчизняних АЕС. Задоволення потреб в урановій сировині для атомної енергетики досягається за рахунок розробки діючих родовищ - Ватутінського, Центрального та Мічурінського - і введення в дію Новокосятинівського. Експлуатація вітчизняних уранових покладів не збиткова, але собівартість вітчизняного природного урану перевищує ціни, які склалися на світовому ринку, більш ніж у 1,5 рази. При цьому є геологічні висновки і ознаки того, що у надрах України можуть бути відкриті поклади багатих високорентабельних руд. Зараз вітчизняні підприємства щорічно видобувають до 900 тонн уранової руди, що лише на 30% задовольняє потреби атомної енергетики України. Вся видобута сировина передається в Росію, де проходить процес її збагачення і виготовлення ядерного палива для вітчизняних АЕС.

Основними негативними аспектами ядерної енергетики є:

1. Безпека захоронення великої кількості радіоактивних відходів на десятки і сотні років і надійність таких довготривалих геологічних прогнозів викликають сумнів. Невідомо також, яку роль ці штучні поклади небезпечних речовин відіграватимуть у процесах життєдіяльності впродовж наступних етапів геологічної історії.

2. Більшість АЕС у світі використовують теплові реактори (LWR). До цього класу належать усі нині діючі українські енергоблоки. LWR потребують збагаченого урану, що зумовлює залежність неядерних країн від постачальників ядерного палива. Тому деякі держави (зокрема Румунія) будують важководні реактори (HWR), де використовується паливо з природного (незбагаченого) урану. Однак глибина вигорання палива у HWR у 4-6 разів менша, ніж у LWR, а це збільшує обсяги відпрацьованого (опроміненого) ядерного палива (ОЯП) та зумовлює відповідну потребу у сховищах більшої місткості. До цього слід додати, що: сучасні технології переробки ОЯП передбачають вилучення з нього плутонію, а створення власних збагачувальних комбінатів і потужностей для переробки ОЯП у неядерних країнах дає їм можливість напрацьовувати уран і плутоній для виробництва ядерної зброї на основі цілком легальних каналів атомної енергетики.

3. Ще одним недоліком LWR є те, що як паливо в них використовується ^{235}U , а його запасів у розвіданих на сьогодні родовищах вистачить лише на 50-100 років. Тому треба ширше запроваджувати в енергогенеруючі процеси ^{238}U , запасів якого вистачить на кілька тисячоліть.

За всю історію атомної енергетики в світі сталося дві аварії-катастрофи: у Віндскейлі (7 жовтня 1957 р.) і Чорнобилі (26 квітня 1986 р.). Першу з них фактично вдалося «зам'яти», друга ж завдала величезного удару по самій ідеї «мирного атома». Головним психологічним наслідком Чорнобиля стала масова радіофобія, коли все, що пов'язане з ядерною енергетикою, почало сприйматися різко негативно.

Майбутнє атомної енергетики. За півстоліття свого розвитку ядерна енергетика пройшла складний і суперечливий шлях: від грандіозних планів розбудови мережі АЕС до потрясіння Чорнобилем і згортання атомних програм в Україні і деяких країнах Заходу. Останнім часом світова громадськість вимагає вирішення проблем безпечного функціонування АЕС. Адже використання сучасних ядерних технологій потребує не тільки фахівців з високим рівнем кваліфікації і відповідальності, а й відповідного рівня культури, освіченості й екологічної свідомості суспільства.

Майбутнє вітчизняної атомної енергетики слід розглядати у контексті розвитку цієї галузі в світі і необхідності створення ядерних технологій ХХІ століття. Оскільки атомна енергетика — лише один із секторів енергетики й істотно залежить від економічності інших секторів, її майбутнє можна оцінювати тільки з урахуванням тенденцій розвитку енергетики в цілому. Крім того, екологічні наслідки господарської діяльності людей на Землі стали справді загрозливими у зв'язку з викидами в атмосферу парникового газу (двоокису вуглецю), забрудненням повітря, водойм і ґрунтів токсичними відходами підприємств енергетики. АЕС не викидають в атмосферу парникових газів і не споживають кисень. Проте нинішні атомні реактори не відповідають вимогам гарантованої безпеки, а поводження з радіоактивними відходами — екологічним нормативам.

Велика енергетика потребує поступової відмови від теплових електростанцій і переходу на екологічно чистіші (зокрема ядерні) методи отримання енергії. Орієнтація ядерної енергетики тільки на теплові реактори не вирішує багатьох проблем, як-от: залежності від постачальників збагаченого урану, переробки і збереження відходів, обмеженості світових запасів ^{235}U . Перспективним є запровадження в Україні передових ядерних технологій, насамперед швидких реакторів.

Слід зазначити, що останнім часом у реакторобудуванні з'явилися якісно нові технології. Це передусім реактори на швидких нейтронах (РШН). Як відомо, теплові реактори працюють на урані-235, якого у природному урані міститься всього 0,7%, тобто паливо використовується дуже нераціонально, та й поклади висококонцентрованого урану на Землі обмежені. А головне, що внаслідок його використання утворюється досить багато відпрацьованого ядерного палива.

Нині в Україні повністю сформована й успішно працює Національна атомна енергогенеруюча компанія «Енергоатом», яка 2005 р. відпускала електроенергію вартістю 7,14 коп./кВт·год за собівартості — 5,03 коп./кВт·год. Зазначимо, що на теплових електростанціях собівартість такої

кількості електроенергії приблизно 10 коп. НАЕК «Енергоатом» працює на 13 російських реакторах ВВЕР-1000 та двох ВВЕР-440 і тільки на російському паливі.

Разом з тим для створення власного замкненого ядерного циклу в Україні немає ключових складників: палива, потужностей з переробки відпрацьованого ядерного палива, сховищ для його зберігання. Щоправда, останнім часом побудували сухе тимчасове сховище ВЯП на Запорізькій АЕС.

Але найбільшою проблемою є потужна опозиція подальшому розвитку атомної енергетики з боку громадської думки, яка сформувалася одразу після Чорнобильської катастрофи.

Лекція 5

Енергетичні ресурси кам'яного і бурого вугілля, горючих сланців, торфу, нафти, природного газу та іншого органічного палива в світі та в Україні

Енергетичні ресурси кам'яного і бурого вугілля, горючих сланців, торфу, нафти, природного газу та іншого органічного палива в світі та в Україні. Розподіл ресурсів по різних регіонах та країнах. Сучасні технології видобування, збагачення, переробки та транспортування. Використання енергетичних продуктів в енергетиці, промисловості та в побуті.

Енергетичні ресурси кам'яного і бурого вугілля, горючих сланців, торфу, нафти, природного газу та іншого органічного палива в світі та в Україні. Розподіл ресурсів по різних регіонах та країнах.

Запаси органічного палива підрозділяють на доведені об'єми і прогнозовані відкриття нових запасів з вірогідністю 50 %.

Україна належить до числа держав світу, які мають запаси всіх видів органічного палива, але ступінь забезпеченості запасами, їх видобуток та використання далеко неоднакові і в сумі вони не дають необхідний рівень енергетичної безпеки (власними енергоресурсами Україна забезпечує себе приблизно на 47 %).

Вугілля. Найбільші загальні ресурси вугілля знаходяться в США, КНР, РФ, Австралії, Канаді, ФРН, ПАР, Великобританії, Польщі, Індії.

Таблиця 5.1. Доведені запаси вугілля на 2006 рік в млн. тонн

Країна	<u>Кам'яне вугілля</u>	<u>Буре вугілля</u>	Всього	%
<u>США</u>	111338	135305	246643	27,1
<u>Росія</u>	49088	107922	157010	17,3
<u>Китай</u>	62200	52300	114500	12,6
<u>Індія</u>	90085	2360	92445	10,2
<u>Австралійський Союз</u>	38600	39900	78500	8,6
<u>Південна Африка</u>	48750	0	48750	5,4
<u>Україна</u>	16274	17879	34153	3,8
<u>Казахстан</u>	28151	3128	31279	3,4
<u>Польща</u>	14000	0	14000	1,5
<u>Бразилія</u>	0	10113	10113	1,1
<u>Німеччина</u>	183	6556	6739	0,7
<u>Колумбія</u>	6230	381	6611	0,7
<u>Канада</u>	3471	3107	6578	0,7
<u>Чехія</u>	2094	3458	5552	0,6
<u>Індонезія</u>	740	4228	4968	0,5
<u>Туреччина</u>	278	3908	4186	0,5
<u>Мадагаскар</u>	198	3159	3357	0,4

Таблиця 5.1. Доведені запаси вугілля на 2006 рік в млн. тонн

Країна	Кам'яне вугілля	Буре вугілля	Всього	%
Пакистан	0	3050	3050	0,3
Болгарія	4	2183	2187	0,2
Таїланд	0	1354	1354	0,1
Північна Корея	300	300	600	0,1
Нова Зеландія	33	538	571	0,1
Іспанія	200	330	530	0,1
Зімбабве	502	0	502	0,1
Румунія	22	472	494	0,1
Венесуела	479	0	479	0,1
Всього	478771	430293	909064	100,0

Україна має значну кількість вугілля, так на сьогодні розвідані запаси можуть забезпечити потреби енергетики і промисловості України у найближчі 300 років.

В Україні поклади вугілля викопного зосереджені в Донецькому, Львівсько-Волинському та Дніпровському басейнах. За геологічними запасами викопного вугілля Україна посідає перше місце в Європі. Розвідані запаси вугілля в Україні становлять 34,0 млрд. т. у. п. або близько 50 млрд. т. Прогнозні запаси — близько 120 млрд. т. В структурі балансових запасів представлені всі марки від вугілля бурого до високометаморфізованих антрацитів.

Основні запаси кам'яного вугілля зосереджені в Донецькому (98%) і Львівсько-Волинському (2%) басейнах. Більше третини запасів цих басейнів - коксівне вугілля. Використовується вугілля не тільки як енергетичне паливо, але і як цінна сировина для хімічної промисловості та металургії.

Умови залягання вугілля в Донбасі складні: глибина - 1200 м, товщина пластів - 0,3 - 2,0 м (² / ₃ шарів мають потужність 0,3 - 0,45 м), висока крутизна падіння пластів. Середня глибина розробки перевищує 600 м, в деяких шахтах - 1100 м. Це надзвичайно ускладнює видобуток вугілля і зумовлює його високу собівартість. За марочним складом вугілля - від бурого, довгополуменевого до антрациту, близько 50% всіх запасів припадає на вугілля високоякісних марок. Найбільш інтенсивно освоюються запаси коксівного вугілля і антрацитів. Перше родовище кам'яного вугілля на території Донецького каменногоугольного басейну відкрито в 1721 р., з цього часу почалася його кустарна видобуток. Першу шахту побудовано у Лисичанську в 1796 р.

Видобуток вугілля у Львівсько-Волинському басейні менш складна, товщина пластів тут досягає 2 м і запаси становлять 1 млрд. т. Промислове значення мають 12 пластів потужністю понад 0,6 м. Пласти залягають на глибині від 300 до 1200 м. Глибина розробки вугільних пластів в шахтах

досягає 550 м. За марочним складом вугілля - від довгополуменевого до газового і газОВО-жирного. Розробка вугілля в басейні почалася в 1954 р. Виділяється% родовищ, найбільш перспективні - Міжріченське, Волинське, Тяглівське, Любельське. Крім цих басейнів, кам'яне вугілля виявлено у межах Дніпровсько-Донецької западини. Тут глибина залягання становить від 500 до 2800 м. Промислового значення ці поклади поки не мають.

Запаси бурого вугілля в основному зосереджені в Придніпровському басейні. Найбільшими родовищами є Коростишівське (Житомирська обл.), Звенигородське (Черкаська обл.) Та Олександрійське (Кіровоградська обл.). Потужність вугільних пластів до 18 м (основних - 2,0 - 6,0 м), глибина залягання 10 - 120 м (середня 60 - 80 м). Запаси оцінюються в 2 - 6 млрд. т, у тому числі 0,5 млрд. т придатні для відкритого видобутку. Невеликі його запаси є в Донбасі, Закарпатті та Поділлія.

Горючі сланці. Основні ресурси — близько 430—450 трлн. т (24-25 трлн. т сланцевої смоли) зосереджені в США (штати Колорадо, Юта, Вайомінг) і пов'язані з формацією Грін-Рівер. Великі поклади горючих сланців є в Бразилії, КНР, менші — в Болгарії, Великобританії, Росії, ФРН, Франції, Іспанії, Австрії, Канаді, Австралії, Італії, Швеції, на території колишньої Югославії.

Таблиця 5.2. Оцінка запасів сланців (у мільйонах тонн)

Континент	Поклади сланців	Резерви керогену	Загалом керогену
<u>Африка</u>	12 373	500	5 900
<u>Азія</u>	20 570	1 100	—
<u>Австралія</u>	32 400	1 725	36 985
<u>Європа</u>	4 180	300	6 500
<u>Близький Схід</u>	35 360	4 600	24 600
<u>Північна Америка</u>	3 340 000	80 000	140 000
<u>Південна Америка</u>	—	400	9 600

Родовища горючих сланців поширені на всій території країн СНД. Усього відомо близько 50 родовищ, найбільш великі з них Прибалтійське, Волзьке, Оленекське (Арктика), Кендирликське в Казахстані. Прибалтійське родовище сланцю-кукерситу належить до найдревніших геологічних утворень і розробляється на території Естонії. У Волзькому сланцевому районі розробляється Кашпирське родовище, яке належить до верхньоюрської геологічної системи. Родовища горючих сланців розвідані в Узбекистані, на Кавказі, у республіці Комі, на Уралі, у Білорусії й в Україні (Болтишське родовище).

В **Україні** На межі Кіровоградської і Черкаської областей відкриті запаси горючих сланців (3,7 млрд. т). Основні запаси їх зосереджені в Болтишській западині на правобережжі Дніпра. Болтишське родовище горючих сапропелітових сланців знаходиться у центральній частині України на межі

Кіровоградської та Черкаської областей. В складі їх органічної речовини є сапропелітові матеріали. Пористість сланців 40-50%, густина 1,8-2,0 г/см³, зольність 52-65%, теплота згорання – 8,4 МДж/кг. Тут виділяється 5 горизонтів на глибині від 180 до 500 м. Вміст органічної речовини - від 12 до 50%. Поклади горючих сланців виявлені також в межах Дніпровсько-Донецької западини, Волино-Подільської плити, в Карпатах і Кримських горах. У Карпатах до горючих сланців відносяться менілітові сланці.

Менілітові сланці знаходяться у Українських Карпатах. Вони входять до складу менілітової серії мають вигляд монолітної шаруватої породи. Під дією вітру і води вони інтенсивно розкладаються на тонкі пластини.

Зольність їх змінюється з 68 до 90%, вологість – 0,4 – 0,7%, вихід летких речовин – 10 – 15%, густина – 2,14 – 2,84 г/см³, вихід сланцевої смоли 2 – 4, іноді 6%, теплота згорання – 4 – 8 МДж/кг. Запаси менілітових сланців в Українських Карпатах складають більш 500 млрд. т.

Більшість *торф'яних покладів* (близько 80 %) розташована в верхніх широтах; близько 60 % усіх заболочених територій у світі мають запаси торфу. Найбільші торф'яні суцільні зосереджені в обширних пониженнях рельєфу. За деякими оцінками, світові запаси торфу складають близько 267 мільярдів тон.

Щорічний приріст рослинного загалу, з якого утворюється торф, коливається від 10 до 25 мм на рік і залежить від видів рослин, кліматичних умов та типу боліт. Щорічний приріст торфу становить тільки 0,5-1 мм в рік.

Географія торф'яних покладів за країнами: **Європа:** Білорусь, Велика Британія, Греція, Данія, Естонія, Ірландія, Італія, Ісландія, Латвія, Литва, Німеччина, Норвегія, Польща, Румунія, Україна, Фінляндія, Швеція; **Азія:** Індонезія, КНР, Росія; **Африка:** Бурунді; **Північна Америка:** Канада, США; **Південна Америка:** Аргентина, Бразилія, Фолклендські (Мальвінські) острови; **Океанія:** Нова Зеландія; **Антарктика:** Французькі Південні території.

В *Україні* запаси торфу оцінюють у 2,2 млрд. т. Поклади торфу розміщені в основному на Поліссі та Лісостепу. Найбільші родовища: Ірдинські (Черкаська обл.), Бучанське, Трубіжське (Київська обл.), Замглайський (Чернігівська обл.), Поліське, Цирское (Волинська обл.), Озерянське (Житомирська обл.).

На території України розміщено понад 1,5 тис. родовищ торфу, що зосереджені переважно у Волинській, Рівненській, Житомирській, Київській, Чернігівській, Черкаській, Хмельницькій, Сумській та Львівській областях.

Розвідані запаси *нафти* у світі на 2004 р. становили 210 млрд т (1200 мільярдів барелів), нерозвідані — оцінюються в 52-260 млрд т (300—1500 млрд барелів). Світові розвідані запаси нафти оцінювалися до початку 1973 р. в 100 млрд т (570 млрд барелів), у 1998 р. — 137,5 млрд т. Таким чином, в минулому розвідані запаси зростали. Сьогодні вони скорочуються.

Великі нафтогазоносні осадові басейни приурочені до внутрішньоплатформних, внутрішньоскладчастих, складчастоплатформних та крайових прогинів, а також до периокеанічних платформних областей. Родовища Н. виявлені на всіх континентах, крім Антарктиди, і на значних площах акваторій. У світі відомо понад 30 тис. родовищ нафти, з них 15-20 %

газонафтові. Близько 85 % світового видобутку нафти дають 5 % родовищ. Найбільші запаси нафти в Саудівській Аравії, Кувейті, Ірані, Іраку.

Нафта і газ зустрічаються в породах різного віку – від кембрійських до пліоценових. Іноді нафта видобувається і з докембрійських порід, однак вважається, що її проникнення в ці породи вторинне. Найбільш давні поклади нафти у палеозойських породах, знайдені головним чином на території Північної Америки. Ймовірно, це можна пояснити тим, що тут найінтенсивніші пошуки проводилися в породах саме цього віку.

Більша частина нафтових родовищ розсереджена по семи регіонах світу і приурочена до внутрішньоматерикових депресій та окраїн материків:

- 1) Перська затока – Північна Африка;
- 2) Мексиканська затока – Карибське море (включаючи прибережні райони Мексики, США, Колумбії, Венесуели і о. Тринідад);
- 3) острови Малайського архіпелагу і Нова Гвінея;
- 4) Західний Сибір;
- 5) Північна Аляска;
- 6) Північне море (головним чином норвезький і британський сектори);
- 7) о. Сахалін з прилеглими ділянками шельфу.

Нафта завжди в тій або іншій кількості містить розчинені попутні гази. Верхньою межею газонасиченості є тиск насичення, величина якого залежить від складу нафти і газу та умов знаходження покладу. Не зважаючи на те що в нафтогазоносних басейнах газонасиченість нафт коливається в широкому інтервалі, середні її значення залишаються досить близькими. Так, середній газовий чинник для нафт країн СНД в цілому може бути прийнятий рівним $48 \text{ м}^3/\text{т}$ при коливаннях фонових значень в межах $20 - 110 \text{ м}^3/\text{т}$. Для стародавніх платформ середня газонасиченість ($47 \text{ м}^3/\text{т}$) дещо нижче, ніж для молодих платформ ($55 \text{ м}^3/\text{т}$).

В межах окремих нафтогазоносних басейнів також спостерігаються закономірності в поведінці газонасиченості нафт. Так, для більшості з них спостерігається зростання газового чинника при збільшенні глибини залягання вміщуючих відкладів з наближенням до зон глибокого занурення фундаменту, а також в районах газонакопичення. Таким чином, слід підкреслити, що величина газового чинника нафт суттєво залежить від місцевих, локальних причин, що викликає істотний діапазон її коливань в окремих районах і продуктивних горизонтах. Проте середнє значення газонасиченості, що відображає загальніші умови взаємовідношення нафти і газу, зберігається досить постійним.

На території **України** поклади нафти є у Передкарпатті, у Дніпровсько-Донецькій областях та на шельфі Чорного і Азовського морів і (за деякими даними тут найбільші — 3 трильйони умовних одиниць газу й нафти, доля нафти — 25-30 %). Станом на кінець ХХ ст. початкові потенційні ресурси нафти України оцінювалися в 1,33 млрд т, а газового конденсату — 376,2 млн т. Розвіданість початкових потенційних ресурсів нафти становить 33,0 %, газового конденсату — 37,0 %, а ступінь виробленості відповідно 21,6 % та 15,9 %.

Основні запаси знаходяться на північному сході України. В Україні налічується 214 нафтових і газових родовищ. Найбільшими нафтовими родовищами є Прилуцьке і Леляківське (Чернігівська обл.), Рибальське і Качанівське (Сумська обл.), Зачепилівське, Радченківському і Сагайдацкое (Полтавська обл.), а також Бориславське, Битків-Бабченське, Долинське (у Прикарпатті) та ін.

Україна лише на 10-12% забезпечена нафтою власного виробництва.

Початкові ресурси *природного горючого газу* світу, за різними оцінками, становлять 327—546 трлн м³. Геологічна служба США оцінює ресурси газу країн СНД в 107 трлн м³ і не враховує ресурси глибоководних акваторій (за підрахунками російських фахівців — 63 трлн м³). За даними «Газпрому» за станом на 01.01.1991 р., початкові ресурси газу країн СНД склали 250 трлн м³. Загалом оцінки світових ресурсів газу зростають. Так, Геологічна служба США визначала початкові ресурси природного газу у світі на 01.01.1985 р. в 263 трлн м³ (в тому числі прогнозні ресурси — 119 трлн м³), на 01.01.1990 р. — в 297 трлн м³ (125 трлн м³), на 01.01.1993 р. — в 327 трлн м³ (132 трлн м³). До 1998 р. з надр добуто (накопичений видобуток) близько 57,7 трлн м³ газу.

Запаси природного газу розвідані в 102 державах. Близько половини всіх доведених запасів природного газу припадає на країни, що розвиваються, приблизно 40% — на країни з плановою і перехідною економікою і лише бл. 8% — на індустріально розвинені країни. У країнах-членах ОПЕК концентрується 41% запасів.

Понад 30% світових початкових ресурсів природного газу припадає на частку країн СНД, приблизно 20% — на країни Близького і Середнього Сходу, 10-17% — на Північну Америку. Приблизно рівні початкові ресурси (понад 6%) мають у своєму розпорядженні Африка і Латинська Америка. Початкові ресурси газу Південної, Південно-Східної і Центральної Азії та Далекого Сходу становлять 77,5% світових. На Європу без країн СНД припадає 4-6% світових початкових ресурсів природного газу, на Австралію і Океанію — близько 1%, на Антарктиду (прогнозні ресурси) — 1,4-2,2%.

У Росії доведені запаси газу розподіляються по економічних районах таким чином: на райони європейської частини країни припадає 4,9 трлн м³ (у тому числі на Поволзький — 5,9%, Уральський — 2,3%, Північний — 1,5%, Північно-Кавказький — 0,6%), Західного Сибіру — 36,8 трлн м³ (77,5%), Східного Сибіру — 1,0 трлн м³, Далекого Сходу — 1,1 трлн м³, шельфу — 3,7 трлн м³. Найбільшими газовими родовищами є Уренгойське і Ямбурзьке. На північному Ямалі на 25 родовищах розвідано 10,4 трлн м³ запасів. У акваторії Баренцового моря запаси газу понад 3 трлн м³.

У Туркменістані значна частина запасів приурочена до газових родовищ Даулетабад (доведені запаси на 01.01.1997 р. — 707 трлн м³) і Яшлар (764,1 трлн м³).

Приблизно третя частина доведених світових запасів газу зосереджена в країнах Близького і Середнього Сходу (Іран, Катар, Абу-Дабі, Саудівська Аравія), що належать до нафтогазоносного басейну Персидської затоки. У басейні відкрито 90 газових (у тому числі 11 морських) родовищ. Основна

частина запасів газу приурочена до відкладів пермі та кайнозою. Значна частина нафтових покладів містить великі газові шапки. Характерна більш висока концентрація газу (понад 80% запасів) на складчастому борту басейну (Месопотамський прогин). Тут продуктивні карбонатні відклади олігоцену нижнього міоцену (вапняки світи Асмарі), а також карбонатні відклади верхньокрейдової групи Бангестан. На платформному борту (східний край Аравійської плити) скупчення газу приурочені до пермських карбонатних порід (світа Хуфф), що залягають на глибині 2700-3500 м.

У Ірані переважна частина доведених запасів газу припадає на вільний газ; запаси попутного газу — приблизно 3,4 трлн м³.

У Катарі розташоване морське газове родовище Норт з доведеними запасами 6,76 трлн м³; геологічні запаси перевищують 10-12 трлн м³.

У Об'єднаних Арабських Еміратах (ОАЕ) запаси газу виявлені в основному в Абу-Дабі, а також в еміратах Шарджа, Дубай і Расах-ель-Хайма.

У Саудівській Аравії, де природний газ ніколи не був цільовим об'єктом пошуків, третина його доведених запасів припадає на попутний газ родовища Гавар.

У Іраку бл. 70% доведених запасів припадає на попутний газ, 20% — на вільний, 10% — на газ газових шапок. Основна частина запасів попутного газу містяться в нафтових родовищах Киркук, Айн-Залу, Бутма, Бай-Хассан (на півночі країни), а також в родовищах Румейла-Норт, Румейла-Саут і Зубейр (на півдні).

У Бахреїні початкові запаси газу нафтогазового родовища Авалі визначаються в 570 трлн м³.

У США прогнозні ресурси природного газу оцінюються Комітетом по газових ресурсах (US Potential Gas Committee) на 01.01.1999 р. в 25,36 трлн м³ (на 01.01.1997 м. — 26,06 трлн м³). Крім того, прогнозні ресурси газу вугільних родовищ складають, за оцінкою, 4 трлн м³. Ресурси природного газу знаходяться в основних газоносних регіонах: Мексиканської затоки — 7513,6 трлн м³; Аляска — 5484,5 трлн м³; басейни Скелястих гір — 4245 трлн м³; Західний Внутрішній НГБ (Мідконтинент) — 3455,4 трлн м³; Приатлантичний регіон — 2940,4 трлн м³; Тихоокеанський регіон — 1052,8 трлн м³.

У Канаді прогнозні ресурси газу провінції Альберта (Західно-Канадський НГБ) оцінюються Канадським комітетом по газу (Canadian Gas Potential Committee) в 3452,6 трлн м³. Значні перспективи зв'язуються зі східними акваторіями Канади; прогнозні ресурси природного газу в межах шельфу між Ньюфаундлендом і Новою Шотландією визначаються в 1415 трлн м³. У цих оцінках не враховуються ресурси важкодоступних районів і ресурси газу вугільних родовищ («unconventional resources»). Основна частина доведених запасів газу в Канаді зосереджена в Західно-Канадському НГБ, де виявлено 1621 газове родовище.

У Венесуелі початкові ресурси газу оцінюються в 12964 трлн м³. У венесуельській частині басейну Маракайбо (на північному заході країни) розвідані відносно великі запаси газу, але це на 90% розчинений газ нафтових родовищ. Відкрито 4 газових родовища. Розчинений газ еоцен-міоценових

відкладів родовищ зони Болівар жирний, із вмістом важких гомологів метану до 16%. У Орінокському НГБ (на сході країни) міститься 35% запасів газу. Відкрито 17 газових родовищ, в тому числі 14 — на акваторії.

У Алжирі основна продуктивність пов'язана з Алжиро-Лівійським НГБ. У західній частині басейну (газонасні западини Ахне і Тімімун) газові родовища переважно дрібні і середні. Доведені запаси газу западини Ахне (24 родовища) оцінюються в 267 трлн м³, западини Тімімун (17 родовищ) — в 290 трлн м³.

У Нігерії, де досі пошуково-розвідувальні роботи були орієнтовані на нафту, реальні запаси газу можуть значно перевищувати існуючі оцінки. На сьогоднішній день відомо бл. 25 родовищ газу. Переважна частина запасів — газ у газових шапках нафтових родовищ (бл. 70%), а також газ, розчинений у нафті.

На країни Південної і Південно-Східної Азії припадає близько 6% світових доведених запасів газу. В Індонезії, за оцінками державної нафтової і газової компанії Pertamina, загальні запаси газу можуть досягати 7,56 трлн м³.

В **Україні** Державним балансом враховано бл. 290 родовищ природного газу. Більшість родовищ — комплексні. З них 79 — газові, 98 — газоконденсатні, 53 — нафтоконденсатні, газонафтові та нафтогазові — 11. Початкові сумарні ресурси природного газу складають близько 6700 млрд м³.

Розвідані запаси природного газу в Україні складають 1,1 трлн. м³, Уже розвіданих запасів газу вистачить на 50 років при сучасному рівні видобутку.

Найбільшими родовищами природного газу є Щебелінське, Єфремівське і Кегичівське (Харківська обл.), Перещепинське (Дніпропетровська обл.), Малишевське та Диканському (Полтавська обл.), Качанівське (Сумська обл.), А також у Прикарпатті - Дашавське, Колушське, Вільчі- Волицьке, Угерське, Опарське. Родовище нафти і газу в Прикарпатті внаслідок їх тривалої експлуатації перебувають на межі вичерпання.

Сучасні технології видобування, збагачення, переробки та транспортування

Багато корисних копалин не можуть синтезуватися людиною. Тому вона змушена видобувати їх із родовищ - природних скупчень корисних копалин.

У минулі часи людина не мала спеціальних засобів для видобування горючих корисних копалин. Тому зазвичай їх добували у місцях виходу на поверхню (нафту) або відкритим способом, або збирали на берегах морів з розмитих водою пластів (вугілля). Пізніше тверде паливо почали діставати з неглибоких шахт, а оскільки вони були мало оснащені, то існувала велика ймовірність обвалу чи затоплення підземними водами. Тільки в XVI – XVII столітті шахти стали більш механізованими, почали встановлювати парові двигуни, спеціальні водо- і газовідвідні машини, вентиляцію, покращувалась безпека праці людей.

Для видобутку **нафти** копали колодязі і добували нафту, це було надзвичайно шкідливе видобування через наявність отруйних газів.

Пізніше почали бурити свердловини ударним, а потім роторним і турбінним способами.

На даний час існують більш сучасні способи добування та буріння. На місцях залягання будують спеціальні установки та вишки, для більшого видобутку родовища заливають водою.

На шельфах морів створюють нафтові бурові платформи, які плавають на морі або кріпляться до дна. Працювати на них значно небезпечніше, ніж на наземній буровій вишці, оскільки платформа може бути пошкоджена під час шторму. Крім того, будівництво такої платформи обходиться приблизно в 10 разів дорожче за наземне. Її вивозять у море секціями, а потім збирають, устаткування та персонал доправляють на неї вертольотами. В техніці буріння також проявився прогрес. Тепер бурити можна на більшу глибину, обминати водоносні шари, з відхиленням від вертикалі, косо і навіть дугою. Така ж система добування існує і для газу.

В техніці буріння є значний прогрес – бурити можна на більшу глибину, обминати водоносні шари, з відхиленням від вертикалі, косо і навіть дугою. Така ж система видобування існує і для газу.

Велика увага приділяється безпечному транспортуванню нафти. Особливої шкоди може завдати пролита нафта в морі чи океані. Адже сучасний супертанкер бере на борт до 500000 тонн і аварія на судні може призвести до катастрофічних наслідків. Нафтова плівка розливається по величезній площі, при цьому страждає вся фауна і флора на забрудненій території. Птахи й риби, в'язнучи в шарі нафти, гинуть від отруєння, задухи чи голоду. До такого ж самого ефекту призводить недотримання екологічної безпеки на нафтових платформах в морі.

Природний газ знаходиться в землі на глибині від 1000 метрів до декількох кілометрів. Над глибокою шпарою недалеко від міста Новий Уренгой отриманий приплив газу з глибини більш 6000 метрів. У надрах газ знаходиться в мікроскопічних порожнечках, названих порами. Пори з'єднані між собою мікроскопічними каналами — тріщинами, по цих каналах газ надходить з пір з високим тиском у пори з нижчим тиском доти, поки не виявиться в шпарі. Газ добувають з надр землі за допомогою свердловин. Шпари намагаються розмістити рівномірно по всій території родовища. Це робиться для рівномірного падіння пластового тиску в покладі. Інакше можливі переструми газу між областями родовища, а так само передчасне обводнювання покладу .

Газ виходить з надр внаслідок того, що в шарі знаходиться під тиском, що значно перевищує атмосферний. Таким чином, рушійною силою є різниця тисків у шарі і системі збору.

В даний час основним видом транспорту природного газу є трубопровідний. Газ під тиском, як правило, до 75 атмосфер (кгс/см^2) рухається по трубах діаметром до 1420 мм. В міру просування газу по трубопроводу він втрачає енергію, переборюючи сили тертя як між газом і стінкою труби, так і між шарами газу. Тому через визначені проміжки необхідно споруджувати компресорні станції (КС) з газоперекачувальними агрегатами (ГПА), на яких газ дотискається до розрахункового тиску. Спорудження й обслуговування трубопроводу досить дороге, однак це найдешевший спосіб транспортування

газу і нафти. Газопроводи великого діаметру, призначені для транспортування газу на великі відстані, називаються магістральними.

Загальна довжина магістральних газопроводів в Україні становить 35,6 тис.км.

Крім трубопровідного транспорту використовують спеціальні танкери — газозовози. Це спеціальні кораблі, на яких газ перевозиться в стиснутому або скрапленому стані при визначених термобаричних умовах. У такий спосіб для транспортування газу цим способом необхідно простягнути газопровід до берега моря, побудувати на березі газовий завод, що скраплює, порт для танкерів, і самі танкери. Такий вид транспорту вважається економічно обґрунтованим при віддаленості споживача скрапленого газу більш 3000 км.

Постачальники скрапленого природного газу (СПГ) виграють за рахунок економії на морських перевезеннях. За сприятливих умов ціна постачання газу танкером може бути нижче за ціну постачання по газопроводу майже на порядок. Порівняння транспортних витрат з використанням СПГ і газозовів показує, що при збільшенні відстані транспортування витрати збільшуються набагато нижчими темпами, підтверджуючи привабливість нового ринку скрапленого природного газу. Навпаки, прокладка як наземних, так і підводних трубопроводів зі зростанням відстаней збільшує собівартість традиційного природного газу набагато швидше.

У видобуванні *твердих горючих корисних копалин* також сталися значні зміни, в основному за рахунок застосування на шахтах і кар'єрах високопродуктивної техніки. Шахтне добування більш трудомістке та дорожче, але воно використовується частіше, оскільки основні запаси знаходяться на глибині; для того, щоб дістатися до вугільних чи інших пластів прокладаються вертикальні або похилі шахти. Якщо родовище залягає неглибоко і пласти виходять на поверхню, особливо на схилах, застосовуються горизонтальні шахти. Діаметр вертикальних шахт зазвичай складає кілька метрів, а глибина — більше кілометра. Від них до пластів вугілля пробивають горизонтальні гірничі виробки — квершлагі. В середину пластів ведуть штреки (які не мають виходу на поверхню). При похилому видобутку вздовж пластів ставляться похилі підйомники: нахили (для спуску різного вантажу) брамсберги (для підйому корисних копалин). Крім того, перспективним методом добування є гідравлічний метод: потужний струмінь води з спеціального пристрою — гідромонітора, дробить вугілля або сланець, які по трубопроводі йдуть на збагачувальну фабрику. З тонких пластів вугілля або сланець видобувають за допомогою шнека, який нагадує гвинт м'ясорубки з гострим наконечником.

Відкритий спосіб видобування горючих копалин найбезпечніший і найдешевший. Спочатку великі екскаватори (драглайни) з ковшами з ємністю 100 м³ знімають гірські породи, які закривають вугільні чи сланцеві пласти. Потім інші потужні екскаватори висотою з 13-поверховий будинок вантажить копалини у вагони з швидкістю 5000 м³/год. Цим способом у світі добувають майже половину всього вугілля і сланцю.

Для повнішого вилучення корисних копалин при підземному добуванні намагаються робити більшими розміри камер та очисних забоїв та меншими

розміри ціликів і стелин. Але зі збільшенням розмірів камер починається довільне обвалення стелин та порожніх порід, і тоді всю руду з камер доводиться випускати з домішками порід. Окрім того, зі збільшенням глибини розробки підвищується гірський тиск і умови стійкості камер погіршуються.

Добуті в шахті корисні копалини доставляються із очисного забою на земну поверхню до залізничних бункерів на збагачувальну фабрику. При цьому транспортування вантажів з очисного забою до відкаточних виробок називають **доставкою**, а транспортування у вагонетках по горизонтальних або з нахилом до 30° рейкових шляхах – **відкаткою**. Транспортування вантажів по виробках з кутом нахилу більше 30° називають **підйомом**, якщо вантаж переміщується у спеціальних ємкостях (скипах) або вагонетках, встановлених на платформах. У шахті також здійснюється транспортування порожньої породи, яка отримується при проходженні та ремонті гірських виробок, від забою до поверхні, а також перевезення людей та матеріалів до місця робіт. Корисні копалини та порода доставляються у **приствольний двір** (комплекс виробок біля стволів шахти), де переробляються, а потім по стволу шахти підіймаються на земну поверхню. Підняття по стволу здійснюється або у вагонетках, або у великих металевих ємкостях – **скипах**, вантажопідйомність яких – до 50 т. На поверхні шахти є комплекс будівель та споруд для переробки вантажів, обслуговування людей та забезпечення всіх виробничих процесів у шахті.

У підземних виробках накопичується вода, яка по водозбірних канавках у подошві кожної виробки стікає у спеціальні водозбірники в районі приствольного двору, а потім викачується на поверхню землі насосами, встановленими в насосній камері. Для вилучення води на поверхню з шахт або рудників з глибини 1000 м та більше в стволі будують проміжну насосну камеру.

Для нормальної та безпечної роботи під землею всі підземні виробки повинні бути забезпечені свіжим повітрям, що досягається провітрюванням для видалення продуктів вибухових робіт, пилу, газів та нормального самопочуття людей. При цьому повинно бути забезпечено підтримання у гірничих виробках нормальної температури та вологості.

При підземному способі розробки основні виробничі процеси відбуваються у підземних гірничих виробках. Підприємства по видобутку вугілля називають **шахтами**, по видобутку руди – **рудниками**. Головні виробничі процеси на руднику та в шахті пов'язані з вилученням корисних копалин та доставкою їх на поверхню землі, іноді з великих глибин.

Але іноді при видобутку корисних копалин всередині гори доводиться опускати корисні копалини та підіймати людей на велику висоту. Іноді з поверхні землі йде в'їзд у рудник по спіралі навколо рудного тіла. Витки мають нахил до горизонталі 8-10°, а загальна довжина спірального ствола досягає 1,5 км. З цього спірального виїзду проходять до рудного тіла горизонтальні виробки – **квершлаг**и через кожні 24 м по вертикалі. Бувають шахтні стволи ще більш незвичайними.

Коли корисні копалини виходять на поверхню або залягають під невеликим (до 80-120 м) шаром порожніх порід, то вони розробляються відкритим способом.

При цьому основні процеси гірничих робіт відбуваються у гірничих виробках незамкненого контуру, відкритих в атмосферу – наземних. **Відкритий спосіб розробки** використовують при видобутку вугілля, руд чорних та кольорових металів, гірничотехнічної сировини та будівельних матеріалів. Порівняно з підземними він забезпечує більш повне вилучення корисних копалин, більш високу продуктивність праці, зазвичай нижчу собівартість видобутку корисних копалин, його більші масштаби, безпечні умови роботи та сприятливі умови для залучення високопродуктивних і великих машин. Одночасно з цим слід відмітити, що при відкритому способі необхідно виймати з надр Землі порожніх порід в декілька разів більше, ніж корисних копалин. Окрім того, провітрювання атмосфери в кар'єрах здійснюється важче, і завдається велика шкода навколишньому середовищу. Основними етапами відкритої розробки родовищ є підготовка поверхні, осушення, розтин та експлуатація родовища, відновлення порушених гірничими роботами земель (рекультивация).

Здійснення розкривних та добувних робіт на кар'єрах включає процеси відбивання, навантаження, транспортування та розвантажування порожніх порід та корисних копалин.

Відбивання полягає у відділенні породи або корисних копалин від цілика з одночасним розшаруванням їх, достатнім для навантаження з метою транспортування. Відділення від цілика та розшарування міцних порід здійснюються за допомогою буровибухових робіт, навантаження – за допомогою екскаваторів. При м'яких або попередньо розшарованих породах відбивання та навантаження є виймальними процесами, які здійснюються екскаваторами або іншими машинами.

Вийнята порожня порода переміщується у **відвали**, які можуть розташовуватися в межах (внутрішні відвали) або за межами (зовнішні відвали) розроблюваної ділянки. Добуті корисні копалини транспортуються за межі кар'єру на склади або в приймальні бункери заводів, фабрик чи електростанцій або на залізничні станції для відправлення споживачам. На відкритих роботах широко використовується гідромеханізація, при якій порушення порід, їх транспортування та закладання здійснюються енергією води, яка рухається. При розробці розсипних родовищ вода може бути використана для збагачення. Видобуток крихких порід, які містять корисні копалини (переважно розсипи золота, платини та олова), з-під води природних та штучних водойм здійснюється за допомогою **драг**.

Інтерес до родовищ корисних копалин, які залягають у морях та озерах на значній глибині під водою, дуже великий.

Слід відмітити, що на шахтах з гідравлічним видобуванням вугілля засоби гідромеханізації частково використовують на відбиванні вугілля (гідромонітори) і головним чином на транспортуванні вугілля від забоїв до

приствольного двору та на гідропіднятті вугілля з шахти по стволах на поверхню.

Кінцевим процесом гірничого виробництва є **збагачення корисних копалин**, яке складається з первинної обробки сировини шляхом механічного розділення на компоненти з виділенням концентратів. Цим досягається приведення добутої сировини у стан, який забезпечує можливість безпосереднього використання (будівельні матеріали, коштовне каміння, вугілля) або подальшої технологічної переробки (різні руди). Збагачення корисних копалин відбувається на спеціальних збагачувальних фабриках. Іноді збагачування пов'язане з видобуванням сировини (первинне збагачування в забої за рахунок сортування копалини та вилучення з неї порожніх включень і порід, рудорозробка, збагачення на драгах та при гідравлічній розробці).

Технологічні процеси переробки вугілля включають збагачення вугілля, коксування вугілля, гідрогенізацію, скраплення, піроліз, напівкоксування.

Переробка твердих паливних ресурсів – складний технологічний процес, в результаті якого отримують велику кількість продуктів. Найпростіший метод переробки – коксування. Коксування це процес нагрівання ТПК до температури летких сполук (до 550 °С) без доступу повітря в так званих коксових печах вертикальних вузьких (приблизно 0,5м) та широких печах. Нагрівання стінок печі відбувається за рахунок спалювання частини коксового газу в коксових газогенераторах. В результаті отримують кокс – порожнисту тверду масу, що складається переважно з чистого аморфного вуглецю і мінеральних домішок. Для отримання доменого коксу – відновника для виплавки чавуна з руди, використовують спеціальні, коксуючі види вугілля, що характеризуються низькою зольністю та вмістом сірки, миш'яку та фосфору. При нагріванні до нижчої температури (350-400 °С) проводять процес напівкоксування, мета якого – отримання летких сполук с низькоякісних сортів ТПК. Леткі речовини, що виділяються при коксуванні та напівкоксуванні конденсуються при зниженні температури – утворюється так звана кам'яновугільна смола, надсмольна вода та коксовий газ.

Кам'яновугільна смола – складна суміш органічних сполук, що містить цінні речовини – алкани, алкени, феноли, бензол, толуол, стірол, кумол, піридин, нафталінові та багатокільчасті вуглеводні, що є цінною сировиною для промисловості органічного синтезу – ці сполуки вилучають та розділяють на індивідуальні речовини (вважається що утворюється близько 250 різних продуктів). При коксуванні відбувається осмолення органічних сполук, утворену смолу піддають піролізу, з метою отримання летких сполук.

Надсмольна вода – водний розчин піридинових основ, аміаку, та водорозчинних органічних сполук. З неї виділяють піридин дією сірчаної кислоти та аміак.

Коксовий газ складається переважно с водню та метану, але в значній кількості присутні етилен, пропілен, сірководень та азот. Для видалення сірковмісних речовин газ промивають розчинами лугів. Етиленово-пропіленову фракцію, метан та водень розділяють методом глибокого охолодження.

Коксохімічна промисловість дає змогу отримати широкий спектр цінних продуктів, які є сировиною для інших хімічних виробництв. Так кокс використовують у металургії, ароматичні речовини – для виготовлення вибухових речовин, ліків, фарб та лаків, етилен та пропілен – для отримання платмас, водень – для синтезу аміаку. Серед продуктів коксування присутні і високотоксичні речовини – діоксини, феноли, формальдегід, меркаптани, оксиди сірки та азоту та інші, які необхідно нейтралізувати.

Іншим напрямком переробки ТПК є газифікація – процес отримання суміші горючих газів – переважно водню та оксиду вуглецю (II). Це хімічний процес, що проводять при високій температурі (800 – 2000 °C) який включає в себе декілька стадій: виділення летких сполук, піроліз високомолекулярних органічних сполук, неповне та повне окислення вуглецю. Процес газифікації проводять з окисниками: водяною парою, CO₂, O₂, повітрям, або сумішами окисників. Сукупність цих стадій називаються конверсією, склад отриманої газової суміші визначається умовами процесу, властивостями ТПК, складом окисника, каталізатором. В процесі газифікації відбуваються такі хімічні реакції:

Процес газифікації проводять в реакторах киплячого шару, полкових, вихорних реакторах. Для збільшення швидкості процесу а також для забезпечення селективності перебігу тих чи інших реакцій використовують каталізатори – боксити, кислі глини, нікель та залізо на основі, оксиди металів. У разі використання повітря, як джерела кисню, отриманий газ буде містити також азот, який баластом проходить через всю технологічну лінію, тому доцільно використовувати чистий кисень, в цьому випадку ККД процесу сягає 92%, проти 80% при використанні повітря. Для підведення теплоти, яка необхідна для проведення ендотермічних реакцій також застосовуються плазмові технології: тепло для реакцій (4) і (5) підводиться з високотемпературною водяною парою, нагрітою до 6000-10000 °C в плазмотроні, або безпосереднє пропускання високовольтних розрядів через реакційну суміш у вихорних реакторах, або в реакторах пило-газової конверсії. Ці технології є прогресивними і новітніми, вони представлені розробками фірм Siemens, Mitsubishi Heavy Industries, Shell, Phillips, British Petroleum та іншими.

Газифікація низькоякісних ТПК (бурого вугілля, торфу, горючих сланців) а також біомаси ускладнена високою зольністю, вологістю, низькою теплотворною здатністю та високим вмістом сульфуру і нітрогену. ККД в цьому випадку знижується до 45-55%, отримана газова суміш містить значну кількість CO₂, оксидів сульфуру та нітрогену, що викликає необхідність впровадження в технологічну лінію складних та енергозатратних систем очищення газу від твердих часток попелу, та кислих газів.

Таблиця 5.3. Властивості та склад твердих паливних корисних копалин

Параметр	Кам'яне вугілля	Буре вугілля	Торф	Горючі сланці
Теплота згорання, МДж/кг	29,3	15,0	8,1	12,5
Зольність, %	0,5-2	1-5	1-5	45-60
Вологість, %	<2	2-15	5-25	2-15
Вміст С	85-98	75-90	70-80	20-26
Вміст C _n H _m (летких речовин), %	5-12	5-15	5-17	35-45
Вміст S, %	0,5-2	0,5-2	1-4	1-8,5
Вміст N, %	0,1-0,5	0,1-0,8	1,0-3,3	0,5-1,8
Твердість, баллів за Моссом.	4,5	4,0	2,7	3,0

Видобуток *торфу* проводиться відкритим способом, бо всі торф'яні родовища розташовані на земній поверхні. Існує дві основні схеми видобутку торфу: порівняно тонкими шарами з поверхні землі та глибокими кар'єрами на всю глибину торф'яного пласту. За першою з цих схем торф виробляють витинанням, а за другою — екскаваторним (або кусковим) способом. Відповідно й торф способом видобутку поділяють на витятий і кусковий. Для транспортування торфу до місця сушки використовують аблегери.

Використання енергетичних продуктів в енергетиці, промисловості та в побуті.

Для задоволення багаточисельних потреб люди витрачають енергію в чотирьох принципово різних видах:

– теплова високопотенціальна енергія для здійснення металургійних, хімічних та інших високотемпературних процесів, а також для отримання електроенергії. Доля такої енергії в загальних витратах складає близько 30 відсотків;

– теплова низькотемпературна енергія. Це системи опалення і гарячого водопостачання житлових будинків, харчова і легка промисловість, комунальні та деякі технологічні системи підприємств, приготування їжі й таке інше. Кількість такої енергії приблизно дорівнює кількості високотемпературної енергії;

– механічна енергія, яку виробляють двигуни внутрішнього згорання (ДВЗ) для забезпечення руху автомобілів, тракторів, комбайнів, суден, локомотивів, багаточисельної будівельної техніки й таке інше. ДВЗ виробляють біля 20 відсотків енергії від загальної кількості;

– електрична енергія, яка широко вживається як у побуті, так і на виробництві та міському транспорті.

Лекція 6

Класифікація відновлюваних джерел енергії

Класифікація відновлюваних джерел енергії. Сонце як основне джерело енергії на Землі. Умови утворення енергії відновлюваних джерел. Залежність енергетичного потенціалу відновлюваних джерел від кліматометеорологічних та географічних особливостей територій. Енергетичні ресурси відновлюваної енергетики світу та України.

Класифікація відновлюваних джерел енергії

Потік сонячного проміння на Землю, який отримує енергію завдяки термоядерному синтезу в глибині Сонця — джерело більшості видів відновлюваної енергії, за винятком геотермічної енергії та енергії припливів і відливів. У строго фізичному сенсі, хоча й вживається термін «відновлювані джерела енергії», енергія в них не відновлюється, а тільки постійно вилучається. Лише невелика частина сонячної енергії, що надходить на Землю трансформується в інші форми енергії, а значна її частина просто йде в космос.

Термін «відновлювані джерела енергії» вживається на противагу використанню органічних енергоносіїв, до яких належать, наприклад, кам'яне вугілля, нафта, природний газ або торф. У широкому розумінні ці джерела енергії теж відновлюються, однак процес їх утворення триває сотні мільйонів років, тому, порівняно із швидкими термінами використання, таке паливо класифікується як вичерпне.

Відновлювані або невичерпні енергоресурси – потоки енергії, що постійно або періодично діють у навколишньому середовищі. В цілому всі енергетичні потоки відновлюваних джерел енергії розділяються на дві основні групи:

- пряма енергія сонячного випромінювання;
- вторинні прояви енергії сонячного випромінювання у вигляді енергії вітру, гідроенергії, теплової енергії навколишнього середовища, енергії біомаси та ін.

Основною перевагою використання відновлюваних енергоресурсів є їх невичерпність та екологічна чистота, що сприяє поліпшенню екологічного стану і не призводить до зміни енергетичного балансу на планеті. При використанні відновлюваних джерел енергії відпадає необхідність у видобуванні, переробці, збагаченні та транспортуванні палива, знімається проблема утилізації або захоронення шкідливих відходів традиційних енергетичних виробництв.

Основним недоліком відновлюваних джерел енергії є дискретність енергетичних потоків – періодичність надходження та змінність енергетичного потенціалу, що до останнього часу спричиняло значні ускладнення в багатьох випадках їх використання і не відповідало сучасним вимогам щодо енергопостачання споживачів. Сучасні технології та обладнання відновлюваної енергетики, а також прийоми раціонального використання енергії відновлюваних джерел, оснований на комплексному використанні різних видів відновлюваних джерел енергії та акумуляторів енергії, фактично ліквідували

перешкоди щодо їх широкомасштабного впровадження і обумовили бурхливий розвиток відновлюваної енергетики у світі.

Загальна кількість сонячної енергії, що досягає поверхні Землі за рік, у 50 разів перевищує всю енергію, яку можна отримати із доказаних світових запасів викопного палива, і в 35000 разів перевищує нинішнє щорічне споживання енергії в світі.

Енергетичні ресурси відновлюваних джерел енергії, згідно даних Світової енергетичної ради, за рівнем і масштабами їх освоєння класифікуються на традиційні і нетрадиційні (рис. 6.1.).

ВІДНОВЛЮВАНІ ДЖЕРЕЛА ЕНЕРГІЇ	1. Дрова 2. Гідроенергія великих водотоков 3. Торф 4. Енергія мускульної сили тварин і людей	ТРАДИ- ЦІЙНІ
	5. Біомаса (за винятком дров) 6. Сонячна енергія 7. Геотермальна енергія 8. Вітрова енергія 9. Енергія малих річок 10. Енергія припливів 11. Енергія хвиль 12. Теплова енергія океану	НЕТРАДИЦІЙНІ

Рисунок 6.1. Класифікація відновлюваних джерел енергії

Останнім часом використовують формулювання "нові відновлювані джерела енергії", тобто ті, які використовуються із застосуванням нових сучасних технологій. Визначення точних даних щодо виробництва енергії за рахунок використання нових відновлюваних джерел енергії за попередні роки ускладнюється тим, що статистичні дані часто включають разом відновлювані та традиційні енергоресурси. Так, під поняттям "біомаса" часто вводяться дані щодо використання як традиційного палива, в основному деревини, так і палива, отриманого в процесі застосування нових біотехнологій; під поняттям "гідроенергія" – як енергія великих водотоків, так і малих.

Є деякі особливості включення окремих об'єктів у програми стимулювання відновлюваної енергетики в різних країнах. У більшості країн ЄС із таких програм виключаються гідроелектростанції (ГЕС) потужністю понад 10 МВт, у Німеччині підтримку одержують ГЕС потужністю не більше 5 МВт, а в Нідерландах не включаються у національні програми підтримки навіть малі і мікроГЕС. Згідно Закону України № 601-VI, до малих гідроелектростанцій (МГЕС) відносяться електростанції, встановлена потужність яких не перевищує 10 МВт. Існують також відмінності у трактуванні електроенергії, виробленої в

результаті спалювання промислових і побутових відходів – деякі країни, наприклад Німеччина і Греція, виключають її з класифікації відновлюваних джерел, тоді як у Бельгії, Великобританії і Нідерландах упродовж багатьох років вважають важливим відновлюваним енергоресурсом.

Важливою характеристикою енергоресурсів є якість джерела енергії. Зазвичай під якістю джерел енергії, як відновлюваних, так і невідновлюваних, мають на увазі частку енергії джерела, яка може бути перетворена на механічну роботу. Наприклад, електрична енергія має високу якість, оскільки за допомогою електродвигуна більше 95% її можна перетворити на механічну роботу. Якість теплової енергії, що виділяється при спалюванні палива на традиційних ТЕС, або видобутої з гарячих надр Землі, досить низька, оскільки тільки близько 30% теплоти згоряння палива або ентальпії гарячої води і пари з надр Землі перетворюється в кінцевому результаті на механічну роботу. За цією ознакою відновлювані джерела енергії можна розділити на три групи:

1) Відновлювані джерела механічної енергії, основними з яких є гідроенергія, вітрова енергія, енергія хвиль та припливів. В цілому якість цих джерел висока і зазвичай їх використовують для виробництва електроенергії. Коефіцієнт використання вітрової енергії складає до 30%, гідроенергії – 60%, хвильової і припливної енергії – 75%.

2) Теплові відновлювані джерела енергії, основними з яких є пряма енергія Сонця, енергія біопалива. Максимальна частка теплоти таких джерел, яка може бути перетворена на механічну роботу, визначається другим законом термодинаміки. На практиці перетворити на роботу вдається приблизно половину теплоти, що допускається другим законом термодинаміки. Для сучасних парових турбін, наприклад, ця величина не перевищує 35%.

3) Відновлювані джерела енергії на основі фотонних процесів, до яких належать джерела, що використовують фотосинтез і фотоелектричні явища. Добитися високої ефективності перетворення енергії у всьому спектрі сонячного випромінювання дуже важко, і на практиці ККД фотоперетворювачів поки не перевищує 25%.

Розвиток відновлюваної енергетики в різних країнах світу є актуальним завданням незалежно від стану їх промислового розвитку. Так, якщо для промислово нерозвинених країн, не забезпечених власними традиційними енергоресурсами, першочерговою є енергетична безпека, то для промислово розвинених країн, забезпечених власними традиційними енергоресурсами, – екологічна безпека, збереження органічних енергоресурсів для майбутніх поколінь і для неенергетичного використання, а також вихід на світові ринки збуту устаткування відновлюваної енергетики. Країни, що розвиваються, мають можливість поліпшити соціально-побутові умови населення і рівень промислового розвитку за новими екологічно чистими технологіями.

Необхідність використання відновлюваних джерел енергії в економіці розвинених країн зумовлюється не тільки обмеженими запасами викопних палив, але і вимогами до зменшення викидів в атмосферу парникових газів, перш за все, діоксиду вуглецю. Парниковий ефект – екологічна проблема, що

визначається як підвищення температури і вологості атмосфери Землі внаслідок емісії в атмосферу вуглекислого газу і поглинання ним інфрачервоного випромінювання. Розширення споживання енергії відновлюваних джерел з урахуванням того, що використання майже кожного з цих джерел не супроводжується емісією CO₂, дозволить не тільки глобально знизити масштаби викидів CO₂, але й забезпечить у найближчому майбутньому можливість збільшення виробництва енергії, оскільки використання енергії відновлюваних джерел у якості первинних енергоджерел практично не впливає на тепловий баланс планети.

Сонце як основне джерело енергії на Землі. Умови утворення енергії відновлюваних джерел. Залежність енергетичного потенціалу відновлюваних джерел від кліматометеорологічних та географічних особливостей території.

Всі енергетичні ресурси на Землі фактично є продуктами діяльності Сонця. Як традиційна, так і відновлювана енергетика оснований на перетворенні сонячної енергії, яке здійснюється прямими і непрямими методами. Прямі методи використання сонячної енергії оснований на перетворенні сонячного випромінювання в електричну або теплову енергію. Непрямі методи використовують кінетичну або потенційну енергію вітру, річок, морських припливів і хвиль, біомаси або традиційного викопного палива (вугілля, нафти і природного газу).

Виникнення енергії відновлюваних джерел пов'язане з: термоядерними процесами на Сонці (теплова та промениста енергія Сонця, енергія вітру, енергія біомаси, гідроенергія рік та хвиль, теплова енергія оточуючого середовища, в тому числі Землі, повітря, морів та океанів); гравітаційною взаємодією Сонця, Землі та Місяця (гідроенергія припливів). Геотермальну енергію також відносять до відновлюваних видів енергії, хоча в даному випадку теплова енергія виділяється в результаті протікання хімічних реакцій і розпаду радіоактивних елементів, запаси яких мають межу, тобто по своїй суті є невідновлюваним джерелом енергії.

Сонце – специфічний гідродинамічний об'єкт, температура надр якого настільки висока, що забезпечує синтез водню та гелію. Цей синтез вивільняє енергію у вигляді високочастотного електромагнітного випромінювання, яке, перевипромінюючись, поступово доходить від надр Сонця до його поверхні. Випромінювання, яке досягає Землі, виходить із тонкого поверхневого шару Сонця, що називається фотосферою. Потужність випромінювання Сонця надзвичайно велика – $3,8 \cdot 10^{20}$ МВт. Електромагнітне випромінювання фотосфери Сонця поширюється у космічному просторі зі швидкістю світла. Енергія, яку щоденно випромінює Сонце, є джерелом життя на Землі. Вона підтримує у газоподібному стані земну атмосферу, постійно нагріває сушу і водойми, дає енергію вітрам і водотокам, морським течіям і хвилям, забезпечує життєдіяльність тваринного та рослинного світу. Частина сонячної енергії витрачається на створення енергоресурсів у надрах Землі у вигляді кам'яного вугілля, торфу, нафти, природного газу та інших викопних енергоресурсів.

Матеріалом для утворення горючих копалин були залишки рослинності і живих організмів, що в результаті довгострокових процесів без доступу повітря та під дією високої температури і тиску перетворювалися на торф, вугілля та нафту. Таким чином, на протязом мільйонів років проходив процес біохімічного перетворення сонячної енергії. Все це підкреслює роль Сонця як основного первинного джерела енергії на планеті.

Сонце є відповідальним за утворення вітру - атмосфера Землі вбирає сонячну радіацію нерівномірно через неоднорідності її поверхні та різний кут падіння світла в різних широтах в різну пору року. Повітря розширюється та підіймається догори, утворюючи потоки. Там, де повітря нагрівається більше, ці потоки підіймаються вище і зосереджуються у зонах низького тиску, а холодніше повітря підіймається нижче, створюючи зони високого тиску. Різниця атмосферного тиску змушує повітря пересуватися від зони високого тиску до зони низького тиску з пропорційною швидкістю. Цей рух повітря і є тим, що ми називаємо вітром.

Щоб найкраще використати вітрову енергію, важливо досконало розуміти добові та сезонні зміни вітру, зміну швидкості вітру в залежності від висоти над поверхнею землі, кількість поривів вітру за короткі відрізки часу та також статистичні дані хоча б за останні 20 років.

Від загальної кількості енергії сонця 1-2% перетворюється на енергію вітру. Ця кількість в п'ятеро перевищує річну світову енергетичну потребу. Сучасна технологія дозволяє використовувати тільки горизонтальні вітри, що знаходяться близько до поверхні землі та мають швидкість від 12 до 65 км/год.

Відновлювані і традиційні джерела енергії (викопні палива) істотно відрізняються за характерною для них початковою густиною потоків енергії, яка, як правило, не перевищує 1 кВт/м^2 (наприклад, щільність енергії сонячного випромінювання, енергії вітру при швидкості близько 10 м/с); для невідновлюваних джерел енергії її значення на декілька порядків вище. Наприклад, теплове навантаження в трубах парових котлів складає приблизно 200 кВт/м^2 і вище, а в теплообмінниках ядерних реакторів – декілька мегават на 1 м^2 . Тому є істотні відмінності при експлуатації енергоустановок на невідновлюваних і відновлюваних джерелах – традиційні енергоустановки ефективні при великій одиничній потужності установки, проте розподіл енергії серед споживачів вимагає високих витрат, а енергоустановки на основі відновлюваних джерел енергії ефективніші при малій одиничній потужності, але для підвищення потужності при об'єднанні таких установок у єдину енергосистему необхідні великі затрати.

Відновлювані джерела енергії мають принципові відмінності, тому їх ефективне використання є можливим на основі науково розроблених принципів перетворення енергії ВДЕ у види, потрібні споживачам. В оточуючому середовищі завжди існують потоки відновлюваної енергії, тому в процесі розвитку відновлюваної енергетики необхідно орієнтуватися на місцеві енергоресурси, вибираючи найбільш ефективні з них. Важливим заходом ефективного використання ВДЕ є комплексний підхід у плануванні енергетики на основі відновлюваних енергоресурсів. Відновлювані джерела енергії є невід'ємною

частиною навколишнього середовища, тому як їх вивчення, так і використання не може обмежуватися рамками однієї наукової дисципліни або завдання. Часто дослідження охоплюють область від промислової біотехнології до електроніки і процесів управління. Використання ВДЕ повинне бути багатоваріантним і комплексним, що дозволить прискорити економічний розвиток регіонів. Наприклад, хорошою базою для використання ВДЕ можуть слугувати агропромислові комплекси, де відходи тваринництва і рослинництва є сировиною для отримання біогазу, а також рідкого і твердого палива, виробництва добрив.

Для ефективного планування енергетики на відновлюваних енергоресурсах необхідно проводити: по-перше, систематичне дослідження навколишнього середовища, аналогічне дослідженням геологічного характеру при пошуках нафти або газу; по-друге, вивчення потреб конкретного регіону в енергії для промислового, сільськогосподарського виробництва і побутових потреб. Зокрема, щоб вибрати найбільш економічне джерело енергії, необхідно знати структуру споживачів енергії.

Ефективно використовувати відновлювані джерела енергії можна тільки на основі науково розроблених принципів використання цієї енергії. Дуже важливо засвоїти, що відновлювана енергетика повинна орієнтуватися в першу чергу на вже існуючі енергоресурси, а не ставити собі за мету створення нових. При розробці проектів щодо використання енергії відновлюваних джерел необхідно виходити з наявності енергоресурсів ВДЕ у відповідній місцевості. Звідси витікає, що перш ніж розвивати енергетику на відновлюваних джерелах, необхідно точно визначити їх енергетичний потенціал. Це вимагає регулярних і тривалих спостережень та аналізу параметрів цих джерел. Необхідно спочатку оцінити весь потік енергії, а вже потім визначати ту його частину, яка може бути використана в енергоустановках.

Використання відновлюваних енергоресурсів, як показала практика, значним чином прискорює економічний розвиток сільських районів, і взагалі відновлювана енергетика через свою специфіку більше відповідає сільському устрою життя, а не міському.

Наглядним прикладом комплексного планування є деякі агропромислові підприємства. Відходи тваринництва і рослинництва можуть служити сировиною для виробництва метану, а також рідкого і твердого палива, а все в цілому – для виробництва добрив і вискоєфективного сільського господарювання; вітрові агрегати – для підйому води та виробництва електроенергії; сонячні теплові установки – для гарячого водопостачання та опалення, фотоперетворювачі – для живлення електроприладів. Малі гідроелектростанції можуть слугувати основним джерелом електропостачання селищ та агропромислових підприємств.

Жодне джерело відновлюваної енергії не є універсальним і придатним для використання в будь-якій ситуації. Це завжди визначається конкретними природними умовами і потребами суспільства, тобто конкретною ситуацією. Тому для ефективного планування енергетики на відновлюваних ресурсах необхідні, по-перше, систематичні дослідження оточуючого середовища аналогічні геологічним дослідженням при пошуку нафти, по-друге, вивчення

потреб конкретного регіону в енергії для промислового, сільськогосподарського виробництва і для побутових потреб. Зокрема, необхідно знати структуру споживачів енергії, щоб вибрати найбільш економічне джерело енергії. В цьому відношенні енергетика на відновлюваних ресурсах подібна сільськогосподарському виробництву, в якому рентабельність обробітку тієї чи іншої культури залежить від якості ґрунту, природних умов і ринкового попиту на неї. Звідси витікає такий висновок: неможливо запропонувати простий і універсальний метод планування енергетики на відновлюваних джерелах ні в міжнародному масштабі, ні в рамках однієї країни. Наприклад, сонячні енергетичні установки на півдні Італії повинні бути зовсім не такими, як у Бельгії і навіть на півночі Італії. Використовувати як паливо спирт, що одержується із зерна, прийнятно в штаті Міссурі, але не в Новій Англії і т.д. Характерний розмір району, в рамках якого розумно планувати енергетику на відновлюваних джерелах, – близько 250 км, але ні в якому випадку не 2500 км. На жаль, сучасне урбанізоване та індустріалізоване суспільство не дуже добре пристосоване до такого багатоваріантного використання відновлюваної енергії.

В основу рішення про використання відновлюваних джерел енергії зазвичай покладено результати багаторічних спостережень (моніторингу) за станом навколишнього середовища в даному районі. При цьому дуже важливо, щоб одержувана в процесі моніторингу інформація включала всі параметри, необхідні для розробки конкретної енергетичної системи. Частково таку інформацію містять результати метеорологічних спостережень, але, на жаль, розташування метеостанцій дуже часто не співпадає з місцем передбачуваного розміщення енергоустановок і методи реєстрації та аналізу метеоданих не є повністю відповідними для виконання розрахунків. Проте дані метеостанцій можуть служити базою для проведення порівняльного аналізу з результатами цільового моніторингу. Так, наприклад, порівнюючи результати вимірювання швидкості вітру протягом декількох місяців у місці передбачуваного розміщення вітроустановки з даними найближчої метеостанції, можна, спираючись на метеодані за тривалий період, екстраполювати і результати моніторингу швидкості вітру.

Значно складніше проводити оцінку відновлюваних джерел енергії, в основу якої не можуть бути покладені стандартні метеодані. В цьому випадку необхідні спеціальні методи вимірювань і відповідні прилади, що вимагає значних людських і матеріальних ресурсів. Однак, спираючись тільки на дані метеорології, сільськогосподарських наук і науки про море, можна навіть у цьому випадку одержати значну частину необхідної інформації.

Виробництву енергії завжди повинне передувати всебічне вивчення потреби в ній. Оскільки виробництво енергії завжди є недешевим і при використанні традиційних технологій пов'язане з небажаною дією на навколишнє середовище, дуже важливо витратити її ефективно і економічно.

В електромережах споживач енергії називається навантаженням, і від його характеристик багато в чому залежить вибір використовуваного джерела електроенергії. Вкладаючи засоби в розвиток енергетики, слід пам'ятати, що підвищувати ефективність і економічність споживачів, як правило, вигідніше,

ніж збільшувати виробництво енергії.

Більше всього енергії витрачається на транспорті і для виробництва тепла. Ці споживачі володіють, як правило, різними накопичувачами (акумуляторами) енергії, тому включення їх в енергетичну систему може істотно підвищити її ефективність.

Відновлювана енергетика використовує потоки енергії, що вже існують у навколишньому просторі. Через це теплове забруднення навколишнього середовища, обумовлене скиданням туди якоїсь частини перетвореної енергії, досить незначне. З цієї ж причини незначні й інші види забруднення повітря і води, а також об'єми відходів. В екологічному відношенні енергія відновлюваних джерел має перевагу перед звичайним паливом або атомною енергією.

З екологічної сторони основним недоліком енергоустановок на відновлюваних джерелах є порушення ними природного ландшафту. Це є неминучим для установок, робота яких основана на використанні потоків енергії, що циркулюють у навколишньому просторі, тобто коли навколишнє середовище є необхідним елементом процесу перетворення енергії. У найбільшій мірі цей недолік виявляється при експлуатації потужних установок. Наприклад, могутні гідроелектричні споруджуються там, де легше утворити водосховище, тобто в живописній гірській або горбистій місцевості, і ця унікальна краса, природно, порушується. Ще важчими можуть бути наслідки при спорудженні водосховищ на рівнинних річках за допомогою гребель. Це може привести до ерозії ґрунту, погіршення його якості і в результаті – до порушення нормального землеробства. Таких наслідків, звичайно, треба всіляко уникати, а для цього не слід, напевно, прагнути до спорудження дуже потужних енергетичних установок на відновлюваних джерелах енергії.

Енергетичні ресурси відновлюваної енергетики світу та України

Однією з найважливіших характеристик відновлюваних джерел енергії є їх енергетичний потенціал – показник, що визначає кількість енергії, властиву відповідному виду ВДЕ. Для оцінки можливих об'ємів використання енергетичних ресурсів відновлюваних джерел енергетичний потенціал у вітчизняній класифікації розділяють таким чином:

- теоретичний або теоретично-можливий потенціал відновлюваних джерел енергії – загальна кількість енергії, якою характеризується кожне із джерел відновлюваної енергії;
- технічний або технічно-досяжний потенціал відновлюваних джерел енергії – частина енергії загального потенціалу, яку можна реалізувати за допомогою сучасних технічних пристроїв;
- доцільно-економічний потенціал відновлюваних джерел енергії – частина енергії загального потенціалу, яку доцільно використовувати, враховуючи економічні, соціальні, техніко-технологічні й політичні чинники.

Кількісні показники енергетичних ресурсів відновлюваних джерел планети показані в таблиці 6.1.

Теоретично-можливий річний потенціал відновлюваних енергоресурсів планети перевищує потенційні запаси органічного і ядерного палива в 15 разів і майже у 80 разів перевищує розвідані запаси традиційних енергоресурсів. Доцільно-економічний потенціал відновлюваних енергоресурсів планети приблизно в 2 рази перевищує об'єм річного видобутку всіх видів органічного палива.

Таблиця 6.1. Енергетичний потенціал відновлюваних енергоресурсів планети

Відновлювані енергоресурси	Енергетичний потенціал відновлюваних енергоресурсів, млрд т у.п./рік		
	Теоретично-можливий	Технічно-досяжний	Доцільно-економічний
Променева енергія Сонця	86000	5	1
Теплова енергія морів і океанів	7500	1	0,1
Енергія вітру	860	5	1
Гідроенергія, зокрема:	6,065	3	1,52
<i>Енергія водотоків</i>	<i>3</i>	<i>2,91</i>	<i>1,5</i>
<i>Енергія хвиль</i>	<i>3</i>	<i>0,05</i>	<i>0,01</i>
<i>Енергія припливів</i>	<i>0,065</i>	<i>0,04</i>	<i>0,01</i>
Енергія біомаси, зокрема:	40	2,55	2,0
<i>лісів</i>	<i>15</i>	<i>1,5</i>	<i>1,5</i>
<i>рослин</i>	<i>10</i>	<i>1,0</i>	<i>0,5</i>
<i>водоростей</i>	<i>15</i>	<i>0,05</i>	<i>0</i>
Геотермальна енергія	16	0,4	0,2
Всього	94422,065	16,95	5,82

Інформація щодо розподілу енергетичних ресурсів відновлюваних джерел енергії у ряді країн, у тому числі в Україні, видається у вигляді довідників, класифікаторів і атласів, які являють собою візуалізовані елементи інформаційних систем. Розширення інформаційної бази на основі сучасних технічних засобів сприяє розповсюдженню інформації про можливості освоєння енергії відновлюваних джерел у конкретних місцевостях, що підвищує рівень проектних розробок за рахунок раціонального вибору і комплектації устаткування на основі відновлюваних джерел, а також їх комплексного використання, у тому числі із традиційними енергосистемами.

Першочерговим завданням для успішної реалізації завдань України щодо широкомасштабного використання енергії відновлюваних джерел є встановлення енергетичного потенціалу кожного з видів ВДЕ на всій території України, для чого створюється єдина інформаційно-аналітична система з розширеними функціями, що дозволяє оперативно вирішувати питання ефективності впровадження енергетичного обладнання в конкретній місцевості.

В Інституті відновлюваної енергетики НАН України створено атлас енергетичного потенціалу відновлюваних та нетрадиційних джерел енергії України, що являє собою збірник картографічних та пояснювальних матеріалів, систематизований за основними напрямками впровадження ВДЕ. Пояснювальні матеріали складаються із таблиць, в яких представлено енергетичні показники потенціалу ВДЕ, та текстової частини.

Використання створеної на даний час інформаційно-аналітичної системи оцінки енергетичного потенціалу відновлюваних джерел енергії України дозволяє проводити щорічне відстеження та уточнення кількісних параметрів енергетичного потенціалу відновлюваних джерел енергії на всій території України, отримуючи результати у вигляді картографічної інформації з візуалізацією результатів у вигляді картографічної та атрибутивної бази даних. Відстеження і аналіз поточної та багаторічної інформації має за мету також видачу рекомендацій для застосування як уже освоєних, так і нових відновлюваних джерел енергії на всій території України.

Енергоресурси відновлюваних джерел енергії є практично на всій території України. До основних складових відновлюваної енергетики України відносяться вітроенергетика, сонячна енергетика, мала гідроенергетика, біоенергетика, геотермальна енергетика і енергетика доквілля. Загальний річний технічно-досяжний енергетичний потенціал відновлюваних джерел енергії України в перерахунку на умовне паливо становить біля 98 млн т у.п. (табл. 6.2), що становить більше 50% загального енергоспоживання в Україні на даний час і 30% від енергоспоживання в 2030 році.

Таблиця 6.2. Потенціал енергії відновлюваних джерел в Україні

№ з/п	Напрями освоєння ВДЕ	Річний технічно-досяжний енергетичний потенціал	
		млрд кВт·год/рік	млн т у.п/рік
1.	Вітроенергетика	79,8	28,0
2.	Сонячна енергетика	38,2	6,0
3.	Мала гідроенергетика	8,6	3,0
4.	Біоенергетика	178	31,0
5.	Геотермальна теплова енергетика	97,6	12,0
6.	Енергетика доквілля	146,3	18,0
Загальні обсяги заміщення традиційних ПЕР за рахунок ВДЕ		548,5	98,0

Розподіл технічно-досяжного енергетичного потенціалу енергії відновлюваних джерел по областях України надано – у таблиці 6.3 та на рис. 6.2.

Таблиця 6.3. Розподіл технічно-досяжного енергетичного потенціалу відновлюваних джерел в перерахунок на умовне паливо (млн т у.п.) та обсяги заміщення ПЕР в областях України

№ з/п	Області	Енергія сонця	Енергія вітру	Мала гідроенергетика	Геотермальна енергія	Енергія біомаси	Енергія доквілля	Всього по областях	Споживання орг. палива	% заміщення орг. палива за рахунок ВДЕ
1.	АР Крим	0,38	4,7	0,05	1,11	0,99	0,93	8,16	4,23	192,9
2.	Вінницька	0,25	0,26	0,09	0,31	1,57	0,22	2,7	7,79	34,7
3.	Волинська	0,18	0,2	0,03	0,24	1,11	0,29	2,05	3,07	66,8
4.	Дніпропетровська	0,32	0,7	0,02	0,38	1,88	2,25	5,55	27,04	20,5
5.	Донецька	0,27	2,27	0,05	0,32	1,39	2,79	7,09	33,83	21,0
6.	Житомирська	0,26	0,3	0,08	0,36	1,19	0,29	2,48	2,46	100,8
7.	Закарпатська	0,14	0,3	1,11	0,85	0,71	0,16	3,27	1,29	253,5
8.	Запорізька	0,28	4,1	0,01	0,36	1,84	1,04	7,63	14,58	52,3
9.	Івано-Франківська	0,13	0,27	0,1	0,18	0,77	0,29	1,74	6,93	25,1
10.	Київська	0,26	0,28	0,05	0,35	1,37	2,23	4,54	16,47	27,6
11.	Кіровоградська	0,23	0,5	0,04	0,29	1,6	0,47	3,13	2,87	109,1
12.	Луганська	0,27	0,85	0,11	0,32	0,97	1,24	3,76	10,64	35,3
13.	Львівська	0,22	1,27	0,44	0,79	1,03	0,52	4,27	8,64	49,4
14.	Миколаївська	0,26	4,6	0,04	0,29	1,5	0,35	7,04	5,26	133,8
15.	Одеська	0,37	0,7	0,01	0,41	1,7	0,66	3,85	7,08	54,4
16.	Полтавська	0,26	0,4	0,1	0,88	1,54	0,63	3,81	10,52	36,2
17.	Рівненська	0,17	0,2	0,07	0,74	0,93	0,17	2,28	2,29	99,6
18.	Сумська	0,22	0,2	0,07	0,86	0,96	0,2	2,51	5,24	47,9
19.	Тернопільська	0,15	0,14	0,1	0,17	0,93	0,15	1,64	2,57	63,8
20.	Харківська	0,29	0,7	0,07	0,9	1,31	1,53	4,8	15,34	31,3
21.	Херсонська	0,31	4,4	0,01	0,87	1,25	0,24	7,08	3,47	204,0
22.	Хмельницька	0,2	0,2	0,07	0,25	1,11	0,29	2,12	2,58	82,2
23.	Черкаська	0,21	0,2	0,08	0,25	1,37	0,4	2,51	4,87	51,5
24.	Чернівецька	0,09	0,3	0,22	0,07	0,72	0,33	1,73	1,38	125,4
25.	Чернігівська	0,28	0,3	0,04	0,47	1,26	0,33	2,68	3,67	73,0
Всього		6,00	28,34	3,06	12,00	31,00	18,00	98,42	204,11	48,2

Загальне споживання органічного палива в Україні в 2009 році становило 162 млн т у.п.

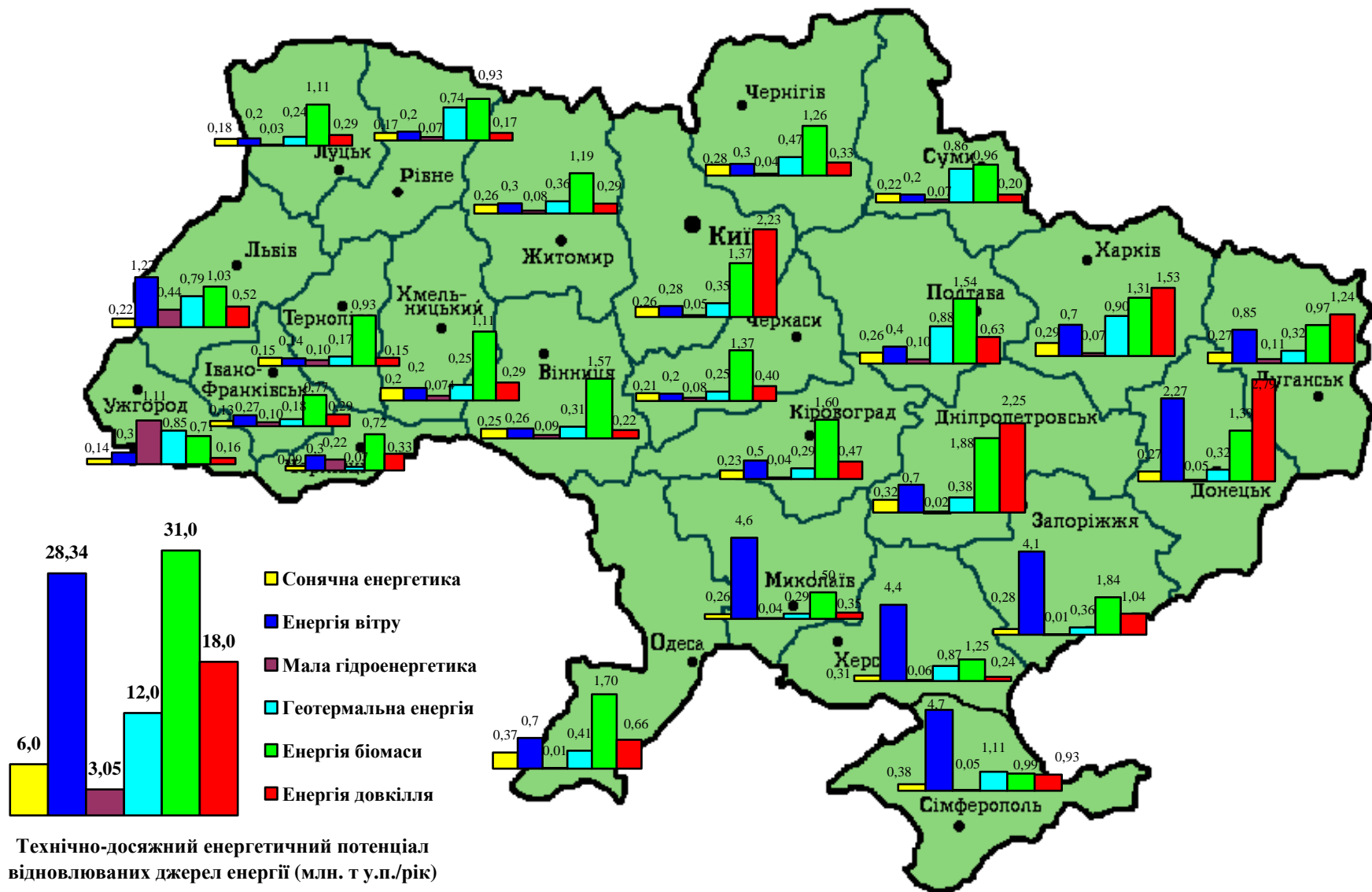


Рисунок 6.2. Сумарний річний технічно-досяжний енергетичний потенціал відновлюваних джерел енергії України

Лекція 7

Основні характеристики та питомі енергетичні показники енергії вітру

Напрями, стан та перспективи освоєння вітрової енергії. Розподіл енергетичного потенціалу на Землі та в Україні. Залежність енергетичного потенціалу вітру від кліматометеорологічних та географічних особливостей територій. Методи вимірювання швидкості вітру. Залежність виробітку електроенергії від швидкості вітру.

Вітроенергетика — галузь відновлюваної енергетики, яка спеціалізується на використанні кінетичної енергії вітру. Енергія вітру є непрямую формою сонячної енергії, і тому належить до відновлюваних джерел енергії.

Існує чимало переваг розвитку вітроенергетики, включаючи екологічні, економічні та практичні.

Напрями, стан та перспективи освоєння вітрової енергії

Енергію вітру людина використовувала з давніх часів – спочатку в судноплаванні, а потім для заміни своєї мускульної сили. Перші прості вітродвигуни застосовували за глибокої давнини в Єгипті і Китаї. У Єгипті (біля м.Александрії) збереглися залишки кам'яних вітряних млинів барабанного типу, побудованих ще в 2-1 ст. до н.е. В 7 ст. н.е. перси будували вітряні млини вже більш довершеної конструкції – крильчаті. Деяко пізніше, приблизно в 8-9 ст., вітряні млини з'явилися на Русі і в Європі. Починаючи з 13 ст., вітродвигуни отримали широке розповсюдження в Західній Європі, особливо в Голландії, Данії і Англії, для підйому води, помолу зерна і приведення в рух різних верстатів.

Максимальне поширення вітряних млинів спостерігалось у 1700-ті роки на рівнинах Голландії, Німеччини, Італії, Іспанії, України, Росії. У 30-х роках 18 ст. у Голландії працювало 1200 вітроустановок, які захищали 2/3 території країни від заболочування ґрунтів. До кінця 19 ст. у Голландії нараховувалось більше 10 тисяч вітроустановок, а в маленькій Данії – 30 тисяч для побутових потреб і 3 тисячі вітродвигунів, що використовувались у промисловості.

Україна має багатотисячолітні традиції використання енергії вітру. Вітродвигуни для перекачування води та помолу зерна мали масове поширення на всій її території – до 1917 року їх загальна потужність становила близько 1400 МВт. Для порівняння – потужність Хмельницької атомної станції становить 2000 МВт, а сумарна встановлена потужність сучасних вітроелектричних станцій у країнах Європейського Союзу в 1994 році дорівнювала 1510 МВт.

З винаходом парових машин, а потім двигунів внутрішнього згорання і електричних двигунів старі примітивні вітряні двигуни і млини були витіснені з багатьох галузей, залишившись в основному в сільському господарстві.

Будівництво вітряків у давні часи було засноване на багаторічному досвіді. Формування промисловості у 18 ст. стало значним імпульсом для розвитку науки і сприяло появі наукового підходу до вирішення проблеми використання енергії вітру. Наприкінці 19 ст. почалися активні розробки щодо використання енергії вітру для генерування електричної енергії; в цьому

напрямку в різних країнах проводились наукові теоретичні та експериментальні роботи.

Першу вітрову установку для виробництва електричної енергії створив в 1888 році основоположник вітроенергетики американський інженер Ч. Браш.

Установка Браша стала важливим етапом в історії розвитку вітроенергетики. По-перше, вона була досить великою. По-друге, в ній була використана підвищувальна двоступінчаста ремінна трансмісія з передаточним числом 50:1, при цьому генератор обертався зі швидкістю 500 об/хв.

Це була перша спроба поєднати добре розвинену систему вітряного млина з новою електричною технологією. У той же час установка показала, що багатолопатеві вітротурбіни занадто повільні й малоефективні для електрогенерування. Наступний крок переходу від вітряних млинів до вітроенергетичних установок зробив Пол Лакур у Данії на початку минулого століття. Він був першим, хто створив аеродинамічну трубу й застосував аеродинамічний профіль у своїх вітроустановках. До 1910 року близько сотні таких вітроустановок потужністю від 5 до 25 кВт працювали в сільській місцевості Данії.

На початку 20 ст. російський учений Н.Є. Жуковський розробив теорію швидкохідного вітродвигуна і заклав наукові основи створення високопродуктивних вітродвигунів, здатних більш ефективно використовувати енергію вітру. Вони були побудовані його учнями після організації в 1918 р. Центрального аерогідродинамічного інституту (ЦАГІ).

Упродовж наступних восьмидесяти років вітроелектроенергетика носила в основному експериментальний характер. Вчені та інженери теоретично обґрунтували принципово нові схеми і створили вітроенергетичні установки (ВЕУ) і вітроелектричні станції (ВЕС) різних типів потужністю до 100 кВт для механізації і електрифікації процесів сільськогосподарського виробництва та для інших цілей. Промисловий випуск вітродвигунів для механічного приводу машин був налагоджений на початку 20 ст., а електричних вітроагрегатів з генераторами невеликої потужності – приблизно в 20-х роках. У 40-50-х роках почалося будівництво ВЕС.

В 1925 році був створений новий вид ротора – ротор Савоніуса, названий на честь його творця фінського інженера С. Савоніуса. Перевагами такого типу роторів є високий стартовий момент і здатність сприймати вітер з будь-якої сторони, а недоліками – низька швидкохідність і коефіцієнт використання енергії вітру, а також значна маса конструкції. Іншим новим типом вітротурбіни, що з'явився в 30-х роках минулого сторіччя, була вертикальна вітротурбіна, запропонована Ф. Дар'є. Ротор Дар'є має дві або три вигнуті лопаті, закріплені зверху й знизу центральної колони, і може сприймати вітер з усіх боків. Даний тип вітротурбіни практично не використовувався до початку 1970-х років, коли в Канаді, а потім і в інших країнах почалися дослідження великих вітроагрегатів з таким ротором.

У Радянському Союзі було налагоджено серійне виробництво спеціалізованих і універсальних вітродвигунів потужністю від 0,7 до 11 кВт (від 1 до 15 к.с.), головним чином із механічними та електричними

трансмiсiями. У пiслявоєнний перiод було випущено бiльше 40 тисяч вiтродвигунiв, в основному типу ТБ-8, ТБ-5, Д-12, ВЕ-2, якi з високою ефективною застосовувалися в колгоспах i радгоспах. До кiнця 60-х рокiв 20 ст. були створенi новi типи бiльш довершених унiфікованих швидкохiдних вiтроенергетичних агрегатiв (ВБЛ-3, ВПЛ-4, "Беркут", "Вiтерець" та iн.), в яких використовувалися новi типи насосiв i генераторiв, пневматичнi, електричнi та iншi види приводiв, модернiзованi системи регулювання. Бiльшiсть вiтродвигунiв застосовувалась для механiзацiї пiдйому води, особливо на пасовищах i вiддалених фермах у зонах, де вони працювали 250-300 днiв на рiк.

Розробка теоретичних основ i створення нових конструкцiй вiтроенергетичних агрегатiв рiзного призначення проводилися у Радянському Союзi (Всесоюзний НДI електрифiкацiї сiльського господарства, Всесоюзний НДI електромеханiки, ЦАГI та iн.), ФРН (Штутгартська школа вiтроенергетикiв), США, Великобританiї, Францiї, Данiї та iнших краiнах.

Значним є внесок українських вчених у розвиток вiтроенергетики; в Україні було розроблено принципово новi технiчнi рiшення, що стали стандартом для сучасних ВЕУ i за якими дотепер зберiгається український прiоритет. Одним iз видатних українських вчених у галузi аерогiдродинамiки й теорiї авiацiї був Г.Ф. Проскура, який, розвиваючи iдеї свого вчителя Н.Є. Жуковського, у 1922 році в статтi "Теорiя пропелерних турбiн" вперше у свiтi дав основи теорiї турбiн цього типу й способи iхнього розрахунку. Пiд його керiвництвом у 1922 році на базi Харкiвського технологiчного iнституту була вiдкрита аеродинамiчна лабораторiя, що поклала початок широкомасштабним науково-дослiдним роботам у галузi аеродинамiки й авiацiї.

У Харковi iснували двi групи вчених, що займалися створенням ВЕУ. Перша група ентузiастiв вiтроенергетики працювала пiд керiвництвом Г.Ф. Проскури, що в 1923 році зацiкавився проблемою використання енергiї вiтру. Був створений проект дослiдної вiтросилової станцiї Харкiвського технологiчного iнституту (дiаметр колеса 10 м, висота осi вiд рiвня землi 45 м). Вона була змонтована в iнженерно-механiчному корпусi в 1926 році. В 1933 році пiд керiвництвом Г.Ф. Проскури iнженер Д.Я. Алексапольський спроектував вiтросилову станцiю потужностю 4500 кВт (дiаметр колеса 80 м, висота вежi 150 м). Конфiгурацiя цiєї ВЕУ вiдповiдала європейськiй (данськiй та голландськiй) концепцiї того перiоду.

Видатний вчений полтавчанин Ю.В. Кондратюк (О.Шаргей) в 30-i роки 20-го столiття розробив один з найцiкавiших i перспективнiших проектiв ВЕС, проектна потужнiсть якої складала 12 МВт, що майже удвiчi вище за потужнiсть першої в краiнi експериментальної атомної електростанцiї.

Розробки Н.Є. Жуковського, Г.Ф. Проскури, Г.Х. Сабiнiна, Ю.В. Кондратюка та iнших вчених стали фундаментом сучасної теорiї та методiв розрахунку вiтротурбiн, а деякi iдеї Ю.В. Кондратюка були реалiзованi в сучасних ВЕУ.

В рядi краiн науково-дослiднi роботи в галузi вiтроенергетики посилено розвивалися з кiнця 1940-х до початку 1960-х рокiв. Однак на той час цiни на викопне паливо помiтно знизилися, i з погляду вартостi електроенергiї

вітроелектричні установки вже не могли конкурувати з тепловими електростанціями. У цей період комерційна вітроенергетика практично не розвивалася. На початку 1970-х років почався новий період розвитку вітроенергетики, обумовлений насамперед енергетичною кризою. У цей період уряди багатьох країн розгорнули широкомасштабні програми зі створення ВЕУ, згідно яких розробка технологій, конструкторські роботи й експериментальні дослідження повинні були проводитися в постійній взаємодії. Дослідження були розділені на два напрямки – ВЕУ з горизонтальною віссю та ВЕУ з вертикальною віссю обертання.

Вітроенергетика в сучасному розумінні – це сукупність засобів перетворення енергії вітру в електричну енергію. Промислова вітроенергетика почала свій розвиток у середині 60-х років ХХ століття. У західних країнах було розроблено і реалізовано механізми державної підтримки вітроенергетики як найбільш могутньої підгалузі відновлюваної енергетики – спеціальні тарифи, преференції при під'єднанні до електромережі та при закупівлі екологічно чистої електроенергії і тому подібне. За останні 10 років керівними органами ЄС прийнято ряд вагомих документів для істотного стимулювання виробництва електроенергії в галузі вітроенергетики. Все це стимулювало фінансування і активізацію роботи компаній, що конструюють і впроваджують вітрові електроустановки.

На сьогодні прогрес світової вітроенергетики є феноменальним – кожні три роки сумарна встановлена потужність вітрових електростанцій подвоюється. Внаслідок науково-технічного прогресу у вітроенергетиці, направлено на підвищення номінальної потужності ВЕУ, в кінці ХХ століття собівартість електроенергії ВЕС стала істотно нижчою від собівартості електроенергії АЕС (визначеної з урахуванням витрат на дезактивацію відходів і ліквідацію АЕС) і сумірною із собівартістю електроенергії ТЕС. Компанія RePower вже почала виробництво ВЕУ потужністю 5 МВт, а компанія Enercon – потужністю 7,5 МВт.

Ряд країн Європи поставили завдання довести частку електроенергії ВЕС у загальному споживанні електроенергії до 20%. На сьогодні Данія вже досягла цього рівня, а Німеччина та Іспанія наближаються до 10%.

Зниження собівартості електроенергії ВЕС стало наслідком науково-технічного прогресу у вітроенергетиці, направлено на підвищення номінальної потужності ВЕУ.

У всьому світі за 2009 рік ВЕУ було вироблено 340 млрд кВт·год електричної енергії, що складає 2% від глобального попиту на електроенергію.

Починаючи з 2000 року, встановлена потужність світової вітроенергетики зростає більш ніж у 9 разів і досягла на кінець 2010 року 196630 МВт у порівнянні з 17400 МВт у 2000 році. У 2010 році було введено в дію 36864 МВт вітроенергетичних потужностей. Третя частина зазначеного зростання у 2010 році належить Китаю, який у цьому році подвоїв свою вітроенергетичну потужність.

За даними на кінець 2010 року, у Європі сконцентровано 43,7% встановлених потужностей, в Азії – 31,1%, у Північній Америці – 22,5%. На

кінець 2010 року у світовій індустрії вітроенергетики зайнято близько 670 тис. працівників. За прогнозами Всесвітньої асоціації вітроенергетики, потужність світової вітроенергетики може збільшитися до 600000 МВт до 2015 р. і до 1500000 МВт до 2030 р.

За рахунок використання вітрової енергії на кінець 2010 р. в Данії вироблялося 21% електроенергії, в Португалії – 18%, Іспанії – 16%, в Німеччині – близько 10%. США до 2030 р. запланували довести частку електроенергії ВЕС приблизно до 20%.

Донедавна вважалося, що вітроенергетику доцільно розвивати в країнах із могутньою економікою. Але тепер, коли вітроенергетика дозволяє забезпечити виробництво електроенергії за цінами, зіставними з цінами традиційної енергетики, істотно змінилося відношення до цієї галузі. Зараз ВЕС активно будуються в промисловому масштабі не тільки в передових країнах Європи і Америки, але і в країнах, що розвиваються (Індія, Китай, Португалія, Греція, Єгипет, Коста-Ріка, Бразилія, Латвія). Таке будівництво ведеться там, де є суттєва залежність від імпорту енергоносіїв, що характерно і для України.

За класифікацією Всесвітньої вітроенергетичної асоціації, на кінець 2010 р. за рівнем розвитку вітроенергетики Україна займає 40 місце серед 82 країн, випереджаючи Люксембург, Латвію, Росію та інші країни. В Україні у 2009 році було вироблено 41,2 млн кВт·год електричної енергії. Найкращі експлуатаційні показники має Прісноводненська ВЕС (Східний Крим), яка в режимі номінального навантаження має показник середньої кількості годин роботи на рік ВЕУ близько 1180 годин.

Фактично розвиток промислової вітроенергетики в Україні почався в 1994 році з ухвалення практичних рішень щодо серійного виробництва вітроелектричних установок на українських заводах і будівництва вітроелектричних станцій на їх основі. У 1997 р. ухвалою Кабінету Міністрів України №137 була прийнята державна "Комплексна програма будівництва ВЕС в Україні" і розпочато її виконання. Основна мета даної програми – розвиток вітчизняного вітроелектричного машинобудування. На підставі рішення, згідно якого в Україні організовується виробництво високотехнологічних ВЕУ за ліцензіями іноземних компаній, було освоєно серійне виробництво ВЕУ моделі USW56-100 потужністю 107,5 кВт, за ліцензією відомого на той час американського виробника вітроелектричного устаткування компанії "Kenetech WindPower", яке повністю проводилося на 23 промислових підприємствах України. На даний момент виготовлено 740 ВЕУ даної моделі, з яких впроваджено до експлуатації в Україні 770 ВЕУ.

Набутий досвід будівництва і експлуатації ВЕС надав упевненості у можливостях і необхідності розвитку промислової вітроенергетики в Україні. Встановлена потужність ВЕС на кінець 2010 року складала близько 90 МВт.

Сьогодні в Україні налагоджене серійне виробництво ВЕУ Т600-48 потужністю 600 кВт за ліцензією бельгійської компанії Turbowinds.

Зараз на дніпропетровському "ВО Південний машинобудівний завод ім. О.М. Макарова" організовано складальне виробництво ВЕУ Т600-48, а також

виготовлення башт і лопатей. На київському заводі "Електронмаш" організовано виробництво електронних компонентів цієї моделі ВЕУ.

Тенденцією сучасного ринку промислової вітроенергетики є швидке зростання обсягів впровадження моделей ВЕУ потужністю 2,0 МВт і вище, які поступово витісняють клас машин 1,5 МВт. Компанія Nordex недавно повідомила, що більше 70% отриманих нею замовлень – це ВЕУ потужністю 2,3 і 2,5 МВт. Показник номінальної потужності ВЕУ в межах 2,0-3,0 МВт є найпоширенішим у світі за останні роки.

Будівництво ВЕС в Україні виконувалося згідно завдань Комплексної програми будівництва вітрових електростанцій, в період з 1997 по 2010 р.

Завдання *малої вітроенергетики* полягає у забезпеченні надійного функціонування автономних і локальних вітроенергетичних систем, практика використання яких передбачає необхідність забезпечення певної кількості годин роботи виробничих механізмів споживачів, тоді як робота об'єктів великої вітроенергетики направлена на досягнення максимального вироблення енергії, що подається в загальну мережу.

Доступність енергії вітру, його повсюдність викликає значну зацікавленість у малій вітроенергетиці. В той же час, ухвалення рішення про застосування тієї або іншої вітроенергетичної системи неможливе без енергетичної оцінки вітроенергетичного потенціалу. На сьогодні в Україні розроблена і функціонує державна програма будівництва і експлуатації вітроелектричних станцій, розробляється нормативна і законодавча база для їх функціонування. В той же час, малі вітроустановки проектуються і виготовляються окремими невеликими колективами, які не в змозі довести їх до серійного виробництва. На даний час в Україні серійно випускаються вітроелектроустановки потужністю 0,8 кВт, а попит змінюється в бік установок потужністю 3-10 кВт.

В Україні є істотні передумови для розвитку вітроенергетики, а саме: великі площі для будівництва ВЕС, вільні від промислової і житлової забудови, від інтенсивного використання в землеробстві; великі потужності на машинобудівних заводах, здатних виготовляти вискоєфективні сучасні моделі ВЕУ для внутрішніх потреб України і на експорт; кваліфіковані кадри на машинобудівних заводах, які мають досвід виробництва ВЕУ і адаптації технологічної документації до українських конструкторських і технологічних стандартів; дані багаторічних спостережень характеристик вітрового режиму в районах перспективного будівництва ВЕС; кваліфіковані кадри у галузі будівництва, налагодження і експлуатації ВЕС. Розроблений НАН України спільно з НКАУ проект "Доповнення до Енергетичної стратегії України на період до 2030 р. в частині розвитку вітроенергетики" передбачає до 2030 р. побудувати в Україні ВЕС загальною потужністю 16000 МВт.

Залежність енергетичного потенціалу вітру від кліматометеорологічних та географічних особливостей території

Клімат – багаторічний режим погоди, який базується на багаторічних метеорологічних спостереженнях, і є однією із основних географічних

характеристик тої чи іншої місцевості. Основні особливості клімату обумовлюють атмосферний тиск, швидкість і напрям вітру, температуру і вологість повітря, хмарність і атмосферні опади, тривалість сонячної радіації, дальність видимості, температуру верхніх шарів ґрунту і водоймищ, випаровування води із земної поверхні в атмосферу, висота і стан сніжного покриву, різні атмосферні явища і наземні гідрометеори (роса, ожеледь, туман, грози, завірюхи тощо). У ХХ ст. у число кліматичних показників увійшли характеристики елементів теплового балансу земної поверхні — сумарна сонячна радіація, радіаційний баланс величини теплообміну між земною поверхнею і атмосферою, витрати тепла на випаровування. З географічних факторів, що впливають на клімат окремого регіону, найістотнішими є широта і висота місцевості, висота над рівнем моря, близькість до морського узбережжя, вплив океанічних течій, особливості рослинного покриву, наявність снігу і льоду, ступінь забруднення атмосфери (парниковий ефект, руйнування озонового шару), що формує місцеві варіанти клімату.

Циркуляція атмосфери — система замкнутих течій повітряних мас (зокрема, вітрів), що проявляються в масштабах значних частин атмосфери Землі. Подібні течії призводять до перенесення речовини і енергії в як в широтному, так і в меридіональному напрямках, через що є найважливішим процесом кліматоутворення, впливаючи на погоду в будь-якому місці планети.

Основна причина циркуляції атмосфери — нерівномірність розподілу сонячної енергії на поверхні планети, внаслідок чого різні ділянки ґрунту і повітря мають різну температуру і, відповідно, різний атмосферний тиск, що приводить до утворення баричного градієнту. Крім сонячного світла, на рух повітря впливає обертання Землі навколо своєї осі і неоднорідність її поверхні, що викликає тертя повітря об поверхню та відхилення повітряних течій.

На Землі вітер є потоком повітря, що рухається переважно в горизонтальному напрямку, вітри, як правило, класифікують за просторовим масштабом, швидкістю, типами сил що їх викликають, місцями існування та ефектом на навколишнє середовище.

У метеорології вітри перш за все класифікують у залежності від їхньої сили, тривалості та напрямку, з якого дме вітер. Так, короткі (кілька секунд) та сильні вітри називаються поривами. Сильні вітри проміжної тривалості (близько 1 хвилини) називаються шквалами. Назви триваліших вітрів варіюють залежно від сили, зокрема такими назвами є бриз, буря, шторм, ураган, тайфун; тривалість вітру також дуже варіюється.

Вітер викликається різницею у тиску між певними ділянками. Якщо існує ненульовий баричний градієнт, повітря рухається із прискоренням від зони високого тиску до зони низького тиску. На планеті, що обертається, до руху вітру додається ефект Коріоліса. Таким чином, головними факторами, що визначають циркуляцію атмосфери у глобальному масштабі, є різниця у нагріві повітря сонячним світлом між екваторіальними і полярними районами, що викликає різницю у температурі та, відповідно, густині повітря, а тому й різницю тиску, а також ефект Коріоліса. В результаті дії цих факторів, рух повітря у середніх широтах понад планетарним приповерхневим шаром

впритул наближається до геострофічного балансу та спрямований практично паралельно ізобарам.

Важливим фактором, що визначає рух повітря біля земної поверхні, є його тертя до поверхні, що затримує цей рух і змушує вітер більшою мірою повертати у напрямку зон низького тиску.

Локальні ефекти вітроутворення виникають у залежності від наявності локальних географічних об'єктів. Одним з таких ефектів є перепад температур між не дуже віддаленими ділянками, що може бути викликаний різними коефіцієнтами поглинання сонячного світла або різною теплоємністю поверхні. Останній ефект найсильніше виявляється між сушею та водною поверхнею та викликає бриз. Іншим важливим локальним чинником є наявність гір, що виступають як бар'єр на шляху вітрів.

Типовим засобом представлення даних щодо вітрів є атласи і мапи вітрів. Ці атласи зазвичай складаються для кліматологічних досліджень та можуть містити інформацію як щодо середньої швидкості, так і щодо відносної частоти вітрів кожної швидкості у регіоні. Зазвичай атлас містить середні за годину дані, виміряні на висоті 10 м та усереднені за десятки років.

Для окремих потреб використовуються й інші стандарти складення мап вітру. Так, для потреб вітроенергетики вимірювання проводять на висоті більшій за 10 м, зазвичай 30-100 м, та наводять дані у вигляді середньої питомої потужності вітрового потоку.

Найбільша швидкість пориву вітру на Землі (на стандартній висоті 10 м) було зареєстровано автоматичною метеорологічною станцією на австралійському острові Барроу під час циклону Олівія 10 квітня 1996 року. Вона становила 113 м/с (408 км/год). Найбільшу швидкість пориву вітру в Україні було зареєстровано в грудні 1947 року в Кримських горах, на горі Ай-Петрі. Вона становила 50 м/с, або 180 км/год.

Градiєнтом вітру називають різницю у швидкості вітру на невеликому масштабі, найчастіше у напрямку, перпендикулярному його руху. Градiєнт вітру поділяють на вертикальну і горизонтальну компоненти, з яких горизонтальна має помітно відмінні від нуля значення уздовж атмосферних фронтів та біля узбережжя, а вертикальна — біля поверхні, хоча зони значного градiєнту вітру різних напрямків також трапляються у високих шарах атмосфери уздовж висотних струмових течій.

Напрямки та швидкості вітрів на території України визначаються різноманітними чинниками і тому досить різноманітні. Україна входить до зони західних вітрів помірного поясу, проте вплив процесів глобальної циркуляції атмосфери тут невеликий і вітри часто змінюють напрямок.

Найпоширенішими напрямками переважних вітрів улітку на всій території України західні та південно-західні. Узимку підсилюється вплив Азійського антициклону, через що на сході, південному сході й півдні України ймовірність східних вітрів підвищується до 50-60%, але південно-західні та західні вітри також трапляються. В Криму часто дмуть вітри північного та північно-східного напрямків. На заході країни вітри не змінюють напрямків та залишаються переважно західними та південно-західними.

Навесні та восени підсилюється меридіональний рух повітря, тобто у північному та південному напрямках.

В приморських районах Азовського та Чорного морів великий вплив мають бризи, що приникають на сушу на 15-20 км. В Карпатах та на схилах Кримських гір переважають орографічні вітри, тобто гірськодолинні вітри і фени, що залежать від напрямку та протяжності схилів, чергування хребтів, улоговин і річкових долин, тому загальні чинники відіграють тут неосновну роль. На гірських вершинах Українських Карпат і Кримських гір напрямок вітру зумовлюється загальним переносом повітряних мас у вільній атмосфері, тобто західний та південно-західний в Карпатах і північно-східний та південно-західний в Кримських горах.

Вплив місцевих природних умов на швидкість вітру виявляється у меншій швидкості в зоні змішаних лісів, завдяки залісненості, та більшій в степовій та лісостеповій зонах. Окрім гірських районів Карпат і Криму, високі швидкості вітру характерні для південного сходу країни, тобто Донецької і Приазовської височин, берегів морів і водосховищ. На забудованих територіях напрямки та сили вітрів зумовлюються характером забудови, рельєфом, наявністю парків і акваторій. Над містами зазвичай формуються висхідні потоки повітря, а вітри прямують від периферії до центру.

Середні швидкості вітру на території України улітку змінюються в діапазоні від 3 до 6 м/с, у середньому на території країни — до 5 м/с. Узимку загалом вітри сильніші, досягаючи 5-8 м/с. Швидкості бризів, сильніших улітку, у середньому становлять 1-5 м/с, максимально досягають 6-7 м/с на більшій частині узбережжя та до 9 м/с біля Євпаторії.

Важливе значення для підрахування електроенергії, виробленої вітроустановками, має також розподіл потужності вітрового потоку по кількості днів та їх повторення протягом року. Так, наприклад, на сході і південному сході України найбільш часто повторюються східні напрямки вітру, а на заході і південному заході – західні напрямки вітрових потоків.

В Україні існує розгалужена мережа метеостанцій (МС) системи Держкомгідромету, яка досить повно за простором і часом представляє дані про показники вітрової енергії на території країни. Але ці МС призначені не для вітроенергетичних, а для синоптичних цілей. Інформація, що реєструється на цих МС, не завжди і не повністю відповідає потребам вітроенергетики. В той же час, цілком нехтувати унікальними даними МС не варто – потрібно визначити границі і методи їх використання оптимальним для вітроенергетики чином.

Для розв'язання задач даного напрямку в Інституті відновлюваної енергетики НАН України розробляються методичні засади і створюються інструментальні засоби щодо:

- збору, упорядкування і конвертації даних МС;
- створення бази даних МС;
- експертизи придатності даних кожної МС для цілей вітроенергетики;
- селекції МС для використання їх даних для цілей вітроенергетики;

- поглибленого дослідження вітропотенціалу певних територій на основі даних електронної реєстрації.
- побудови системи характеристик вітропотенціалу;
- математичного моделювання розрахунку і аналізу характеристик вітропотенціалу;
- інтерполяції характеристик вітропотенціалу і створення карт вітроенергетичного потенціалу територій.

Для вибору площадок під будівництво вітроелектростанцій виконується прогнозування вітрового енергетичного потенціалу площадки за довгостроковими даними найближчих до площадки МС і за даними короткострокової електронної реєстрації характеристик вітру безпосередньо на площадці передбачуваного будівництва ВЕС. В Інституті відновлюваної енергетики НАНУ розробляється методика узгодженого використання даних із різних джерел інформації для якісного прогнозування вітрового енергетичного потенціалу площадки.

Розподіл енергетичного потенціалу вітру

Сумарна кінетична енергія вітру в світі може бути приблизно оцінена як у 80 разів вища від сумарного енергоспоживання людиною. І хоча для енергетичних потреб може бути використана лише певна частка від цього загального показника, майбутній розвиток самої технології має величезний потенціал.

Україна має потужні ресурси вітрової енергії. За оцінкою міжнародної програми INFORSE, в Україні можливо побудувати вітрові електричні станції загальною потужністю 24 ГВт. Враховуючи, що не на всій території України було виконане детальне дослідження вітрового енергетичного потенціалу, слід вважати зазначену оцінку (24 ГВт) нижньою границею, що відображає рівень вже "розвіданих" вітрових енергетичних ресурсів України. Виміри швидкості вітру на території України проводяться на метеорологічних станціях Державного комітету по гідрометеорології і на метеорологічних пунктах різних відомств та організацій України. Виміри проводяться на висоті від 9 м до 20 м над рівнем ґрунту. Систематичні виміри швидкості вітру в Україні виконуються протягом останніх 60 років.

В результаті обробки статистичних метеоданих щодо швидкості та повторюваності швидкості вітру проведено районування території України і визначено питомий технічно-досяжний енергетичний потенціал вітру на різній висоті відповідно до зон районування (таблиця 7.1, рис.7.1). Наведені дані є базовими при впровадженні вітроенергетичного обладнання і призначені до використання проектувальниками об'єктів вітроенергетики для встановлення оптимальної потужності вітроагрегатів та типу енергії (електрична або механічна) з метою ефективного її виробництва в конкретній місцевості.

Річний технічно-досяжний енергетичний потенціал енергії вітру в Україні є еквівалентним 28 млн т у.п., його використання дозволяє заощадити біля 24 млрд м³ природного газу.

Таблиця 7.1. Питомий енергетичний потенціал вітрової енергії в Україні

№ району	Середньорічна швидкість вітру, V_{cp} , м/с	Висота, м	Теоретично-можливий потенціал вітру, кВт·год/м ² рік	Технічно-досяжний потенціал вітру, кВт·год/м ² рік
1	< 4,25	15	1120	200
		30	1510	280
		60	2030	375
		100	2530	460
2	4,5	15	2010	390
		30	2710	520
		60	3640	700
		1000	4540	850
3	5,0	15	2810	520
		30	3790	690
		60	5100	860
		100	6350	975
4	5,5	15	3210	620
		30	4320	830
		60	5810	1020
		100	7230	1150

Практично в усіх кліматичних зонах України при збільшенні висоти величина питомого енергетичного потенціалу вітрової енергії відносно показника на рівні 10-ти метрової відмітки зростає: на висоті 30 м – в 1,5 рази; на висоті 60 м – у 2 рази; на висоті 100 м – в 2,5 рази.

Енергетичний потенціал вітру на одній і тій же висоті в районах Криму та Карпат в 2,5-3 рази більший, ніж у північній зоні; енергетичний потенціал всіх південних регіонів України значно вищий, ніж північних. Таким чином, найбільш перспективними для впровадження вітроенергетичного обладнання є АР Крим, Карпати, Львівська, Івано-Франківська, Закарпатська області, західна частина Чернівецької, побережжя Чорного та Азовського морів, а також Одеська, Миколаївська, Херсонська, Запорізька, Донецька та Луганська області.

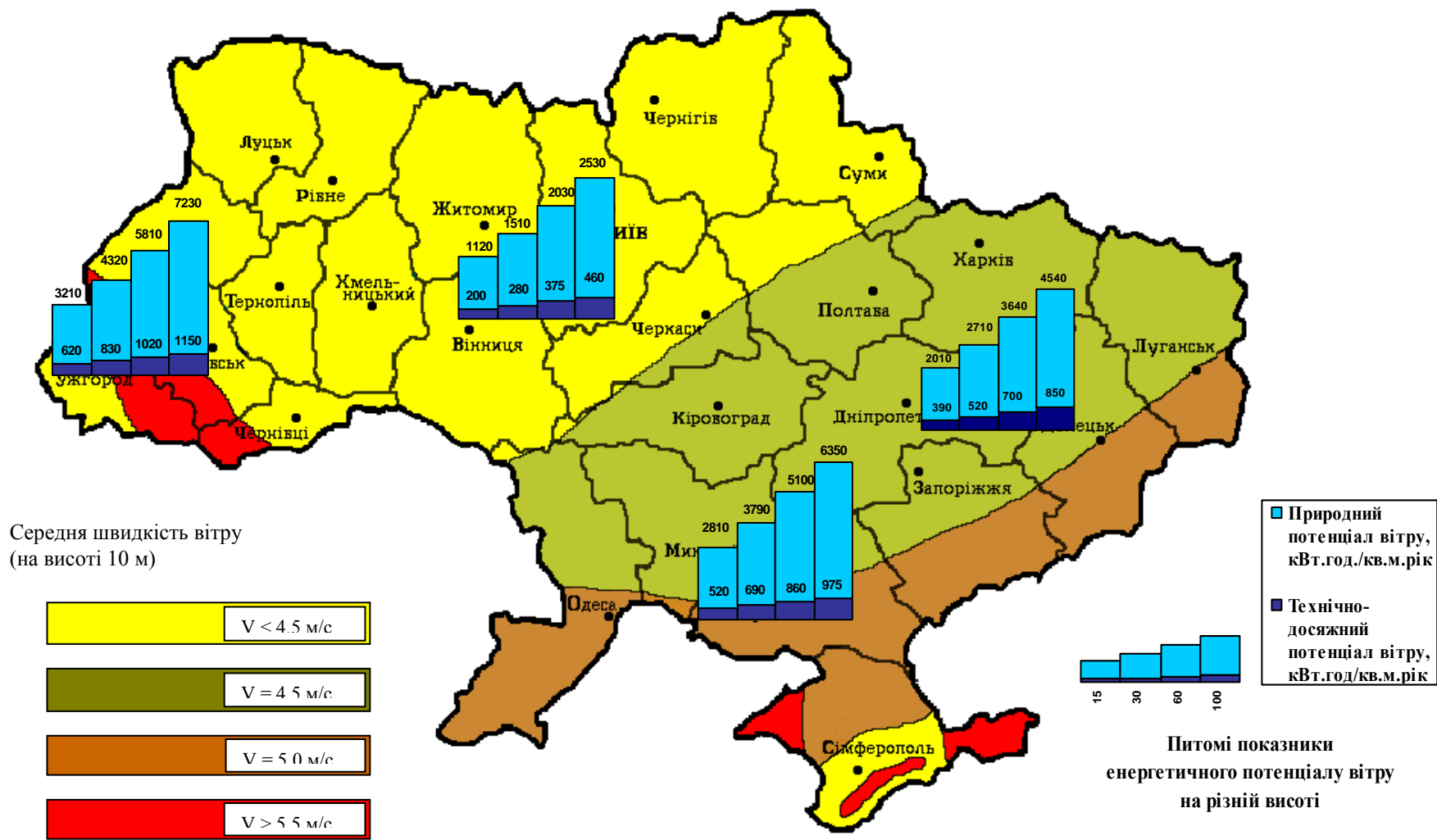


Рисунок 7.1. Енергетичний потенціал вітру на території України

Методи вимірювання швидкості вітру

Вітер, його швидкість та напрямок. Вітер - це горизонтальний рух повітря відносно земної поверхні, обумовлений порушенням рівноваги атмосфери. Він є однією з метеорологічних величин, що визначають значний вплив на життя і діяльність людини. Добре відома позитивна роль вітру, що очищає атмосферу міст від пилу, промислових забруднень, пом'якшує літню спеку. Вітер є також одним з джерел енергетичних ресурсів. Але нерідко він завдає значної шкоди різним галузям народного господарства. Сильний вітер (буревій) видуває посіви, руйнує будівлі, пошкоджує лінії зв'язку та електропередач, зриває верхній родючий шар ґрунту і виносить його на великі відстані. Вітер характеризується напрямком і швидкістю, які визначаються особливістю баричного рельєфу і значенням баричного градієнту. На режим вітру впливають також фізико-географічні умови району. Швидкість вітру виражається в метрах за секунду, кілометрах за годину (особливо при обслуговуванні авіації) і у вузлах (морських милях за годину). Щоб перевести швидкість з метрів за секунду у вузли, досить помножити число метрів у секунду на 2. Силу вітру визначають по дванадцятибальній шкалі Бофорта. Вона названа на честь англійського адмірала Ф. Бофорта, який визначав швидкість вітру візуально по його дії на навколишні предмети або по хвилюванню моря.

Найпоширеніший спосіб визначення сили вітру, можна сказати побутовий - це установка на даху або на окремо стоїть щоглі флюгера-анемометра. Такі пристрої випускаються нашою промисловістю. У масовому і обов'язковому порядку за часів СРСР вони поставлялися в усі школи для облаштування метеорологічних майданчиків. При бажанні можна зробити подібний флюгер-анемометр своїми руками. Швидкість вітру тут визначається величиною відхилення шарнірно закріпленої металевої дошки щодо восьми штифтів.

Для вимірювання швидкості вітру ручним анемометром необхідно мати секундомір. Вийшовши на вітер, одночасно із зняттям з гальма анемометра, запускається секундомір. Після закінчення, наприклад, хвилини, анемометр стопориться, і знімаються свідчення. Середню швидкість вітру становитиме частка від ділення свідчення на циферблаті на 60. Наприклад, $V = 480:60 = 8$ м/сек. Таким чином, отримується середня швидкість вітру у відрізок 60-ти секунд. Для більшої точності можна збільшити час виміру або проводити неодноразові заміри з невеликими інтервалами.

Нарешті, силу вітру можна визначити за зовнішніми ознаками. Завжди видно, як під дією вітру під різним нахилом піднімається дим з труби або від багаття, гнуться або ламаються гілки дерев, на водоймах або дзеркальна гладь, або піднімається брижі, а при більш сильному вітрі - перекочуються хвилі. Примірну силу вітру в цьому випадку ви можете визначити за таблицями.

У 1963 р. Всесвітня метеорологічна організація уточнила шкалу Бофорта, додавши до неї еквівалентні значення швидкості вітру для кожної градації в балах, де 1 бал приблизно дорівнює 2 м/с . Тепер цією таблицею користуються

в усіх країнах світу. Особливо вона корисна при відсутності або неможливості виконати інструментальні спостереження.

Перший прилад для вимірювання швидкості вітру був винайдений в 1667 році англійцем Робертом Хуком. Прилад називається анемометр. Існують багато видів анемометрів, але найбільш поширений має декілька алюмінієвих чашок на осі. Вона закріплена вільно, і чим сильніше вітер, тим швидше обертаються чашечки на осі. Злічивши число оборотів, які роблять чашечки за певний час, можна обчислити швидкість вітру.

Коли люди почали літати, з'явилася необхідність вимірювати швидкості вітру на великих висотах. Для цього запускалися повітряні кулі, і за ними велося спостереження за допомогою спеціальних оптичних приладів, які називаються «теодоліти». Але, коли хмари закривали кулі, спостереження ставало неможливим. У 1941 році був винайдений метеорологічний радар. І тепер радар може спостерігати за кулею навіть через хмари і вимірювати швидкість вітру у верхніх шарах атмосфери.

Залежність виробітку електроенергії від швидкості вітру

На планеті виникнення вітрів має характер випадковий і неконтрольований. Це стосується як напрямку, так і сили вітру. Вітер, що має швидкість в межах 4–30 м/с визнають енергетично рентабельним для генерування електроенергії. Однак цьому джерелу притаманна велика нестабільність. Поява вітру залежить від географічного регіону, пори року, періоду доби, рельєфу місцевості й висоти над рівнем моря.

Вітер фактично є однією з форм сонячної енергії: частина енергії Сонця перетворюється в кінетичну енергію потоку повітряних мас, яка виникає внаслідок нерівномірного нагрівання Сонцем поверхні Землі. Вітрові потоки різної потужності є майже в будь-якому місці земної кулі. Одним із основних факторів, який визначає доцільність впровадження вітроенергетичного обладнання в певній місцевості, є рівень питомої потужності вітрового потоку (це потужність, віднесена до 1 м² площі, перпендикулярної напрямку вітру).

$$N = 1/2 \rho V^3, \text{ Вт/м}^2, \quad (7.1)$$

де ρ – густина набігаючого повітряного потоку, кг/м³;

V – швидкість набігаючого повітряного потоку, м/с.

Середня густина набігаючого вітрового потоку визначається як добуток масової густини повітря – 0,125 кг·с²/м⁴ та прискорення сили тяжіння – 9,8 м/с² і становить 1,225 кг/м³ при температурі 15°C і атмосферному тиску 0,0981 МПа (760 мм рт. ст.), ця величина дещо змінюється при зміні кліматометеорологічних умов.

Таким чином, питома потужність вітрового потоку, що діє на 1 м² площі вітроколеса, визначається як 0,613V³. Як видно, самою важливою складовою, яка визначає потужність вітрової енергії, є швидкість вітру, на яку в першу чергу і орієнтуються при виборі та впровадженні вітроенергетичного обладнання.

Вітер на різних висотах в атмосфері Землі для кожної точки її поверхні характеризується швидкістю, яка є випадковою змінною в просторі й часі, що залежить від багатьох факторів: особливостей місцевості, сезону року, погодних умов. Відповідно всі процеси, прямо пов'язані з використанням поточного значення швидкості вітру, зокрема генерація електроенергії у вітроелектричних установках, мають складний випадковий характер, їх характеристики мають статистичні розбіжності і невизначеність середніх очікуваних значень. Тому на сучасному рівні досліджень завдання оцінки цих процесів формулюється як створення імовірного опису випадкового процесу за допомогою розбивки всього процесу на окремі часові інтервали, у межах кожного з яких можна використовувати наближення стаціонарності, тобто незалежності всіх обумовлених параметрів від часу. Як період стаціонарності можуть бути прийняті різні тимчасові інтервали з відповідною точністю опису залежно від реальних умов випадкового процесу. Зокрема, у деякому наближенні можна вважати процес стаціонарним у всьому розглянутому часі, наприклад, протягом року.

Для систематизації характеристик вітрової енергії в конкретному регіоні з метою визначення доцільності та ефективного її використання в певній місцевості розробляється вітровий кадастр, що представляє собою сукупність аерологічних і енергетичних характеристик вітру, визначених за результатами багаторічних спостережень. Це дозволяє визначити доцільність застосування вітроенергетичного обладнання, а також доцільні параметри та режими роботи ВЕУ.

Основними характеристиками вітрового кадастру є:

- середньорічні, середньомісячні та середньодобові швидкості вітру;
- максимальна швидкість вітру;
- залежність швидкості вітру від висоти;
- повторюваність швидкості вітру та його напрямків протягом року, сезону, місяця;
- дані про пориви, про періоди і терміни відсутності вітру;
- питома потужність і питома енергія вітру.

Основною характеристикою вітру, що визначає його інтенсивність і ефективність використання вітрової енергії, є його середня швидкість за певний період часу, наприклад за добу, місяць, рік або кілька років. Середня швидкість вітру представляється як середноарифметичне значення, отримане з ряду вимірів швидкості, проведених через рівні інтервали часу протягом заданого періоду. Загальна формула для визначення всіх шуканих середніх значень швидкості вітру V має вигляд:

$$\langle v \rangle = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n v_i, \quad (7.2)$$

де n – повне число всіх вимірів;

i – порядковий номер виміру ($i = 1, 2, \dots, n$);

V_i – відповідне випадкове значення швидкості вітру.

Для одержання достовірних даних про середні швидкості вітру, що визначають його енергетичну здатність, виникає питання про репрезентативність вибірки випадкових значень швидкості, тобто про необхідний обсяг і тривалість вимірів. У загальному випадку зі збільшенням обсягу одержуваних даних точність і вірогідність середніх значень, що обчислюються, підвищується. Для чисельної оцінки використовується коефіцієнт варіації середніх швидкостей, що зазвичай зменшується при збільшенні періоду усереднення, тобто, наприклад, середня багаторічна швидкість має менший розкид, ніж багаторічна середньомісячна швидкість.

При використанні даних метеоспостережень про середні швидкості вітру необхідно враховувати, що вони відповідають конкретним рельєфним і ландшафтним умовам у районі метеостанції і певній висоті над поверхнею Землі (висоті флюгера). Для різних станцій ці умови можуть значно відрізнятися. Тому прийнято приведення середньої багаторічної швидкості вітру до порівняних умов щодо відкритості та рівності місцевості. Для врахування умов місцевості розроблено різні класифікації відкритості місцевості; при всіх розбіжностях, вони мають одну загальну властивість – лінійну залежність наведеної середньорічної швидкості V_n від номера (коефіцієнта) класу K_o , відн. од.:

$$V_n = A \cdot K_o, \quad (7.3)$$

де A – постійна, що має розмірність швидкості, яка визначає вітрову обстановку на місцевості і відрізняє одну класифікацію від іншої; це дозволяє встановити їх приблизну відповідність одна одній.

Важливе значення для оцінки вітроенергетичного потенціалу певної місцевості та ефективності його використання за рахунок врахування ступеня погодженості графіка надходження вітрової енергії з графіком енергетичного навантаження споживачів мають характеристики зміни середньої швидкості вітру впродовж певного періоду. Добовий хід середньої швидкості вітру – це зміна швидкості вітру протягом доби, усереднена на протязі всієї доби у певному місяці і за багаторічними спостереженнями. Річний хід середньої швидкості вітру – це зміна протягом року багаторічної середньомісячної швидкості вітру.

При визначенні енергетичного потенціалу вітру обов'язково необхідно враховувати висоту дії вітрового потоку. Відомо, що швидкість вітру зростає з висотою по ступеневому закону:

$$\frac{V}{V_\phi} = \left(\frac{h}{h_\phi} \right)^\alpha, \quad (7.4)$$

де V та V_ϕ – швидкість вітру на розрахунковій висоті h та на стандартній висоті флюгера h_ϕ ; показник степеня α залежить від швидкості вітру, зменшуючись зі збільшенням останньої. Залежність значення показника α від швидкості вітру показана в таблиці 7.4.

Таблиця 7.4.

$V, \text{ м/с}$	$0 \div 3$	$3,5 \div 4$	$4,5 \div 5$	$5,5$	$6 \div 11,5$	$12 \div 12,5$	$13 \div 14$	$14,5$
α	0,20	0,180	0,160	0,150	0,140	0,135	0,130	0,125

Тому енергетичний потенціал вітру в одній місцевості може суттєво відрізнятися на різних висотах приземного шару повітря, причому значне збільшення енергетичного потенціалу вітру спостерігається на висоті 60-100 метрів, потім інтенсивність його росту сповільнюється і на висоті декількох сотень метрів практично припиняється.

Перетворення енергоресурсів повітряного потоку (вітру) здійснюється за допомогою вітроенергетичних установок, що перетворюють кінетичну енергію повітряного потоку в механічну енергію.

Потужність вітроенергетичної установки (N_{BEV}) визначається за формулою:

$$N_{BEV} = \xi N, \text{ Вт}, \quad (7.5)$$

де ξ – коефіцієнт використання енергії вітру;

N – потужність повітряного потоку, Вт.

Величина коефіцієнта ξ у найбільш розповсюджених вітроустановках може досягати 0,45, тоді як теоретична межа за різними літературними джерелами дорівнює 0,593 та 0,687.

Потужність повітряного потоку N визначається за формулою:

$$N = \rho V^3 F / 2, \text{ Вт}, \quad (7.6)$$

де ρ – густина повітря (при нормальних умовах = 1,293 кг/м³);

V – швидкість незбуреного повітряного потоку, м/с;

F – площа обмаху поверхні вітроустановки, м².

Величина швидкості вітру V для визначення номінальної потужності вітроустановки вибирається рівною $1,6 V_{cp.p.}$, де $V_{cp.p.}$ – середньорічна швидкість вітру в районі розташування вітроустановки. Потужність вітрового потоку пропорційна кубу швидкості вітру V , тому надзвичайно важливим є вибір місця розташування вітроустановки з тим, щоб величина $V_{cp.p.}$ була якомога більша. Для визначення найбільш сприятливих районів для установки вітрових агрегатів проводять анемометричну розвідку і складають вітрові кадастри.

В умовах України за допомогою вітроенергетичного обладнання у середньому за рік можна досягти використання 15-19% енергії вітрового потоку, що проходить через перетин вітроколеса. Річні обсяги виробництва електроенергії з 1 м² перетину площі вітроколеса в перспективних регіонах складають 800-1000 кВт·год/м²·рік.

Лекція 8

Методи та засоби перетворення вітрової енергії

Методи та засоби перетворення вітрової енергії. Класифікація обладнання, основні технічні та економічні показники. Методи підвищення ефективності вітроенергетичного обладнання.

Методи та засоби перетворення вітрової енергії

Вітроенергетична установка – комплекс технічних пристроїв для перетворення кінетичної енергії вітрового потоку в будь-який інший вид енергії. До складових вітроенергетичної установки входить власне вітроагрегат (вітродвигун у комплекті з однією або кількома робочими машинами), акумулюючий або резервуючий пристрій та системи автоматичного управління й регулювання режимами роботи. У деяких випадках застосовується дублюючий невітровий двигун.

Вітродвигун – двигун, що використовує кінетичну енергію вітру для виробництва механічної енергії. У якості робочого органу вітродвигуна, що сприймає енергію вітрового потоку і перетворює її в механічну енергію обертання валу, застосовують ротор, вітроколесо, барабан тощо. Залежно від типу робочого органу та положення його відносно вітрового потоку розрізняють карусельні (або роторні) вітродвигуни, барабанного типу і крильчаті.

У якості акумулюючого пристрою часто застосовують наповнену водою ємність або батареї електрохімічних акумуляторів; для короткочасного запасу енергії та вирівнювання споживаної потужності при незначних змінах швидкості вітру можуть бути використані інерційні акумулятори. Дублюючий невітровий двигун (як правило, двигун внутрішнього згорання) використовують у періоди відсутності потоку вітрової енергії і в тих випадках, коли через зниження швидкості вітру потужність, що розвивається вітродвигуном, стає нижчою від номінальної або недостатня для живлення електроенергією всього приєднаного навантаження.

Системи автоматичного управління та регулювання служать для вмикання й вимикання вітрового двигуна (залежно від режимів вітру та навантаження, ступеня заповнення резервуючої ємності водою, заряду акумулятора і т.д.), для контролю за роботою головних елементів вітрової установки, узгодження режимів спільної або паралельної роботи вітрового та теплового двигунів і т.ін.

Розрізняють вітроустановки спеціального призначення – насосні або водопідйомні, електричні зарядні, млинові, опріснювальні тощо) та комплексного використання (вітросилові та вітроелектричні). У силових вітроустановках від механічної трансмісії вітродвигуна приводяться в дію виконуючі машини; в електричних вітроустановках генерована електроенергія передається на електродвигун виконуючих машин. Залежно від типу і характеристик вітродвигунів та робочих машин вітроустановки можуть бути тихохідними, середньої швидкохідності і швидкохідними. Встановлена (розрахункова) потужність вітроустановки залежить головним чином від діаметра вітроколеса і показника швидкості вітру. Вітроустановки працюють зі

змінюваною у широких межах частотою обертів вітроколеса і, відповідно, потужністю.

Перетворення кінетичної енергії повітряного потоку при застосуванні вітроенергетичного обладнання здійснюється шляхом його взаємодії з робочими органами вітроустановками, які можуть бути виконані у наступному вигляді:

- а) лопатей (плоских, увігнутих або з аеродинамічним профілем);
- б) циліндрів А.Флетнера;
- в) осцилюючих предметів, наприклад, тросів;
- г) системи з електродними сітками електрогідралічного динамічного генератора.

Найбільш розповсюдженими робочими органами вітроустановок є лопаті з аеродинамічним профілем. Вітроустановки з робочими органами у вигляді осцилюючих предметів і електрогідралічного динамічного генератора знаходяться в стадії експериментів. Результати досліджень свідчать, що такого роду вітровим установкам властиві низький коефіцієнт використання енергії вітру і складності агрегування з навантаженням. Тому нижче розглянуто вітрові установки з робочими органами, виконаними у вигляді лопатей.

Принцип дії всіх вітроустановок один: під напором вітру обертається вітроколесо з лопатями, яке передає крутільний момент через систему передач валу генератора, що виробляє електроенергію. Реальний к.к.д. кращих вітрових колес досягає 45% у разі стійкої роботи при оптимальній швидкості вітру.

Якщо вісь обертання вітроколеса паралельна повітряному потоку, то установка називається горизонтально-осьовою. Установки, що використовують силу лобового тиску, як правило, обертаються з лінійною швидкістю, меншою від швидкості вітру, а установки, що використовують підйомну силу, мають лінійну швидкість кінців лопатей, істотно більшу від швидкості вітру.

Сучасна вітроенергетика базується в основному на застосуванні вітродрвигунів: горизонтально-осьових пропелерних із горизонтальною віссю обертання й вертикально-осьових (або ортогональних) із вертикальною віссю обертання. Ротори останніх виконуються у вигляді вертикально розташованих лопатей або у спеціальному виконанні – ротори типу Дар'є.

Оскільки вітер може змінювати свою силу і напрям, вітрові установки обладнуються спеціальними пристроями контролю і безпеки. Ці пристрої складаються з механізмів розвороту вісі обертання за вітром (віндроза), нахилу лопатей відносно землі при критичній швидкості вітру, системи автоматичного контролю потужності та аварійного відключення для установок великої потужності.

Найчастіше на ВЕС використовується трилопатеве вітроколесо з горизонтальним розташуванням вісі ротора. Удосконалення відбуваються шляхом збільшення розмірів лопатей, покращення техніко-економічних показників енергетичного обладнання і електронного управління, використання композитних матеріалів і застосування більш високих башт. Деякі ВЕУ функціонують зі змінною швидкістю або взагалі не використовують редуктор і

працюють за методом прямого приводу. Так, при потужності ВЕУ 2,5 МВт діаметр лопатей вітроколеса досягає 80 м, а висота башти більше 80 м.

ВЕУ з вертикальною віссю обертання мають переваги перед установками з горизонтальною віссю, які полягають у тому, що немає необхідності у пристроях орієнтації на вітер, спрощується конструкція і знижуються гіроскопічні навантаження, обумовлені додатковим напруженням в лопатях, системі передачі та інших елементах установки, з'являється можливість встановлення редектора з генератором в основі башти.

На сьогодні розроблена і використовується значна кількість схем перетворення енергії вітру в електричну енергію постійного чи змінного струму або для виконання механічної роботи.

Класифікація обладнання, основні технічні та економічні показники.

Для використання енергії вітру застосовуються різні типи вітроенергетичного обладнання. Вітроенергетична система спочатку перетворює енергію вітру в механічну енергію, а потім, при необхідності, в електричну. Функціонально вітроустановки можуть бути розподілені таким чином:

- ◆ мережеві вітроелектричні установки;
- ◆ автономні вітроелектричні установки;
- ◆ вітроустановки для виконання механічної роботи.

Режими функціонування вітроелектричного обладнання, що працює в комплексі з промисловою електромережею, суттєво відрізняються від режимів роботи автономних вітроелектричних установок; ці відмінності потребують спеціального технічного і технологічного забезпечення. Тому автономна вітроенергетика часто виділяється як окрема підгалузь вітроенергетики.

Механічні вітроустановки частіше всього використовуються в сільському господарстві, вітроелектричні агрегати мають більш широке коло споживачів – різні приватні та державні господарства, установи, будинки та об'єкти. Для забезпечення потреб теплопостачання вітрову енергію перетворюють у тепло за допомогою механічних або електричних пристроїв.

Для виробництва електроенергії застосовують вітроелектричні агрегати двох основних типів: з вертикальною та з горизонтальною віссю обертання. Найбільш поширеними є вітроагрегати з горизонтальною віссю обертання, на їх частку приходиться біля 95% вітроустановок.

Потенційний попит на вітроенергетичне обладнання, а також на пристрої енергопостачання на їх основі, може бути визначений залежно від напрямків їх використання. При цьому варто мати на увазі, що області використання визначають вимоги до конструкції як власне вітроустановок, так і до складу устаткування системи захисту, автоматики та алгоритму керування. Це в остаточному підсумку визначає вартість системи та платоспроможний попит.

Відповідно із сформованою практикою, ***за напрямками використання вітроустановки класифікуються*** наступним чином:

–вітроустановки та вітростанції, що працюють у мережі (енергосистемі) загального користування (мережні ВЕУ і ВЕС);

–вітроустановки, що працюють у локальній (автономній) системі паралельно з іншими енергоустановками (дизель-генератор, мала ГЕС, сонячна батарея тощо);

- вітроустановки індивідуального або групового електропостачання;
- вітроустановки для виробництва теплової енергії;
- вітроустановки для виробництва механічної енергії.

У вітроенергетичних установках енергія вітру перетворюється в механічну енергію їх робочих органів. Первинним і основним робочим органом вітроустановки, що безпосередньо приймає на себе енергію вітру і, як правило, перетворює її в кінетичну енергію свого обертання, є вітроколесо. Обертання вітроколеса під дією вітру обумовлюється тим, що в принципі на будь-яке тіло, що обтікає потік газу, діє сила E , яку можна розкласти на дві складові:

- 1) сила лобового опору, що діє уздовж швидкості набігаючого потоку;
- 2) підйомна сила, що діє у напрямку, перпендикулярному швидкості набігаючого потоку.

Різні типи вітроустановок із горизонтальною віссю відповідно до європейської та американської класифікації представлені у таблиці 8.1.

Таблиця 8.1. Розмірна класифікація вітроустановок

Розмір	Діаметр ротора	Потужність
мала (клас А)	менше 12 м	менше 40 кВт
середня (клас В)	від 12 до 45 м	від 40 до 999 кВт
велика (клас С)	46 м і більше	1 МВт і більше

Із позицій конструктивних і технологічних особливостей, а також тенденцій розвитку, умовно розділяють ВЕУ на дві групи.

- 1) ВЕУ малої потужності (до 100 кВт);
- 2) ВЕУ середньої і великої потужності (100 кВт і більше).

Особливості першої групи обумовлені специфікою ринку даної категорії ВЕУ, розрахованої на індивідуальних споживачів приватного сектора і малий бізнес. Низька платоспроможність індивідуальних споживачів і неможливість (або обмежені можливості) професійного технічного обслуговування призвели до необхідності максимального спрощення і здешевлення конструкції агрегатів. При цьому показники надійності та автономності роботи повинні залишатися на найвищому рівні. Характерними властивостями новітніх ВЕУ до 100 кВт є:

- використання трилопатевої вітротурбіни з фіксованим кутом установки лопатей, перетин профілю лопаті постійний;
- виготовлення лопатей із армованого скляним або вуглецевим волокном пластику;
- орієнтація ВЕУ за допомогою найпростішого механізму – флюгерної лопаті, яка завдяки спеціальній конструкції та шарніру одночасно регулює швидкість обертання вітротурбіни шляхом повороту всієї площини обертання вітротурбіни відносно вітрового потоку;
- використання тихохідних трифазних синхронних генераторів на базі рідкоземельних магнітів з високою коерцитивною силою;

– виконання генераторної системи за схемою "синхронний генератор – випрямляч – інвертор", що дозволяє працювати при змінній частоті обертання ротора;

- можливість як мережної, так і автономної роботи;
- забезпечення повністю автономної роботи, контрольованої комп'ютером, а також роботи в різних комбінаціях системи (наприклад, координація роботи разом із дизельною електростанцією або акумулятором).

Перепонами до широкомасштабного впровадження мережних та автономних вітроустановок малої потужності є:

- висока питома вартість агрегатів малої потужності;
- обмеженість у фінансах у масового приватного покупця;
- обмежене число площадок із прийнятними вітровими умовами;
- низькі показники надійності і ККД;
- слабка розвиненість маркетингової та сервісної системи.

Розвиток вітроенергетики на основі вітроустановок потужністю до 100 кВт повинен бути орієнтованим на відносно низьку одиничну вартість агрегатів та їх механічну простоту, повну автономність і універсальність у роботі, застосування генераторів, що працюють зі змінною швидкістю обертання, для підвищення загального коефіцієнта використання вітроелектричної установки.

Вітроустановки другої групи (середньої та великої потужності) характеризуються спільними технологічними рішеннями, які обумовлюються вимогами до роботи в електромережі та великими габаритами ВЕУ. При цьому висока одинична вартість агрегатів такого класу компенсується зниженням питомої вартості 1 кВт встановленої потужності.

До основних тенденцій розвитку вітроенергетики на основі середніх і великих ВЕУ відноситься:

- пошук нових матеріалів та удосконалених композитів для виготовлення лопатей;

- пошук більш досконалих профілів для лопатей ;
- використання генераторів зі змінною швидкістю обертання ротора;
- збільшення встановленої потужності вітроустановок;
- використання високих веж для підвищення ефективності роботи за рахунок більш сильних і стабільних вітрів.

- Застосування великих вітроустановок із діаметром вітротурбіни більше 45 м і встановленою потужністю 1 МВт і більше надає наступні переваги:

- зниження питомих витрат на 1 кВт встановленої потужності;
- можливість використання більше вітрової енергії на одиницю площі у випадку наявності у межах ландшафту високих перепон, а також у випадку, коли дмуть стабільні вітри одного напрямку;

- забезпечення кращої аеродинаміки внаслідок більш високих чисел Рейнольдса, що спостерігаються у лопатей із більшою хордою;

- обмеження чутливості великих лопатей до забруднень;
- більш висока економія на деяких системах, наприклад, на системі керування.

Разом із тим, виробництво та будівництво потужних вітроустановок супроводжується певними проблемами:

- виготовлення, зберігання та транспортування великогабаритних компонентів ВЕУ;

- необхідність відповідних підйомних пристроїв по висоті та вантажопідйомності;

- залежність від аеродинамічного керування потужністю та швидкістю обертання;

- забезпечення безпечного доступу обслуговуючого персоналу;

- необхідність певного розташування групи ВЕУ для запобігання електромагнітної інтерференції;

- граничні вимоги до якості виготовлення різних вузлів ВЕУ.

Характерними рисами новітніх ВЕУ середньої та великої потужності є:

- використання трилопатевої віротурбіни, виготовленої зі склопластику, армованого скляним або вуглецевим волокном, із регулюванням кута установки периферійної частини лопаті;

- застосування асинхронних двошвидкісних генераторів, що приводяться в рух через трансмісію;

- застосування активної системи орієнтації на вітер;

- використання трубчастої сталеві вежі без розтяжок; у самих останніх розробках плануються більш дешеві та більш високі башти на розтяжках;

- повністю автоматизована система керування;

- можливість тільки мережної роботи.

На рис. 2.19 показано конструкцію сучасної ВЕУ на прикладі агрегату Nordex N62/1300 потужністю 1,3 МВт.

Конструктивно вітроустановки класифікуються за двома основними ознаками:

- 1) геометрією вітроколеса;

- 2) положенням вітроколеса відповідно до напрямку вітру.

Існують дві принципово різні конструкції вітроенергетичних установок (ВЕУ): з горизонтальною і вертикальною віссю обертання.

розгортки лопатей.

Якщо вісь обертання вітроколеса паралельна повітряному потоку, то установка називається горизонтально-осьовою. Установки, що використовують силу лобового тиску, як правило, обертаються з лінійною швидкістю, меншою від швидкості вітру, а установки, що використовують підйомну силу, мають лінійну швидкість кінців лопатей, істотно більшу від швидкості вітру.

Сучасна вітроенергетика базується в основному на застосуванні вітроподвигунів: горизонтально-осьових пропелерних із горизонтальною віссю обертання й вертикально-осьових (або ортогональних) із вертикальною віссю обертання. Ротори останніх виконуються у вигляді вертикально розташованих лопатей або у спеціальному виконанні – ротори типу Дар'є.

За величиною номінального модуля швидкохідності Z горизонтально-осьові вітроустановки умовно поділяють на два типи:

- а) $Z < 2$ – тихохідні вітроустановки;

б) $Z > 2$ – швидкохідні вітроустановки.

Тихохідні горизонтально-осьові вітроустановки характеризуються великим числом лопатей, що мають профіль вигнутої (або плоскої) пластини, встановленої під великим ($\approx 10^\circ$) кутом установки θ . Оскільки такого роду профіль має низьку аеродинамічну якість K , вітроколесо для досягнення підвищених значень КВЕВ повинне мати високий коефіцієнт заповнення поверхні обмаху σ (близько 1). Таким чином, тихохідне вітроколесо – це густонаповнений лопатями диск із високою парусністю. Тихохідні вітроустановки мають переваги в порівнянні з швидкохідними, які полягають у тому, що, володіючи підвищеним пусковим моментом, вони починають роботу при слабких швидкостях вітру (2,5-3 м/с). Завдяки цьому тихохідні вітроустановки можуть використовуватися в районах зі слабкими і помірними швидкостями вітру, де швидкохідні вітроустановки значну частину часу будуть простоювати (до таких районів відноситься велика частина території України). Тихохідні вітроустановки використовуються головним чином для водопідйому за допомогою поршневих або інерційних насосів, а також для здійснення механічної роботи на млинах, лісопильнях тощо.

В даний час найбільше розповсюдження знаходять **швидкохідні горизонтально-осьові вітроустановки**, лопаті яких мають аеродинамічний профіль з аеродинамічною якістю $K \geq 10 \dots 15$. Такі лопаті, встановлені під малими кутами установки ($\theta \approx +3^\circ \dots -1^\circ$), розвивають швидкохідність Z , що досягає 14 і КВЕВ до 0,5. Традиційно швидкохідні вітроустановки мають дво- або трилопатеве вітроколесо. Данські фірми, одні з лідерів світової вітроенергетики, віддають перевагу трилопатеvim вітроколесам, які, як показує досвід, стійкіше працюють при косому обдуві повітряним потоком. З іншого боку, швидкохідні вітроустановки мегаватного класу, що виготовляються в США, ФРН, Швеції, мають, як правило, дволопатеві вітроколеса. Вибір числа лопатей важливий, оскільки їх вартість досягає 30-40% від вартості всього вітроагрегату. Лопаті виконують із легких міцних матеріалів: пресований алюміній, вуглепластик, склопластик, пресована фанера тощо.

До лопатей ставляться високі вимоги по міцності, якості поверхні, стійкості до обмерзання і перепадів температур. В Україні в Інституті електродинаміки та Інституті відновлюваної енергетики НАН України та в Росії ("Вітроен") накопичений досвід із використання при виготовленні вітроколеса вертолітних лопатей від вертольотів МІ-2, МІ-8, МІ-24.

Широкого розповсюдження швидкохідні горизонтально-осьові вітроустановки отримали за рахунок наступних переваг:

а) високе (у порівнянні з тихохідними) значення КВЕВ (до 0,5) (див. рис. 2.20);

б) високе значення номінальної швидкохідності ($Z=6 \dots 10$), що дозволяє уникнути застосування громіздких мультиплікаторів у випадку застосування у якості навантаження електрогенераторів або компресорів;

в) із усіх типів вітроустановок швидкохідні мають якнайкращі техніко-економічні показники: питома вартість 1 кВт встановленої потужності становить біля 1000 дол., питома металоємність – близько 100 кг/кВт;

г) мале число лопатей і низькі значення коефіцієнтів заповнення поверхні обмаху дозволяють істотно зменшити парусність вітроколеса і підвищити його стійкість при сильному вітрі або бурі;

д) відсутність різкого піку кривої $\xi(Z)$ дозволяє швидкохідному вітроколесу працювати з високим КВЕВ у широкому діапазоні швидкохідностей Z , оскільки в умовах непостійності швидкості вітру величина Z постійно змінюється;

е) мале число лопатей забезпечує можливість обмеження швидкості вітроколеса і його зупинку поворотом лопатей, оскільки при цьому маточина не дуже ускладнюється порівняно з тихохідними вітроколесами.

Перераховані вище переваги швидкохідних горизонтально-осьових вітроустановок забезпечують більш високу конкурентну здатність порівняно з іншими типами вітроустановок і дозволяють створювати вітроустановки великої потужності (до 4 МВт) з діаметром вітроколеса до 122 м. Швидкохідні вітроустановки мають найбільш високі техніко-економічні показники: вартість 1 кВт встановленої потужності – 800-1500 дол., питома матеріалоємність (без фундаменту) – 150-200 кг/кВт.

Основні техніко-економічні характеристики ВЕУ. Тенденцією сучасного ринку вітроенергетики є швидке зростання обсягів впровадження моделей ВЕУ потужністю 2,0 МВт і вище, які поступово витісняють клас машин 1,5 МВт. Компанія Nordex недавно повідомила, що більш 70% отриманих нею замовлень – це ВЕУ потужністю 2,3 і 2,5 МВт. Показник номінальної потужності ВЕУ в межах 2,0 – 3,0 МВт є найпоширенішим у світі за останні роки.

Основні характеристики складових частин конструкції найбільше часто використовуваних машин – це багатоступінчаста трансмісія, регулювання кроку лопатей (так звана система пітч) і зміна швидкості обертання ротора. Генератори застосовуються в більшій частині асинхронні, із двома синхронними швидкостями обертання. Впроваджуються генератори зі змінною швидкості обертання ротору на постійних магнітах сумісно з електричними інверторами.

Істотною особливістю сучасних моделей ВЕУ є низька швидкість обертання ротора маточини. За рахунок інновацій у конструкції силових передач швидкість обертання ротора знижена до 9-19 об/хв. Завдяки цьому суттєво знижений рівень шуму від ВЕУ. Крім того, значно зменшений ризик зіткнення птахів з лопатями, що рухаються.

Помітним явищем стала поява ВЕУ із ротором збільшеного діаметра в порівнянні з потужністю генератора. Цей конструктивне рішення сприяє більш продуктивній роботі ВЕУ при низьких швидкостях вітру. Конструктивним рішенням, яке також сприяє збільшенню продуктивності ВЕУ, є збільшення висоти вежі до 100-120м.

Вартісні показники виробництва електричної енергії в Україні та в провідних країнах світу. Тариф, сплачуваний за електроенергію з відновлюваних джерел в провідних європейських країнах використовують у якості механізму підтримки. Ці пільгові тарифи для офшорних станцій, уведених в експлуатацію в 2006 році, становлять (табл. 8.2):

Таблиця 8.2.

Країна	Тариф для ВЕС, Євро центів/кВт·год
Австрія	7,8
Бельгія	9,2
Болгарія	6,14
Кіпр	9,5
Естонія	5,2
Франція	8,2
Німеччина	8,4
Греція	7,9
Угорщина	9,4
Ірландія	5,8
Литва	6,4
Люксембург	9,1
Нідерланди	12,7
Португалія	7,4
Румунія	12,0
Словаччина	7,4
Словенія	6,0
Іспанія	6,9
Туреччина	5,0

Примітка. За даними компанії «Fieldstone Private Capital Group Limited».

В Україні у квітні 2009 року прийнято Закон України № 1220-VI «Про внесення змін до Закону України «Про електроенергетику» щодо стимулювання використання альтернативних джерел енергії». За зазначеним Законом «зелений» тариф встановлюється до 1 січня 2030 року. Розмір «зеленого» тарифу на електроенергію ВЕС обчислюється шляхом множення роздрібного тарифу для споживачів другого класу напруги на січень 2009 року на спеціальний коефіцієнт «зеленого» тарифу для кожного з об'єктів ВЕС відповідно до величини їх встановленої потужності. Коефіцієнт «зеленого» тарифу для електроенергії, виробленої на ВЕС з енергії вітру, величина встановленої потужності яких перевищує 2000 кВт, становить 2,1. Величина «зеленого» тарифу для виробників електроенергії з енергії вітру у 2010 році знаходиться на рівні 120,00 копійок за одну кВт·годину (без ПДВ).

Коефіцієнт «зеленого» тарифу для електроенергії, виробленої об'єктами вітроенергетики, введеними в експлуатацію (або суттєво модернізованими)

після 2014, 2019 і 2024 років, зменшується відповідно на десять, двадцять і тридцять відсотків від його базової величини.

Зазначений порядок стимулювання виробництва електроенергії ВЕС буде застосовуватися за умови, що починаючи з 1 січня 2012 року, питома вага сировини, матеріалів, основних фондів, робіт та послуг українського походження у вартості будівництва відповідного об'єкта ВЕС, що виробляє електричну енергію з енергії вітру, буде складати не менше 30%, а починаючи з 1 січня 2014 року — 50%.

Протягом останніх років фактичний тариф на електричну енергію суттєво зростає. Враховуючи що Закон про «зелений» тариф передбачає його зниження, то орієнтовно у 2014 році обидва тарифи зрівняються. А надалі «зелений» тариф буде навіть нижчим від звичайного (рис. 1).

Питомі показники капітальних вкладень. Вітроенергетика є капіталомісткою технологією, тому більшість витрат буде саме на етапі будівництва. Капітальні витрати можуть скласти до 80% від суми витрат за весь період експлуатації, з відмінностями між моделями та ринками. Витрати на ВЕУ представляють найбільшу складову витрат, після них іде підключення до мережі.

У країнах Європи, після стійкого зниження протягом більш ніж двох десятиліть, капітальні витрати на ВЕС збільшилися майже на 20% протягом кількох останніх років. Вони перебувають у межах 1100 – 1400 €/кВт для новорозроблених проектів у Європі. Ці витрати нижче в США, а також на деяких ринках, що розвиваються, зокрема в Китаї.

Будівництво ВЕС в Україні виконувалось згідно завдань Комплексної програми будівництва вітрових електростанцій, в період з 1997 по 2010 роки.

Розподіл капітальних вкладень на спорудження ВЕС по зазначеній програмі виконувався у обсягах 73% на виготовлення ВЕУ, та 27% на виконання будівельно-монтажних та пусконаладжувальних робіт.

У таблиці 8.3 наведені основні характеристики вітроенергетичного обладнання, що існує на сьогодні.

Таблиця 8.3. Основні характеристики вітроенергетичного обладнання

Назва, марка	Пчела-3	ВЕУ-0.75	ВЕУ-1	ВЕУ-1,5-3,5	АВЕ-2-4,5	АВЕ-4-7
Тип	Електрична	Електрична	Електрична	Електрична	Електрична	Електрична
Номінальна потужність, кВт	0,15	0,75	1,0	1,5	2	4
Номінальна швидкість вітру, м/с	7	7,5		9	9,6	8,5
Діапазон робочих швидкостей вітру, м/с	3,5 - 45	2,5 - 45	3,5 - 45	4 - 30	4 - 40	4 - 40
Тип ротора	Горизонтально-осьова	Горизонтально-осьова	Горизонтально-осьова	Горизонтально-осьова	Горизонтально-осьова	Горизонтально-осьова
Діаметр ротора, м	1,55	3,1	3,9		4,5	7
Кількість лопатей, шт.	3	3	3	3	3	3
Аеродинамічний профіль лопатей				FX170K	FX170K	
Номінальна частота обертання ротора, об/хв.	650	330	240	500	400	220
Система регулювання обертів (потужності)	Аеровідцентрова	Аеро-стабілізаторна	Аеро-стабілізаторна	Вивід ротора з-під вітру в горизонтальну площину	Аеровідцентрова	Аеровідцентрова
Система орієнтації	За допомогою хвоста	Вітрильність ротора	Вітрильність ротора			Вітрильність ротора
Система гальмування			Відсутні		Ручне гальмо	Ручне гальмо
Тип башти	Трубчаста	Трубчаста	Трубчаста	Трубчаста	Трубчаста	Трубчаста
Висота башти, м	3		7	8	8,3	8,3
Тип генератора	На постійних магнітах	Багатополюсний		На постійних магнітах	Асинхронний автомобільний	Асинхронний автомобільний
Номінальна напруга, В	12	28	220/24	220	220/24	220/24
Номінальна частота напруги, Гц			50	50	50	50
Додаткове електричне обладнання					Система керування	Система керування
Загальна вага, кг	15	400	160	280	600	950
Вартість	350 \$США	1200 \$США	970 \$США			
Розробник	СКБ ХАІ	СКБ ХАІ	СКБ ХАІ	ІЕД НАН України	ІЕД НАН України	ІЕД НАНУ
Виробник	НПФ "Енергодар"	Компанія "ВИТЭН"	НПФ "Енергодар"	ДНДІ НЕЕ	Херсонський комбайн. з-д	ДП «Дослідне виробництво Інституту проблем машинобудування НАН України» ім.Підгорного

Продовження таблиці 8.3.

Назва, марка	ВЕУ-4/12	ВМ-5	АВЕ-10,0	ВЕГ-10/60	ДН-15	ЭСО-0020	ВМ-37	Вітрогенера-тор
Тип	Електрична	Електрична	Електрична	Електрична опріснювальна	Електрична	Електрична	Електрична	Електрична
Номінальна потужність, кВт	4,0	5	10,0	10	15	20	45	50
Номінальна швидкість вітру, м/с	12	9	12	9,0	8,0		10,3	
Діапазон робочих швидкостей вітру, м/с	4 - 40	2,5 - 25	3 - 20	3 - 60	1,8 - 25	5 - 20	2,5 - 25	
Тип ротора	Ротор Савоніуса	Горизонтально-осьова	Горизонтально-осьова	Горизонтально-осьова	Горизонтально-осьова	Вертикально-осьова	Горизонтально-осьова	Горизонтально-осьова
Діаметр ротора, м	3,13	8	8,1	9,0	14	7,2	16	12
Кількість лопатей, шт.	3	2	3		3	2	2	16
Аеродинамічний профіль лопатей						NACA0020		
Номінальна частота обертання ротора, об/хв.		215		125	60		35/70	60
Система орієнтації				Вітрильність ротора				За допомогою хвоста
Система гальмування								
Тип башти		Трубчаста (бетонна)	Трубчаста	Трубчаста	Трубчаста (бетонна)		Трубчаста (бетонна)	Баштовий кран КБ100
Висота башти, м		20	10		20		20,8	17
Тип генератора		Синхронний		На постійних магнітах	Асинхронний		Асинхронний	
Номінальна напруга, В	110	380/220	220/12	380/220	380/220	380/220	380	220
Номінальна частота напруги, Гц		50	50	50	50	50	50	50
Додаткове електричне обладнання				Акумуляторна батарея				
Загальна вага, кг			320			18000	2800	18000
Вартість	3500-5000 грн.	4900 \$ США			12600 \$ США	30000 \$ США	39600 \$ США	8000 \$ США
Розробник		СП "Електро-сервис"	НВП "Ікар"	КБ "Південне"	СП "Електро-сервис"	Фірма "ЕСО"	СП "Електро-сервис"	ДП "Трансмаш-інвест"
Виробник	Галицький мех. завод	СП "Електро-сервис"	НВП "Ікар"			Фірма "ЕСО"	СП "Електро-сервис"	ДП "Трансмаш-інвест"

Методи підвищення ефективності вітроенергетичного обладнання.

Найбільш актуальними проблемами сучасної вітроенергетики є:

1) забезпечення довготривалого, протягом 20-25 років, функціонування вітроелектричних агрегатів;

2) забезпечення ефективного використання енергії вітру;

3) стабілізація частоти електроенергії, що виробляють вітроустановки.

Вирішення цих проблем неможливе без дослідження впливу турбулентності повітряного потоку за площиною обертання вітроколеса на роботу як автономних вітродизельних енергоустановок, так і на роботу вітроелектричних генераторів, що підключені до мережі. Одночасно для автономних вітроелектричних установок, що працюють на ізольовану локальну електричну мережу, котра не має задавачів промислової частоти, питання стабілізації частоти обертання вітроколеса і, відповідно, частоти електричного струму, що виробляється, є найбільш важливим. Аналіз електричних схем систем керування кутовим положенням лопатей більшості вітроагрегатів свідчить, що всі вони побудовані за принципом порівняння частоти обертання лопатей і вмонтованого в систему керування кварцованого генератора базової частоти з подальшим переданням команди виконуючим органам (електромеханічним або гідравлічним) на змінення кута атаки лопатей, пропорційно виміряній розбіжності частот. При такій схемі робочим органом, який вимірює швидкість вітру, є ротор вітроагрегата. Розміри та маса лопатей, що становлять ротори вітроагрегатів середньої та великої потужності, такі, що вимірювання швидкості за допомогою ротора є дуже інерційним. Забезпечити більш "тонке" регулювання кутового положення лопатей при всіх змінах швидкості повітря можна при застосуванні критерію оптимальності. Цей критерій мінімальним змінам швидкості повітря ставить у відповідність мінімум функціоналу керування. З цієї точки зору, збільшення швидкості протікання перехідних процесів у системах керування і генерування електроенергії, а також збільшення вироблення електроенергії можливі при введенні в контур системи керування кутовим положенням лопатей вимірювача швидкості повітря і диференціатора. Таким чином, більш сучасними, ніж описані, є схеми, які включають до свого складу вимірювачі швидкості повітря – анемометри. При цьому природне бажання – розташувати анемометр як можна ближче до вітроагрегату на висоті осі обертання ротора, щоб одержати найбільш достовірне вимірювання швидкості повітря. Дуже часто анемометри встановлюють на даху гондоли горизонтально-осьового вітроагрегату. В такому випадку, коли вітроколесо знаходиться з навітреного боку гондоли, анемометр попадає за площиною обертання лопатей в потужний турбулентний потік, що спотворює інформацію

Основні характеристики складових частин конструкції найбільш часто використовуваних машин – це багатоступінчаста трансмісія, регулювання кроку лопатей (так звана система пітч) і зміна швидкості обертання ротора. Генератори застосовуються переважно асинхронні, з двома синхронними швидкостями

обертання. Впроваджуються генератори зі змінною швидкістю обертання ротора на постійних магнітах сумісно з електричними інверторами.

Істотною особливістю сучасних моделей ВЕУ є низька швидкість обертання ротора маточини. За рахунок інновацій у конструкції силових передач швидкість обертання ротора знижена до 9-19 об/хв. Завдяки цьому суттєво знижений рівень шуму від ВЕУ. Крім того, значно зменшений ризик зіткнення птахів з лопатями, що рухаються.

Помітним явищем стала поява ВЕУ з ротором збільшеного діаметра в порівнянні з потужністю генератора. Це конструктивне рішення сприяє більш продуктивній роботі ВЕУ при низьких швидкостях вітру. Конструктивним рішенням, яке також сприяє збільшенню продуктивності ВЕУ, є збільшення висоти вежі до 100-120 м.

Ефективність експлуатації ВЕУ в складі різних ВЕС може порівнюватися в основному за таким інтегральним показником, як коефіцієнт використання встановленої потужності (КВВП). Він залежить від наявного вітропотенціалу, технічної готовності ВЕУ, стану станційного обладнання, якості обслуговування, якості проектних рішень (впливу рельєфу площадки, взаємозатінення вітроелектростанцій тощо).

Лекція 9

Основні характеристики та енергетичні показники сонячної радіації.

Класифікація методів перетворення енергії сонячної радіації

Напрями, стан та перспективи освоєння енергії сонячної радіації. Питомі енергетичні показники сонячної радіації та розподіл енергетичного потенціалу на території Землі та України. Класифікація методів перетворення енергії сонячної радіації.

Напрями, стан та перспективи освоєння енергії сонячної радіації

Використання сонячної енергії відноситься до актуальних проблем світової спільноти в зв'язку з вичерпністю запасів викопного органічного палива та глобальним погіршенням стану навколишнього середовища.

Сонячна енергетика складається з наступних галузей:

- виробництво електроенергії з використанням фотоелектричних перетворювачів (ФЕП) та сонячних термодинамічних електростанцій (з використанням паротурбінної технології);

виробництво теплоти для тепlopостачання об'єктів з використанням колекторів сонячної енергії та пасивних геліосистем.

Сонячна електроенергетика. Найбільш динамічно за останні роки поширюється виробництво і впровадження фотоелектричних сонячних електроенергетичних установок (СЕУ).

За оцінками експертів Міжнародного енергетичного агентства (ІЕА) світова сонячна енергетика вже через 40 років, враховуючи сьогоденні тенденції розвитку технологій, буде здатна виробляти близько 9 тисяч ГВт год./рік, або 20-25% усієї необхідної електроенергії, і це забезпечить скорочення викидів вуглекислого газу на рівні 6 млрд. т щорічно.

В світі та в Україні є досвід створення сонячних електростанцій (СЕС), що працюють за термодинамічним циклом потужністю до сотень МВт. Найбільш динамічно зараз ці технології розвиваються у США, Іспанії, Португалії та Австралії, де є державна підтримка будівництва таких станцій.

На даний час в Україні введені в експлуатацію автономні сонячні станції загальною потужністю 2МВт. В Україні у 2009-2010 р вироблено фотоелектричних елементів загальною потужністю біля 150 МВт, які практично повністю пішли на експорт – щорічні обсяги впровадження в Україні становлять лише біля 100 кВт.

На кінець 2011 року встановлена потужність ФЕС склала 188 МВт.

Сонячна теплоенергетика. Найбільш освоєним в світі є використання сонячної енергії для тепlopостачання об'єктів. Опрацьовані майже всі напрямки сонячних теплотехнологій – тепlopостачання (включаючи гаряче водопостачання та опалення), холодопостачання, кондиціонування повітря, отримання прісної води, сушка матеріалів та виробів і ряд інших. Для реалізації

цих технологічних процесів розроблена широка гама необхідних пристроїв та обладнання.

Основним елементом геліосистеми є сонячний колектор, в якому, власне, і відбувається перетворення енергії сонячної радіації в теплову. Тому обсяги впровадження таких систем вираховуються за загальною площею та, при порівняльних розрахунках між окремими країнами, за питомими величинами на одного мешканця. За існуючими даними загальна площа змонтованих сонячних колекторів у світі на кінець 2008 року становила біля 300 млн. м². В даний час сонячна енергія забезпечує більше 4 млн. ГДж низькопотенційної теплоти для гарячого водопостачання та опалення об'єктів.

Загальна площа впроваджених сонячних колекторів в Україні на кінець 2008 року становила 45 тис. м², а за 2010р. загальна потужність створених геліосистем досягає 200 МВт.

Кількісні планові показники виробництва теплової та електричної енергії з використанням енергії сонця наведені в таблиці 9.1.

Таблиця 9.1.

Напрями розвитку сонячної енергетики	Рівень розвитку за 2010 рік
Виробництво електроенергії	
Встановлені потужності, МВт	150
Обсяг виробництва електроенергії, млн.кВт.год	160
Обсяг заміщення традиційних ПЕР, тис. т у п	57,5
Виробництво теплової енергії	
Встановлені потужності, МВт	200
Обсяг виробництва теплової енергії, млн. кВт.год	365
Обсяг заміщення традиційних ПЕР, тис. т у п	131

В Україні за 2010 рік в галузі сонячної енергетики досягнуті наступні обсяги заміщення традиційних паливно-енергетичних ресурсів:

- економія умовного палива - 20 т у. п.;
 - заміщення викидів СО₂- 40 тис. т;
 - обсяги заміщення природного газу - 18 млн. м³
- в тому числі в тепловій сонячній енергетиці:
- економія умовного палива - 12 т у. п.;
 - заміщення викидів СО₂- 22 тис. т;
 - обсяги заміщення природного газу - 10 млн. м³.

В Україні є достатньо аргументовані передумови для масштабного освоєння сонячної енергії. В першу чергу це наявність значного енергетичного потенціалу та науково-технічної і промислової бази за всіма основними напрямками сонячної енергетики. Зведені прогнозні базові показники розвитку сонячної енергетики в Україні до 2030 року наведені в таблиці 9.2.

Таблиця 9.2. Прогнозні базові показники розвитку сонячної енергетики в Україні до 2030 року

Прогнозні показники розвитку сонячної енергетики	Одиниці виміру	Рівень розвитку сонячної енергетики по роках			
		2015	2020	2025	2030
Зведені показники розвитку сонячної енергетики					
Річна економія умовного палива	млн т у.п./рік	0,71	2,47	3,74	6,0
Обсяги заміщення природного газу	млн м ³	616	2080	3190	5190
Обсяги зменшення викидів діоксиду вуглецю	тис. т	1290	4405	6660	10840
Кількість додаткових робочих місць	тис. осіб	5,85	14,13	10,44	20,43

Основними шляхами і способами розв'язання проблем сонячної енергетики в Україні є:

- проведення наукових фундаментальних і прикладних досліджень,
- науково-дослідних і проектно-конструкторських розробок та організації їх впровадження;
- здійснення підготовки фахівців;
- створення профільної інфраструктури на основі вже існуючих навчальних, проектно-конструкторських та науково-дослідницьких організацій;
- розробка нормативно-правової бази, що сприятиме впровадженню розробок на основі використання сонячної енергії, в тому числі щодо доступу об'єктів сонячної електроенергетики до електричних та теплових мереж енергокомпаній;
- створення сертифікаційної та метрологічної бази;
- розвиток вітчизняного промислового виробництва та створення бази для виготовлення технічних пристроїв та обладнання, монтажу, експлуатації, ремонту та сервісу;
- впровадження обов'язкового державного регулювання (управління і контроль) процесів збереження профілю, переорієнтації і використання наявних виробничих потужностей після реконструкції підприємств та їх нарощування відповідно до сучасних вимог;
- формування законодавчого простору надання податкових пільг для вітчизняних підприємств-виробників з експорту елементів сонячної енергетики та застосування жорсткої цінової та податкової політики щодо імпорту елементів сонячної енергетики в Україні;
- забезпечення пріоритетного фінансування науково-конструкторських робіт з сонячної енергетики, що виконуються на замовлення в межах державних і галузевих програм усіх рівнів;

- залучення передових технологій у галузі сонячної енергетики на основі взаємовигідних інвестиційних вітчизняних та зарубіжних проєктів;
- створення ефективної державної системи ціноутворення, спрямованої на збільшення частки заробітної плати в ціні продукції та збільшення реальної заробітної плати працівників в галузі сонячної енергетики.

Питомі енергетичні показники сонячної радіації та розподіл енергетичного потенціалу на території Землі та України

Сонце кожену секунду випромінює $88 \cdot 10^{24}$ кал теплоти, що еквівалентно $1,25 \cdot 10^{16}$ т у.п. або $1,02 \cdot 10^{20}$ кВт·год. На Землю попадає тільки частина цієї енергії – біля $1 \cdot 10^{18}$ кВт·год ($123 \cdot 10^{12}$ т у.п.) за рік, що приблизно в 100 разів перевищує енергетичні ресурси всіх розвіданих горючих копалин на Землі.

Густина сонячного потоку в космосі приблизно дорівнює $1,35$ кВт/м². Максимальна інтенсивність сонячного випромінювання на поверхні Землі дорівнює 1 кВт/м², однак тривалість його становить всього 1-2 години в літні дні. Середня інтенсивність сонячного випромінювання в більшості районів земної кулі становить 200-250 Вт/м².

На рисунку 9.1 показано розподіл сонячного випромінювання при проходженні від Сонця до Землі. Як видно, третина сонячної радіації відбивається атмосферою в космос. Дві третини сонячного випромінювання проходить через верхні шари атмосфери, і подальший розподіл сонячної енергії відбувається наступним чином: частина сонячної радіації відбивається від поверхні Землі і повертається назад у космос (**а** – 5%), відбивається хмарами (**б** – 20%), поглинається атмосферою (**в** – 25%).

Безпосередньо на поверхню Землі попадає біля 50% від загальної кількості сонячного випромінювання, що проходить через верхні шари атмосфери, 23% з якого становить розсіяна сонячна радіація (**г**) і 27% – пряма сонячна радіація (**д**).

При створенні та впровадженні сонячного енергетичного обладнання використовуються дані про кількість сумарної сонячної радіації і її складових, періодичність та змінність режимів її надходження. Створена і успішно застосовується методика вимірювань сонячних елементів наземного використання. Методика включає в себе вимірювання характеристик сонячних елементів на дійсному Сонці, на імітаторах Сонця, а також на сконцентрованому сонячному випромінюванні. При її розробці враховувалась можливість узгодження вимог вимірювання у більш широкому міжнародному масштабі; в ній використано досвід досліджень, які проводилися в різних країнах світу.

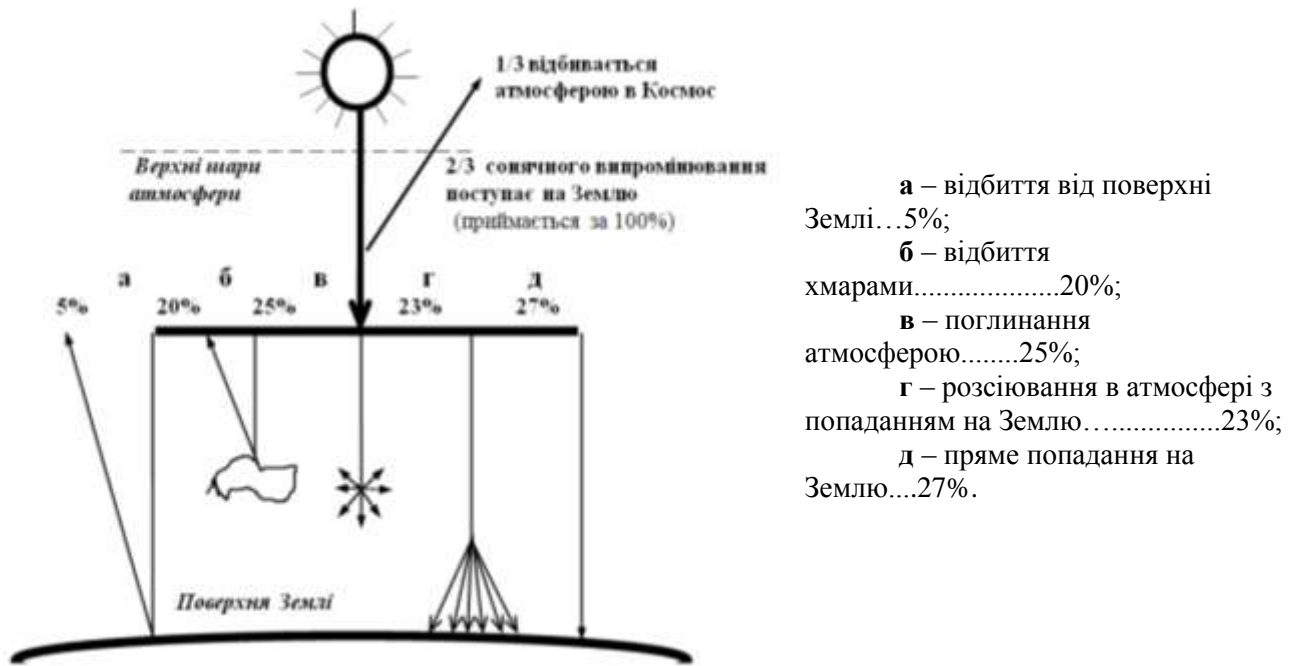


Рисунок 9.1. Розподіл сонячного випромінювання

Для точних вимірів ККД сонячних елементів необхідно забезпечити повне відтворення стандартних параметрів сонячного випромінювання, таких як щільність потоку, спектральне і кутове розподілення енергії, однорідність і стабільність потоку.

Знаючи абсолютне значення сонячної постійної, можна визначити енергію, що потрапила на поверхню сонячних елементів і батарей, які працюють у неатмосферних умовах, що потрібно для розрахунку ККД. Але, щоб визначити корисну електричну енергію, отриману з сонячного елемента, необхідно точно виміряти також спектральне розподілення падаючої радіації, особливо в інтервалі спектральної чутливості сучасних сонячних елементів (для кремнію 0,3-1,1 мкм). Спектральне розподілення енергії випромінювання Сонця неодноразово вимірювалось як з поверхні Землі, так і за межами атмосфери.

Згідно цієї методики характеристики сонячних елементів можна виміряти в прямому і повному потоках випромінювання.

Прямим називають потік променевої енергії Сонця, що припадає на одиницю поверхні плоского приймача, розміщеного перпендикулярно падаючим променям. Мова йде, відповідно, про енергетичне випромінювання Сонця при нормальному падінні променів. Термін "пряме" вказує на те, що мається на увазі випромінювання, яке проходить безпосередньо від Сонця, без будь-якої додаткової кількості розсіяної або відбитої радіації, яка поступає на Землю після зміни напрямку внаслідок відбивання та розсіювання атмосферою.

Поряд із вимірюванням прямого сонячного випромінювання більш важливими для теоретичних досліджень та практичного впровадження є вимірювання кожного дня сумарного, або повного, сонячного випромінювання (суми прямого і розсіяного випромінювання), яке приходить на горизонтальну поверхню.

Самий загальний метод вимірювання потоків сонячного випромінювання базується на здатності ряду приладів перетворювати сонячну енергію в тепло, причому для вимірювання кількості отриманого тепла використовуються достовірні і точні класичні калориметричні методи.

Для вимірювання прямого сонячного випромінювання використовуються піргеліометри. Прилади такого ж типу для вимірювань кожного дня називаються актинометрами. Прилади для вимірювання сумарного сонячного випромінювання називаються піранометрами.

Надходження сумарної сонячної радіації змінюється протягом доби, досягаючи свого максимуму в полудень, і протягом року, досягаючи максимуму в літні місяці і мінімуму в зимові. Різним регіонам планети властива різна інтенсивність сонячної радіації протягом року – в районах пустель у зимовий час надходження сумарної сонячної радіації майже в 2 рази менше порівняно з літнім періодом року, в районах високих широт – менше майже в 10 разів. Так, у південних районах України це співвідношення дорівнює 4-5, а в північних – 6-7. Крім того, змінними величинами є самі складові сумарної сонячної радіації (пряма та розсіяна сонячна радіація), причому часто збільшення однієї з величин приводить до зменшення іншої, майже не впливаючи на їх суму. Складова прямої сонячної радіації в добовій сумі сонячної радіації, що попадає на горизонтальну поверхню Землі, може знаходитися в діапазоні від 90% в дуже ясний день і до 0% в дуже хмарний день.

Величина сумарної сонячної радіації зі збільшенням висоти місцевості до 200 м практично не змінюється – в даному випадку змінюється співвідношення її складових – збільшення величини прямої сонячної радіації компенсується зменшенням величини розсіяної. Величина та співвідношення складових сумарної сонячної радіації необхідні для вибору типу геліоенергетичного обладнання. В регіонах, де переважає пряма сонячна радіація, можна застосовувати сонячні колектори з концентраторами сонячного випромінювання. Розсіяне сонячне випромінювання не можна сконцентрувати за допомогою дзеркал; якщо значна частина сонячної радіації надходить у вигляді розсіяної, тоді використовують плоскі сонячні колектори, які збирають як пряме, так і розсіяне сонячне випромінювання і можуть ефективно застосовуватись не лише в ясні, але й у хмарні дні.

Кількість сонячної енергії, яку отримує поверхня Землі зменшується зі зростанням широти. Чим далі від екватора, тим менший кут падіння сонячних променів на поверхню, і тим більша відстань, яку повинен пройти промінь у атмосфері. Внаслідок цього середньорічна температура на рівні моря зменшується

приблизно на 0.4°C на один градус широти. Поверхню Землі розділяють на широтні пояси з приблизно однаковим кліматом: тропічний, субтропічний, помірний та полярний.

Енергетичні ресурси сонячної енергетики України

Сумарне річне надходження сонячної радіації на територію України оцінюється на рівні $720 \cdot 10^{12}$ кВт·год, що є еквівалентним 88,4 млрд т у.п. Територіальний розподіл теоретично-можливого і технічно-досяжного потенціалу сонячної енергії на території України наведено в таблиці 9.3 та на рис. 9.2. Річний технічно-досяжний енергетичний потенціал сонячної енергії в Україні є еквівалентним 6 млн т у.п., а його використання дозволяє заощадити біля 5 млрд м³ природного газу.

Таблиця 9.3. Енергетичний потенціал сонячної енергії на території України

з/п	Області	Потенціал сонячної енергії, т у.п./рік		з/п	Області	Потенціал сонячної енергії, т у.п./рік	
		Теоретично-можливий потенціал ($\times 10^9$)	Технічно-досяжний Потенціал ($\times 10^5$)			Теоретично-можливий потенціал ($\times 10^9$)	Технічно-досяжний потенціал ($\times 10^5$)
.	АР Крим	4,5	3,8	4.	Миколаївська	4,0	2,6
.	Вінницька	3,7	2,5	5.	Одеська	5,6	3,7
.	Волинська	2,6	1,8	6.	Полтавська	3,8	2,6
.	Дніпропетровська	4,5	3,2	7.	Рівненська	2,6	1,7
5.	Донецька	4,1	2,7	8.	Сумська	3,2	2,2
.	Житомирська	4,0	2,6	9.	Тернопільська	2,0	1,5
.	Закарпатська	1,8	1,4	0.	Харківська	4,3	2,9
.	Запорізька	4,3	2,8	1.	Херсонська	4,7	3,1
.	Івано-Франківська	2,0	1,3	2.	Хмельницька	3,0	2,0
0.	Київська	3,8	2,6	3.	Черкаська	3,8	2,1
1.	Кіровоградська	3,4	2,3	4.	Чернівецька	1,2	0,9
2.	Луганська	4,2	2,7	5.	Чернігівська	4,2	2,8
3.	Львівська	3,1	2,2		ВСЬОГО	88,4	60,0

Потенціал сонячної енергії в Україні є достатньо високим для широкого впровадження як теплоенергетичного, так і фотоенергетичного обладнання практично в усіх областях. Термін ефективної експлуатації сонячних водонагрівачів у південних областях України становить 7 місяців (з квітня по жовтень), у північних областях – 5 місяців (з травня по вересень). У кліматометеорологічних умовах України для сонячного тепlopостачання ефективним є застосування як плоских сонячних колекторів, так, у подальшому, і концентруючих, які використовують

пряму і розсіяну сонячну радіацію. Фотоенергетичне обладнання може достатньо ефективно експлуатуватися протягом всього року.

У таблиці 9.4 представлено середньомісячні та середньорічні дані щодо надходження прямої, розсіяної та сумарної сонячної радіації на горизонтальну поверхню в різних кліматичних зонах України.

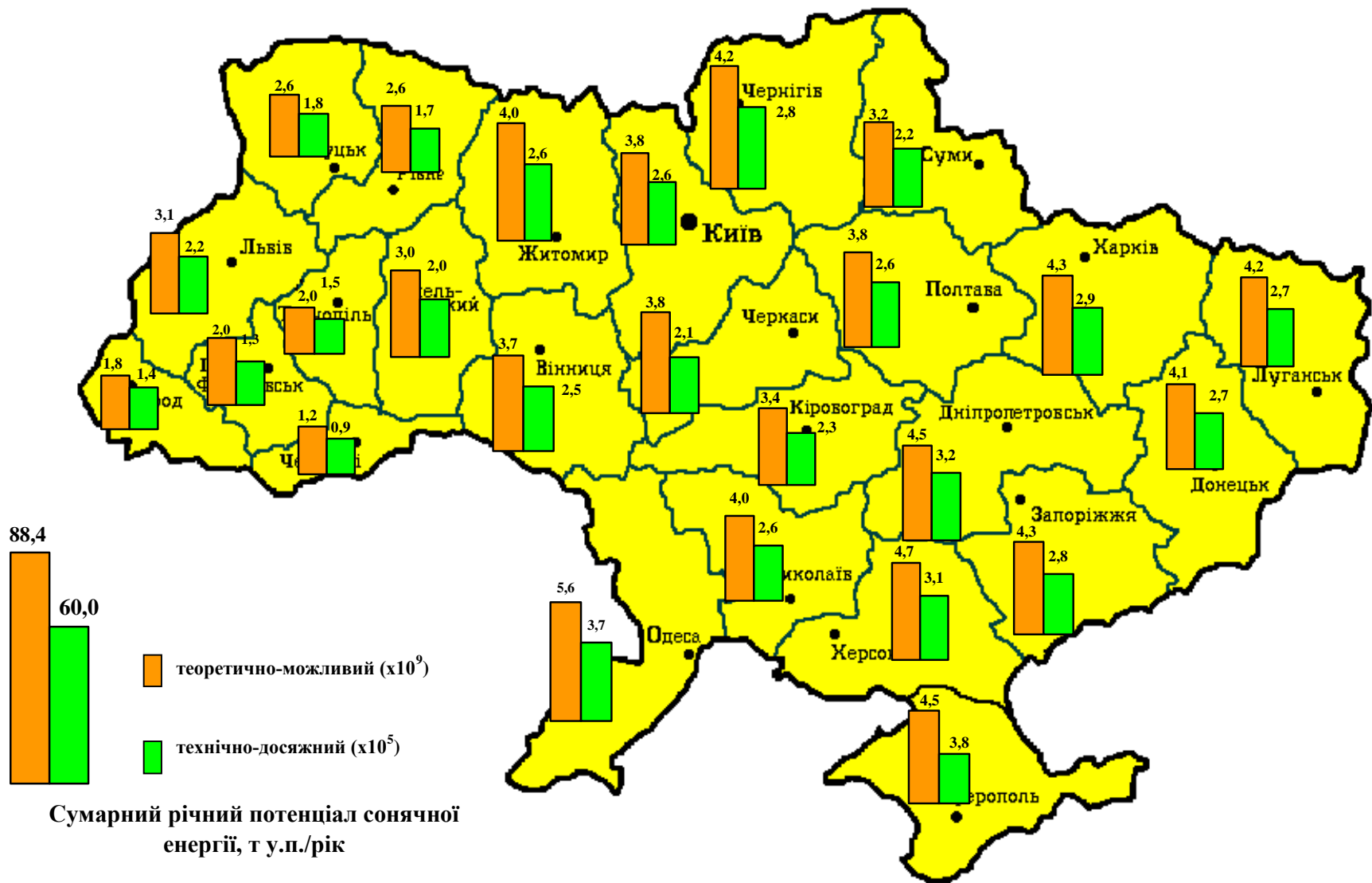


Рисунок 9.2. Розподіл потенціалу сонячної енергії на території України

Таблиця 9.4. Середньомісячні і середньорічні суми надходження прямої (I), розсіяної (II) і сумарної (III) сонячної радіації на горизонтальну поверхню в різних кліматичних зонах України

Кліматичні зони України		Надходження сонячної радіації на горизонтальну поверхню за місяцями року, кВт·год/м ²											Сумарне надходження сонячної радіації за рік, кВт·год/м ²	
			I	II	V		I	II	III	X		I		II
Чернігівська область		,656	0,48	7,94	8,89	7,99	3,81	4,97	3,33	5,40	4,44	,148	,656	494,70
	I	0,95	1,43	1,22	9,36	1,48	6,82	3,81	7,51	8,89	2,59	3,97	0,476	578,51
	II	5,61	1,91	9,16	08,25	59,47	60,63	68,78	40,84	4,29	7,03	2,12	5,13	1073,21
Київська область		,15	3,97	0,26	4,71	9,15	4,28	7,78	9,15	2,38	7,94	,15	,49	549,41
	I	9,79	6,77	1,90	5,18	6,82	3,81	1,48	6,35	8,89	1,43	7,46	1,64	571,52
	II	7,94	0,74	2,16	19,89	55,97	78,09	79,26	45,50	01,27	9,37	5,61	5,13	1120,93
Одеська область		5,13	0,95	4,23	9,36	8,46	00,10	21,06	11,74	6,14	6,56	3,97	0,48	718,18
	I	2,12	9,10	7,72	9,36	2,17	9,84	8,68	1,69	4,23	6,08	0,95	7,46	549,40
	II	7,25	0,05	1,95	18,72	60,63	69,94	89,74	73,43	30,37	2,64	4,92	7,94	1267,58
АР Крим		5,13	0,95	7,72	7,99	6,61	23,38	45,50	23,38	7,30	9,36	2,12	1,64	831,08
	I	4,44	1,43	1,22	9,36	3,33	9,84	6,35	7,04	8,89	8,41	7,94	0,95	569,20
	II	9,57	2,38	8,94	37,35	69,94	93,22	11,85	80,42	36,19	7,77	0,06	2,59	1400,28

Як видно, різниця в надходженні середньомісячної сумарної сонячної радіації при поступовій зміні географічної широти по всій території України досить незначна; різниця, яку слід враховувати при впровадженні геліотехнічного обладнання, спостерігається в основному між даними щодо надходження сумарної сонячної радіації в самих північних та самих південних регіонах України в літні місяці. Середньорічна кількість сумарної сонячної радіації, що надходить на 1 м² поверхні, знаходиться в межах від 1070 кВт·год/м² у північній частині України до 1400 кВт·год/м² в Автономній Республіці Крим. По всій території України спостерігається рівномірний розподіл в рамках цього діапазону з поступовим збільшенням у напрямку південних широт.

Класифікація методів перетворення енергії сонячної радіації

Сонячна енергетична установка – це енергетична установка, що перетворює енергію сонячної радіації в інші види енергії (наприклад, в теплову або в електричну).

Переваги енергії сонячної радіації порівняно з традиційними видами палива полягають у наступному:

- джерело енергії практично невичерпне;
- можливість використання енергії сонячної радіації на більшості ділянок поверхні Землі як місцевого енергетичного джерела;
- можливість безпосереднього перетворення енергії сонячної радіації в електричну;
- можливість отримання високих температур ($> 500^{\circ}\text{C}$);
- можливість прискорення дії у фотохімічних процесах.

В сонячній енергетиці можна виділити два основних практичних напрями використання сонячної енергії:

1) **перетворення сонячної енергії в електричну енергію**, в тому числі:

- фотоелектричний метод перетворення (електромагнітне випромінювання оптичного діапазону Сонця перетворюється в електроенергію постійного струму);
- термодинамічний метод перетворення (сконцентрована сонячна енергія використовується для одержання пари, яка, обертаючи турбогенератор, виробляє електроенергію);

2) **перетворення сонячної енергії в теплову енергію**, в тому числі:

- опалення;
- гаряче водопостачання.

Нижче представлено основні базові елементи сонячного енергетичного устаткування, що використовуються при освоєнні сонячної енергії.

При **виробництві електроенергії** застосовуються фотоелектричні перетворювачі (ФЕП), або сонячні елементи (СЕ), або фотоелементи (ФЕ) при застосуванні фотоелектричного методу перетворення. Сонячні електростанції (СЕС) функціонують при застосуванні термодинамічного методу перетворення.

При застосуванні термодинамічного методу енергія сонячної радіації концентрується на котлі, пара з якого надходить на турбіну з електрогенератором.

У процесі перетворення **сонячної енергії в теплову** радіаційне сонячне випромінювання сприймається сонячним колектором (СК) – це об’ємна конструкція, через яку циркулює теплоносій, а її зовнішня сторона (обернена до джерела випромінювання) має чорну поглинаючу поверхню.

Основним технічним елементом сонячних теплових геліоустановок є сонячні геліоприймачі різних типів або сонячні колектори.

Системи на основі сонячних енергетичних установок, що перетворюють енергію сонячної радіації в теплову, поділяються на дві основні групи:

–пасивні – приймачем служать самі об’єкти, що нагріваються. Використання енергії Сонця проводиться за рахунок планувального та архітектурно-будівельного розташування споруд;

–активні – енергія сприймається, накопичується і транспортується в спеціальних пристроях. Основним елементом є геліоприймач. Як теплоносій може виступати газ (повітря) або рідина (вода, розчин солей). В залежності від

виду теплоносія будується подальша конструкція теплової сонячної енергоустановки.

Для низькопотенційних установок найбільш розповсюдженим типом геліоприймача є плоский. Він побудований у вигляді ящика, всередині якого розташований колектор, конструктивно виконаний у вигляді трубопроводу різної конфігурації з гофрованою або чарунчастою поверхнею. Колектор має покриття з великою поглинаючою спроможністю. Стінки ящика обкладені тепловою ізоляцією. Один із боків має прозоре покриття, яке може бути одно-, дво- чи тришарове.

За призначенням теплові сонячні енергоустановки в основному застосовують для гарячого водопостачання та кондиціонування як індивідуальних споживачів, так і групових, або будують централізовані системи. Для надійності енергопостачання до сонячних енергоустановок додають акумуляуючі пристрої з короткочасною або довгостроковою акумуляцією. Крім того, вони можуть мати дублюючий (резервний) нагрівач (наприклад, електронагрівач, що живиться від центральної мережі). За характером руху теплоносія системи можуть бути з вільним або вимушеним режимом теплообміну, а за числом контурів теплообміну – одно-, дво- або багатоконтурними.

Таким чином, сонячні енергоустановки входять у фізичну систему узгодження енергопотоків надходження енергії сонячної радіації та потреб споживача, що діє протягом певного нормативного часу. В даних системах вхідними змінними є надходження енергії сонячної радіації та енергія від резервного (традиційного) джерела, вихідними – потреби об'єкта в теплоті. Реалізація узгодження потоків від джерела до споживача здійснюється технічними засобами, що побудовані за блочним принципом і містять первинні перетворювачі (сонячні нагрівачі), систему накопичення (теплові акумулятори), допоміжне та резервне обладнання (насоси для циркуляції теплоносія, електронагрівач, електронний регулятор, датчики).

Варіанти структурних схем енергозабезпечення об'єктів від енергії сонячної радіації можуть бути різними, основними з них є наступні:

- сонячна енергоустановка складається із сонячних нагрівачів та акумулятора;
- в акумуляторі сонячної енергоустановки проходить поєднання двох потоків енергії – від сонячних колекторів і від теплоелектричного нагрівача;
- використовується насос для циркуляції теплоносія, що впливає на процес теплообміну в сонячному колекторі;
- в акумуляторі сонячної енергоустановки проходить поєднання двох потоків енергії – від сонячних колекторів і від теплоелектричного нагрівача;
- використовується насос для циркуляції теплоносія та поєднання двох потоків енергії – від сонячних колекторів і від теплоелектричного нагрівача;
- використовуються двоконтурні системи, застосування яких проводиться в тих випадках, коли пряме використання теплоносія неможливе (наприклад, при використанні в першому контурі розчинів з антикорозійними присадками).

В Україні, як найбільш перспективні на даний час, визначено такі напрями використання сонячної енергії:

◆ **сонячна електроенергетика** або пряме перетворення сонячної енергії в електричну енергію постійного струму за допомогою фотоперетворювачів;

◆ **сонячна теплоенергетика** або безпосереднє перетворення сонячної енергії в низькопотенційну теплову енергію без попередньої концентрації потоку сонячної радіації (для гарячого водопостачання об'єктів, комунально-побутового та технологічного теплопостачання, потреб сільського господарства).

Лекція 10

Фотоенергетика. Сонячна теплоенергетика

Методи отримання електроенергії за рахунок використання сонячних фотоперетворювачів. Принцип дії сонячних фотоперетворювачів, сучасні технології отримання матеріалів для сонячних фотоелементів. Основні технічні та економічні показники фотоенергетичного обладнання. Сонячні електростанції.

Класифікація, принцип дії та області застосування сонячних колекторів. Системи гарячого тепlopостачання та опалення за рахунок сонячної енергії. Основні технічні та економічні показники обладнання теплової геліоенергетики.

Фотоенергетика

Методи отримання електроенергії за рахунок використання сонячних фотоперетворювачів

Сонячна електроенергетика базується на перетворенні сонячної енергії в електричну із застосуванням фотоелектричного та термодинамічного методів.

Сонячні електроенергетичні установки (СЕУ) поділяються на:

- фотоелектричні і термоелектричні, в яких енергія сонячного випромінювання безпосередньо перетворюється в електричну енергію постійного струму;
- термодинамічні з багаторазовим перетворенням сонячної енергії: спочатку в теплоту, потім у механічну і електричну енергію.

Промислові ФЕП мають ККД в межах від 10 до 30%; при середньому надходженні сонячного випромінювання вони можуть виробляти за день від 1 до 2 кВт·год електроенергії на 1 м² робочої поверхні. Сонячні елементи генерують електричний струм прямо пропорційно інтенсивності сонячного випромінювання.

Фотоелектричне перетворення сонячної енергії в даний час є одним із пріоритетних напрямів використання сонячної енергії, що обумовлюється наступним:

- ◆ можливістю отримання електроенергії практично в будь-якому районі;
- ◆ екологічною чистотою перетворення енергії;
- ◆ значним терміном роботи;
- ◆ невеликими затратами на обслуговування;
- ◆ незалежністю ефективності перетворення сонячної енергії від встановленої потужності.

Сучасні сонячні елементи мають наступні переваги: у них відсутні рухомі частини, що зношуються; вони мають необмежений термін служби; вимагають мінімального обслуговування (або взагалі не вимагають такого); не забруднюють навколишнє середовище; на відміну від електрогенераторів інших типів, вони можуть застосовуватися в широких межах потужності – від одного вата і до декількох тисяч мегават.

За останні роки фотоенергетика отримала значний розвиток завдяки прогресу у вирішенні основних проблем: підвищення ККД сонячних фотоперетворювачів та зменшення вартості їх виробництва.

Принцип дії сонячних фотоперетворювачів, сучасні технології отримання матеріалів для сонячних фотоелементів.

У сонячній фотоенергетиці сонячне випромінювання перетворюється в електроенергію напівпровідниковими перетворювачами, які володіють селективною спектральною чутливістю. У зв'язку з цим визначення як прямого, так і повного потоку сонячного випромінювання повинне здійснюватись не за допомогою піргеліометрів і піранометрів, а за допомогою еталонних сонячних елементів з такою ж селективною спектральною чутливістю, як і у вимірюваних елементів і батарей. Тут потрібно вказати, що від відповідності спектральних чутливостей еталонного і вимірюваного сонячних елементів і сонячних батарей буде залежати точність визначення коефіцієнта корисної дії і вихідної потужності фотоенергетичних приладів.

Фотоелементи базуються на фотоефекті у напівпровідникових структурах з *p-n* переходами, на так званому вентильному фотоефекті, безпосередньо перетворюють падаюче на них сонячне випромінювання в електричну енергію, таким чином, являючись її генераторами. На відміну від фотоопорів і фотоелементів із зовнішнім фотоефектом, вони не потребують джерела зовнішньої напруги.

Розвиток фотоелектричного методу перетворення енергії випромінювання почався лише після створення зонної теорії побудови напівпровідників, розробки методів їх очистки і контрольованого легування, визначення переважної ролі, яку грає запірний шар на грані напівпровідників з протилежним типом провідності.

Останнім часом ККД сонячних елементів різко підвищився, чому сприяло більш поглиблене розуміння фізичних явищ, які відбуваються в сонячних елементах, створення більш сучасних технологічних прийомів їх виготовлення і розробки нових удосконалених конструкцій елементів з різних напівпровідникових матеріалів.

Кремнієві фотоелементи, а в останній час і фотоелементи з арсеніду галію та інших широкозонних напівпровідників, завдяки високому ККД, що досягає у кращих зразків 15-22% (а при використанні складних каскадних систем на їх основі – навіть 27-30%), широко застосовуються як фотоелектричні перетворювачі сонячного випромінювання або сонячні елементи.

З середини 2009 року компанія Spectrolab (підрозділ Boeing, США) розпочала серійний випуск сонячних батарей із застосуванням нанотехнологій (середній ККД – 38,5%).

Фотоелектрогенератори для прямого перетворення енергії випромінювання Сонця в електричну енергію, зібрані з великої кількості послідовно і паралельно з'єднаних сонячних елементів, отримали назву сонячних батарей. Сучасні сонячні батареї на основі фотоелектроперетворювачів генерують на світлі значну електричну потужність і застосовуються як для енергозабезпечення більшості космічних апаратів і багатьох наземних приладів різного призначення, так і для виробництва електроенергії у промислових масштабах.

Оптичне випромінювання, яке падає на поверхню напівпровідникової структури з $p-n$ переходом, утворює (в основному поблизу поверхні) пари "електрон-дірка", причому концентрація пар постійно спадає від поверхні в середину напівпровідника в напрямку до $p-n$ переходу. В тому випадку, коли відстань від поверхні до $p-n$ переходу менше глибини проникання світла $1/\alpha$, пари "електрон-дірка" утворюються за $p-n$ переходом. Якщо перехід знаходиться від місця виникнення пар на відстані, меншій від дифузійної довжини, то вони внаслідок дифузії підуть до $p-n$ переходу і розподіляться під дією його поля. Електрони перейдуть в електронну, а дірки в діркову частину переходу. На зовнішніх металевих електродах, з'єднаних з p - і n -областями напівпровідника, з'явиться різниця потенціалів, яка викличе струм крізь опір навантаження.

Дифундуючи до $p-n$ переходу, неосновні надлишкові носії струму будуть розподілятися завдяки наявності потенційного бар'єру. Накопичення надлишкових (розподілених переходом) електронів в n -області і дірок в p -області фотоперетворювача приводить до компенсації об'ємного заряду, сконцентрованого в $p-n$ переході, тобто до створення електричного поля, протилежного за напрямом до існуючого. Таким чином, одночасно з появою різниці потенціалів на зовнішніх електродах внаслідок освітлення відбувається зміна і потенціального бар'єру, який існував у неосвітленому $p-n$ переході. Виникаюча фотоЕРС зменшує цей бар'єр, що в свою чергу приводить до виникнення зустрічних потоків електронів з електронної і дірок з діркової частини. Ці потоки практично рівноцінні струму в прямому напрямі, що виникає під дією прикладеної до $p-n$ переходу електричної напруги.

Таким чином, з моменту початку освітлення по мірі накопичення надлишкової (в порівнянні з рівною) концентрації в електронній частині $p-n$ переходу і дірок у дірковій відбувається зменшення висоти бар'єру, або електростатичного потенціалу, що викликає збільшення струму по зовнішній напрузі і зростання щільності зустрічних потоків електронів і дірок через $p-n$ перехід.

Коли кількість утворюваних світлом надлишкових пар зрівняється з кількістю пар, які відходять через $p-n$ перехід або в зовнішню напругу, встановлюється стаціонарний стан. Як правило, це відбувається через тисячні долі секунди після початку освітлення.

Вирішальну роль в ефективності перетворення оптичного випромінювання в середині напівпровідника грає співвідношення між дифузійною довжиною L та відстанню від $p-n$ переходу l , на якій утворюються під дією сонячної радіації пари "електрон-дірка". Є два крайні розміщення $p-n$ переходу в напівпровідниковому кристалі по відношенню до напрямку падіння оптичного випромінювання: перпендикулярного і паралельного. У першому випадку світло проникає на всю глибину кристалу і l рівня товщі напівпровідникової пластини, а в другому – освітлюється вся поверхня пластини шириною d .

Паралельне розміщення вважається кращим, тому що для повного збирання і розподілення носіїв найбільш суттєвим є розподілення пар носіїв у напрямку, перпендикулярному до p - n переходу, і рівномірна генерація носіїв по глибині кристалу утворює сприятливі умови для їх дифузії до p - n переходу і наступного просторового розподілення.

Розроблені на основі такого розподілення p - n переходу по відношенню до світла багатоперехідні матричні сонячні елементи, що складаються з великої кількості мікроелементів, площини яких паралельні по відношенню до падаючого сонячного випромінювання (або розміщені під невеликим кутом до нього), дійсно володіють високою ефективністю збирання носіїв у довгохвильовій області спектру і дозволяють отримати значну фотоелектрорушійну силу з одиниці освітлюваної поверхні.

Базовим пристроєм для отримання електроенергії методом фотоперетворення є фотоелемент.

Фотоелемент являє собою електронний пристрій, у якому в результаті поглинання енергії падаючого на нього оптичного випромінювання генерується фотоелектрорушійна сила, або фотострум. Дія фотоелемента основана на фотоелектронній емісії або на внутрішньому фотоелекті. Фотоелектричний елемент, дія якого базується на внутрішньому фотоелекті, являє собою напівпровідниковий прилад із гомогенним електронно-дірковим переходом (p - n переходом), напівпровідниковим гетеропереходом або контактом метал-напівпровідник.

Основними характеристиками фотоелемента є:

1) інтегральна чутливість – відношення фотоструму до потоку світла, що його спричиняє, при короткозамкнутих виводах у напівпровідникових фотоелементах;

2) спектральна чутливість – величина, що визначає діапазон значень довжини хвиль оптичного випромінювання;

3) вольт-амперна характеристика – залежність величини фотоструму від напруги на фотоелементах при постійному значенні світлового потоку; дозволяє визначити оптимальний робочий режим фотоелемента;

4) ККД або коефіцієнт перетворення сонячного випромінювання – відношення електричної потужності фотоелемента до падаючої світлової потужності при номінальному навантаженні.

Енергетичні характеристики сонячних фотоперетворювачів у першу чергу визначаються властивостями напівпровідникових матеріалів та конструктивними особливостями фотоелементів (сонячних елементів).

Конструктивно сонячні батареї (СБ) частіше всього виконують у вигляді плоскої панелі з фотоелементів, захищених прозорими плівками. Число фотоелементів у СБ може досягати кількох сотень тисяч, площа панелі – десятків квадратних метрів, струм – сотень ампер, напруга – десятків вольт.

Напівпровідникові матеріали, з яких виготовляються ФЕ, характеризуються наступними основними параметрами:

- питомим опором;
- типом провідності;
- шириною забороненої зони;
- концентрацією носіїв заряду та їх рухливістю;
- ефективною масою;
- терміном роботи.

Існує багато технологічних рішень і промислових розробок фотоелементів та методів їх виготовлення. Із вітчизняних фотоелектроперетворювачів найбільше поширення мають монокристалічні сонячні елементи; у якості прикладу нижче наведено конструкцію одного з них – стандартного монокристалічного кремнієвого фотоелемента.

Основні технічні вимоги при виробництві сонячних фотоперетворювачів є такими:

1) Матеріал, з якого виготовляється фотоелемент, повинен бути хімічно високочистим із стійкими властивостями.

2) Фотоелементи повинні виготовлятися у великій кількості при мінімальній вартості; при цьому необхідно забезпечити загальний контроль за процесом їх виготовлення і високий рівень точності.

3) Фотоелементи повинні мати термін служби не менше 20 років в умовах дії (часто шкідливого) навколишнього середовища. Слід враховувати, що навіть без концентрації сонячного випромінювання робоча температура фотоелемента може змінюватися в діапазоні від -30 до $+200^{\circ}\text{C}$. Електричні контакти повинні бути стабільними і захищеними від усіх видів корозії. Пристрій повинен бути водозахищеним.

4) Конструкція повинна бути такою, що руйнування одного з елементів не повинно призводити до виходу із ладу всієї системи. Для цього використовуються паралельні і послідовні з'єднання, які у разі виходу з ладу яких-небудь елементів повинні виключати можливість виходу з ладу інших елементів.

5) Збірні модулі повинні бути придатними для транспортування навіть у важкодоступні та віддалені райони.

Аналіз загальних процесів, які відбуваються у фотоелементі при перетворенні оптичного випромінювання в електроенергію, показує, що ефективність кожного з них залежить від оптичних і електрофізичних властивостей напівпровідникового матеріалу (відбиття від поверхні, квантовий вихід фотоіонізації, дифузійна довжина другорядних носіїв струму, спектральні положення загальної смуги поглинання), від характеристик *p-n* переходу (механізму протікання зворотнього струму, висоти потенціального бар'єру, ширини області об'ємного заряду), від так званого геометричного фактора (співвідношення між дифузійною довжиною носіїв заряду і глибиною залягання *p-n* переходу), а також від ступеня легування зон напівпровідника по обидва боки *p-n* переходу.

Значний вплив на форму вольт-амперної характеристики і вихідну потужність має послідовний опір елемента, який, у свою чергу, залежить від опору товщини і ступеня легування обох зон напівпровідника, а також від форми і місця розташування струмоз'ємних контактів.

Основні технічні та економічні показники фотоенергетичного обладнання.

В даний час процес прямого перетворення сонячної енергії в електричну використовують у всьому світі, а темпи розвитку фотоелектроенергетики швидкими темпами зростають. Фотоелектричні джерела енергії застосовуються для живлення споживачів у широкому інтервалі потужностей: від міні-генераторів для годинників і калькуляторів потужністю декілька Вт до центральних мережевих електростанцій потужністю в сотні МВт. Технологія виготовлення фотоелементів удосконалюється з кожним роком, при цьому витрати на їх виготовлення та ціна генерованої ними електроенергії постійно зменшуються, а коефіцієнт корисної дії збільшується. За останні роки досягнуто значного технічного прогресу в фотоелектричному перетворенні сонячної енергії, що дозволило значно знизити питомі капіталовкладення в установки такого типу і собівартість електроенергії, ними виробленої.

У галузі фотоенергетики вартісні показники виробництва електроенергії в світі складають від 5 до 10 тис. дол. США на 1 кВт встановленої потужності та 0,25-1,25 дол. США за 1 кВт·год. У структурі ціни західних країн головними складовими є вартість матеріалу (кремнію) – 25%, комутаційних матеріалів – 25%, вартість монтажу – 50%. Не дивлячись на відносно високу вартість фотоелектричного устаткування, воно може бути конкурентоздатним, в першу чергу, для цілей автономного енергопостачання.

Максимальний ККД сонячних батарей у 2009 році досяг 43%, на практиці найбільш поширеними є сонячні елементи із ККД біля 16%. Вартість сонячних панелей має постійну тенденцію до зниження, в разі успіху при впровадженні нових технологій виробництва сонячних елементів прогнозують у 2050 році зниження цін на сонячні панелі до 200 дол./кВт, сонячних електростанцій – до 500 дол./кВт.

Загальною тенденцією розвитку сонячної електроенергетики в світі є розширення сфер застосування сонячного електроенергетичного устаткування, розповсюдження якого до недавнього часу здійснювалося головним чином у двох секторах: товари для споживання та комунікація і зв'язок. В останні роки стимулюються і динамічно впроваджуються системи для електропостачання приватних і громадських будівель, підключених до розподільних мереж електропостачання.

В напрямку створення і впровадження сонячних фотоелектричних генераторів електричного струму за останні роки досягнуто значного прогресу, насамперед за рахунок зниження вартості встановленої потужності і, відповідно, генерованої електроенергії. Успіхи досягнуті за рахунок вдосконалення технології виробництва різних типів напівпровідникових матеріалів, зниження їх вартості і, відповідно, вартості фотоелектричних перетворювачів (сонячних елементів). Дослідження в цьому напрямку проводяться широким фронтом. Так,

завдяки розробці прогресивних технологій створення сонячних елементів (СЕ) на основі монокристалічного кремнію, їх вартість знижена до величини менше 2,0 дол. США за 1 Вт установлені пікової потужності і, відповідно, сонячної фотоелектричної установки (СФЕУ) при коефіцієнті корисної дії (ККД) 16-18 %. На основі стрічкового полікристалічного, а також тонкоплівкового аморфного кремнію створені сонячні елементи з ККД до 13,6%. Такі ж значення ККД досягнуті в тонкоплівкових СЕ на основі гетеропереходів CuInSe_2 - CuS . Однак, для впровадження даних СЕ у великомасштабну енергетику необхідне рішення ряду проблем, у першу чергу, забезпечення відтворюваності технології одержання дешевих СЕ і стабільності їхніх параметрів.

Досягнення ККД на рівні 16-18% для кремнієвих фотоелектричних перетворювачів при питомій вартості 2,0-2,5 дол. США/Вт дало новий поштовх розвитку фотоелектричних систем. Основними напрямками в цій галузі слід вважати фотоелектричні перетворювачі на основі монокристалічного, мультикристалічного, аморфного кремнію, арсеніду галію та систем Cu-In-Se .

Згідно з прогнозом, на нових ринках будуть домінувати тонкоплівкові модулі. Основний виробник тонкоплівкових модулів – американська фірма United Solar, яка постійно нарощує обсяги виробництва: у 2006 році – 30 МВт, у 2010 р. – 300 МВт. Виробник тонкоплівкових модулів – японська компанія Kaneka – планувала зробити у 2010 році до 40 МВт гібридних модулів з аморфного і монокристалічного кремнію.

Фотоенергетична галузь Україна має великі можливості для організації виробництва фотобатарей, оскільки в колишньому СРСР заводи з виробництва напівпровідникового кремнію були зосереджені в Україні – завод чистих металів у Світловодську і титаново-магнієвий комбінат у Запоріжжі. У нашій країні є ряд приладобудівних підприємств і підприємств мікроелектронного профілю для серійного випуску фотоелектричних перетворювачів – "Квазар", "Гравітон", "Гамма", "Родон", "Дніпро" та інші. В АТ "Квазар" на основі застосування нових технологій, розроблених у результаті виконання комплексних фундаментальних досліджень у галузі фізики напівпровідникових матеріалів, освоєно промислове виробництво фотоперетворювачів.

Щорічно в Україні виготовляється фотоелектричних елементів загальною потужністю близько 150 МВт, які практично повністю йдуть на експорт – щорічні об'єми впровадження в Україні складають лише близько сотні кіловат, тоді як фотоенергетичне устаткування в нашій країні може досить ефективно експлуатуватися впродовж усього року.

У результаті багаторічних досліджень в Україні створена науково-дослідна база для подальшого розвитку і масового виробництва сонячних фотоелементів, модулів і батарей на основі напівпровідникового кремнію. Основною проблемою сучасної фотоенергетики України є створення науково-технологічних основ для виробництва фотоелектричних перетворювачів з вищим ККД для зменшення вартості виробленої електроенергії. Потребують удосконалення і впровадження нові тонкоплівкові технології виробництва сонячних модулів, які працюють протягом усього світлового дня і на

виготовлення яких витрачається в 100 разів менша кількість дефіцитного кремнію.

Зусилля закордонних та вітчизняних фірм-розробників фотоелектричного обладнання спрямовані на зменшення вартості встановленої потужності за рахунок:

- розробки та впровадження більш ефективних технологій виробництва напівпровідникового кремнію, сонячних елементів, сонячних батарей, систем акумулювання електроенергії;

- нарощування якомога більш масштабного виробництва.

Спеціалісти прогнозують стрімке зростання в Україні виробництва сонячних батарей, значну частину яких призначено для експортних поставок. При цьому стратегія розвитку фотоенергетики в Україні полягатиме в наступному:

- організація масштабного виробництва фотоелектричної продукції (полі- та монокристалічного кремнію, сонячних елементів, сонячних батарей, сонячних фотоелектричних станцій та установок);

- використання (до 15%) сонячних фотоелектричних установок і станцій у народногосподарському комплексі України;

- організація експортування вискоелективної фотоелектричної продукції в обсязі до 85% всього випуску.

Велику перспективу має використання енергії сонячного випромінювання для отримання електричної енергії в Автономній Республіці Крим. Відповідно до заходів Програми підвищення енергоефективності в АР Крим, на 2010-2014 роки передбачено будівництво експериментальних сонячних електростанцій на основі панелей із полікристалічного кремнію інвестиційною компанією ACTIV Solar (Австрія) встановленою потужністю 1000 МВт і вартістю 4 млрд євро. Розглядаються проекти китайських фотоелектричних станцій для роботи на централізовану електричну мережу поблизу м. Сімферополь із встановленими потужностями на 150 кВт і 2 МВт. Станції комплектуються 185-ватними фотоелектричними модулями на основі монокристалічного кремнію. Пропонується також обладнання сонячних електростанцій системами спостереження за Сонцем.

Сонячні електростанції

Одним із важливих напрямів сучасної сонячної електроенергетики є централізоване виробництво електричної енергії на сонячних електростанціях (СЕС).

Всі сонячні електростанції створюються на основі сонячних теплових енергетичних установок, у яких за допомогою оптичних систем концентрується сонячна енергія для нагріву робочого тіла до температури, яка забезпечує ефективну роботу теплових машин.

Термодинамічні сонячні електричні станції, які найбільш поширені в даний час, базуються на трьох основних принципах:

- СЕС баштового типу (БТ) з центральним приймачем-парогенератором, на поверхні якого концентрується сонячне випромінювання від плоских дзеркал-геліостатів;

- СЕС модульного типу (МТ), в яких у фокусі параболоциліндричних концентраторів (ПЦК) розміщуються вакуумовані приймачі – труби з теплоносієм (парогенератори);

- комбіновані СЕС – це сонячно-теплові електростанції (СТЕС), в яких виробляється електрична і теплова енергія; електростанція того чи іншого типу (БТ або МТ) поєднується з теплоелектроцентраллю.

Максимальна кількість науково-дослідних та проектних розробок у галузі термодинамічних сонячних станцій баштового типу в світі припадає на 70-і та початок 80-х років, коли в США, Італії, Іспанії, Японії та Франції було побудовано шість експериментальних СЕС потужністю від 0,5 до 10 МВт. Реалізується міжнародний проект СЕС "Фобос" потужністю 30 МВт для Йорданії, в якому приймають участь Німеччина, Іспанія, США, Італія, Франція.

Світова практика експлуатації СЕС баштового типу показала їх технічну доцільність та працездатність. Однак реальна ціна СЕС баштового типу через їх велику матеріалоемність (металоконструкції, бетон, дзеркала) виявилась високою – 10-15 тис. доларів за 1 кВт пікової потужності; цим пояснюється те, що інтерес до баштових СЕС помітно знизився.

Існуючі СЕС баштового типу або законсервовані до більш сприятливої економічної ситуації (коли висока вартість буде виправдана екологічними аспектами), або перетворені в експериментальні полігони із впровадження сонячних технологій. Спорудження СЕС баштового типу може бути доцільним лише при зниженні питомих капіталовкладень до рівня 130% вартості атомних електростанцій.

Успішний розвиток отримали термодинамічні сонячні станції з розподіленим параболоциліндричним приймачем.

Питома вартість СЕС модульного типу складає близько 110-130% вартості АЕС, а у випадку застосування для концентрації випромінювання параболоїдів із посрібленого склопластику замість параболоїдів зі скляним покриттям знизиться до вартості АЕС. При цьому слід відмітити, що вартість енергії на АЕС, у зв'язку із заходами щодо підвищення безпеки, безперервно зростає.

Найбільш прийнятними в роботі є сонячні теплові електростанції з центральним приймачем, які використовують помірну кількість звичайних конструкційних матеріалів та збільшують вихід енергії в 20-60 разів. Вони можуть конкурувати з традиційними енергетичними установками, і передбачається, що найбільш ефективними вони стануть у майбутньому. Компанія Luz International за останні 10 років побудувала 9 таких електростанцій з лінійно-параболічними концентраторами загальною потужністю 354 МВт.

У Європі встановлена потужність нових концентраційних термодинамічних сонячних електростанцій і тих, що знаходяться у стадії будівництва, становить 750 МВт. До 2012 року передбачається доведення встановленої потужності до 2 ГВт. В США проектуються термодинамічні сонячні електростанції потужністю 7 ГВт.

Успіх розвитку цього напряму сонячної енергетики значним чином залежить від створення ефективних систем акумулювання теплової енергії.

Сучасні системи акумулювання дозволяють видавати навантаження протягом кількох годин за відсутності сонячної енергії. Тому середній ККД сонячних термодинамічних електростанцій на даний час становить 0,39 (у фотоелектричних 0,22). Капітальні витрати на будівництво і експлуатацію термальних сонячних електростанцій дуже високі, а темпи удосконалення технології нижчі, ніж у фотоперетворювачів.

В Україні в 1986 році була побудована та введена в дію сонячна електростанція в Криму потужністю 5 МВт, яка експлуатувалася до 1993 року. Для концентрації сонячної енергії на центральний приймач-парогенератор, виконаний у вигляді відкритого циліндра, було використано 1600 плоских дзеркал; площа кожного із дзеркал $25,5 \text{ м}^2$, коефіцієнт відбиття – 0,71.

При проектуванні, спорудженні та експлуатації СЕС-5 в Криму були допущені недоліки, при усуненні яких та при проведенні додаткових наукових досліджень з урахуванням набутого досвіду, можна говорити про перспективу застосування сонячних електростанцій у південних регіонах України. Всі ці заходи потребують значних коштів, ще більше піднімаючи ціну електроенергії, виробленої СЕС. Тому в теперішній економічній ситуації впровадження сонячних електростанцій в Україні відноситься до розряду недостатньо перспективних.

Сонячна теплоенергетика

Класифікація, принцип дії та області застосування сонячних колекторів.

Найбільш освоєним у світі є використання сонячної енергії для сонячного теплопостачання. Хоча сам факт такого використання сонячної енергії не є новим для людини, застосування сучасних технологій та обладнання дозволяє говорити про створення нової галузі енергетики.

Основою теплової геліоенергетики є використання пристроїв та обладнання, що перетворюють сонячну радіацію в теплову енергію.

Теплову енергію сонячного випромінювання можна використовувати для гарячого водопостачання, опалення та охолодження повітря в житлових, громадських та промислових будівлях, для сушіння різноманітних продуктів та матеріалів, для використання в технологічних процесах у промисловості та сільському господарстві. Застосування в системах теплопостачання обладнання сонячної теплової енергетики є позитивним з точки зору екології – кількість шкідливих викидів в атмосферу зменшується на величину, яка утворювалась би при згорянні заощадженого органічного палива. Для реалізації процесів за всіма напрямками сонячних теплових технологій створено цілий ряд пристроїв і устаткування, здійснюється їх серійне виробництво.

Основним елементом систем сонячного теплопостачання або геліосистем є сонячний колектор (СК), у якому, власне, і відбувається перетворення енергії сонячної радіації в теплову. Тому об'єми впровадження таких систем розраховуються в квадратних метрах сонячних колекторів, розрахунок проводиться за загальною площею і, при порівняльних розрахунках між окремими країнами, згідно питомих величин на одного жителя.

За існуючими даними, загальна площа змонтованих сонячних колекторів у світі на кінець 2008 року складала більше 50 млн м², а в Україні впроваджено близько 45 тис. м² сонячних колекторів.

У всіх країнах, де має місце високий рівень приросту об'ємів впровадження сонячних колекторів, створено повний комплекс нормативно-правового забезпечення процесу, діють державні програми, що включають повне нормативно-методичне забезпечення діяльності в галузі сонячної теплоенергетики і пакет засобів економічної підтримки (як правило, або кредити, або податкове зарахування витрачених засобів); створена розгалужена інфраструктура з підрозділами на рівні територіальних громад. Важливою формою роботи є розвиток суспільної думки, що підтримує такі кроки. Мати геліоустановки на даху свого будинку або підігрівати воду в басейні – це не тільки вигідно, але й соціально престижно.

Системи сонячного теплопостачання (ССТ) класифікуються таким чином:

- системи активного сонячного теплопостачання, що використовують так звані активні установки на основі сонячних колекторів, у якості теплоносія в яких циркулює рідина (вода, розчини солей) або газ (повітря);
- системи пасивного сонячного опалювання, в яких різні конструкційні елементи і матеріали використовуються як теплоприймачі – використання сонячної енергії проводиться за рахунок планувального і архітектурно-будівельного розташування споруд;
- комбіновані системи сонячного теплопостачання, в яких використані елементи пасивного і активного сонячного теплопостачання.

Досвід експлуатації систем сонячного теплопостачання показує:

- системи сонячного гарячого водопостачання можуть покривати 75-100% літньої і 40-60% річної потреби в органічному паливі (залежно від району розташування установок);
- системи сонячного опалення можуть покривати 20-50% потреб в органічному паливі;
- пасивні системи опалення будівель на 25-40% знижують витрати традиційних енергоресурсів на опалення.

Активно йде відпрацювання систем сонячного теплопостачання із сезонною акумуляцією теплової енергії, що дозволяє збільшити частку сонячної радіації у покритті річних витрат енергії на теплопостачання до 45-75%. Опрацьовується велика кількість різноманітних способів акумуляції – в спеціальних ємностях, у так званих "земляних ямах", у водоносних горизонтах під землею, у скельних породах і ряд інших.

Основним елементом систем активного теплопостачання є сонячний колектор.

Сонячні колектори класифікуються за наступними ознаками:

- за призначенням – для гарячого водопостачання, опалення;
- за видом теплоносія – рідинні та повітряні;
- за терміном експлуатації – сезонні та цілорічні;

- за технічними рішеннями – одно-, дво- і багатоконтурні.

У сучасних низькотемпературних системах теплопостачання (до 100°C), які застосовуються для перетворення сонячної енергії у низькопотенційне тепло для гарячого водопостачання, опалення та інших теплових процесів, використовують так званий плоский сонячний колектор, що являє собою геліоприймаючий абсорбер, по якому циркулює теплоносій, конструкція сонячних колекторів теплоізольована з тильної та закрита з лицевої сторони. Сонячний колектор складається з теплоізольованого анодованого алюмінієвого корпусу, всередині якого розташована мідна поглинаюча панель із високоселективним поглинаючим покриттям. Поглинаюча панель складається з мідної стрічки з високоселективним покриттям і припаяних до неї мідних тепловідвідних трубок, через які проганяється рідкий теплоносій. Зверху поглинаюча панель закрита прозорою для сонячного випромінювання ізоляцією. Високоселективне покриття поглинаючої панелі, а також велика площа контакту мідних трубок з мідною стрічкою забезпечує високу ефективність роботи колектора.

Під впливом сонячного випромінювання (інфрачервоної складової) у поглинаючій панелі відбувається перетворення сонячної енергії в теплову, в результаті чого мідна стрічка розігрівається, а рідкий теплоносій, що проганяється через мідні трубки, відбирає отримане тепло. Високоселективне покриття прозоре для інфрачервоного випромінювання, але є дзеркалом для теплового, у зв'язку з цим перетворена енергія майже не випромінюється поглинаючою панеллю. Прозора ізоляція і теплоізоляційний шар зменшують втрати теплової енергії.

У системах високотемпературного теплопостачання (вище за 100°C) застосовують високотемпературні сонячні колектори. На даний час найкращим із них вважається концентруючий сонячний колектор Луза, що є параболічним жолобом з чорною трубкою в центрі, на яку концентрується сонячне випромінювання. Такі колектори дуже ефективні у випадках, коли необхідно створити температурні умови вище 100°C – у промисловості або для виробництва пари в електроенергетиці; їх недоліком є неможливість використання розсіяної сонячної радіації.

Прості у виготовленні сонячні колектори як правило використовуються у невеликих водонагрівальних установках. У великих установках із колекторами великої площі теплоприймальну пластину і раму зі склом можна зробити незалежними одне від одного і, об'єднавши обидва ці елементи за допомогою конструкційного матеріалу, ввести їх у структуру будинку у вигляді елементів стіни або даху.

Більшість плоских колекторів складається із п'яти основних елементів, до яких відносяться:

- 1) корпус, що містить усі елементи і захищає їх від атмосферних впливів;
- 2) прозоре покриття з одного або більше шарів скла або пластмасової плівки;

3) трубки або канали, виготовлені як одне ціле разом із поглинаючою пластиною або приєднані до неї, по яких проходить вода, повітря або інший теплоносій;

4) поглинаюча пластина, зазвичай металева, з чорною поверхнею, хоча можна використовувати безліч інших матеріалів, особливо для повітрянагрівачів;

5) ізоляція, яку необхідно передбачати на тіньовій і бічній сторонах колектора, щоб звести до мінімуму теплові втрати.

У ряді випадків елементи 1 і 4 можна виключати із пристроїв, призначених для невеликого підвищення температури, як наприклад при нагріванні води в плавальних басейнах.

При використанні у якості теплоносія повітря необхідно застосування іншої конструкції сонячного колектора. По-перше, об'ємна витрата теплоносія буде набагато більшою. Питома теплоємність 1 м^3 повітря дорівнює приблизно $0,36 \text{ Вт}\cdot\text{год}/^\circ\text{C}$, а 1 м^3 води – $1160 \text{ Вт}\cdot\text{год}/^\circ\text{C}$. По-друге, коефіцієнт тепловіддачі від стінки до повітря є значно меншим, ніж до рідини. Отже, колектор повинен бути більш містким і мати більш розвинену поверхню тепловіддачі. Розроблено кілька типів повітряних систем, однак їх можливості вивчені далеко не так повно, як можливості водяних колекторних систем (рис. 10).

Плоский сонячний колектор є порівняно простим елементом устаткування. Існує велике різноманіття технічних рішень плоских колекторів та їх складових елементів. Для їх виготовлення у всьому світі широко використовується гофрований оцинкований сталевий лист; одним із прикладів найпростішого практичного використання є застосування звичайних стандартних панельних радіаторів. Ефективним є недорогий колектор, що працює за принципом звичайного охолоджуючого теплообмінника.

Системи гарячого теплопостачання та опалення за рахунок сонячної енергії

Найбільше поширення одержали ***установки сонячного гарячого водопостачання*** житлових і суспільних будинків, а також побутових приміщень промислових підприємств. Це пояснюється тим, що до систем гарячого водопостачання не ставляться такі жорсткі вимоги щодо надійності, як до систем опалення, і тому установки можуть бути використані в багатьох випадках автономно, що поліпшує їх економічні показники. Крім того, в районах південніше 50° північної широти у річному балансі витрати тепла житловими і суспільними будинками на гаряче водопостачання складають 40-75%. Виходячи з цього, застосування сонячних установок гарячого водопостачання може дати значну економію палива при відносно невеликих витратах.

Найпростіша сонячна установка гарячого водопостачання являє собою плоский бак, заповнений водою і закритий склом. Влітку в ясну погоду така установка площею 1 м^2 забезпечує нагрівання 50-100 л води до температури $40\text{-}50^\circ\text{C}$. Через горизонтальне розташування такі установки працюють задовільно тільки при великій висоті стояння сонця. Крім того, вони мають великі втрати внаслідок тепломасообміну між водою та остекленням. Пристрій

теплоізоляції дна і бічних стінок бака дещо підвищує ефективність сонячної установки для гарячого водопостачання.

Основними компонентами *систем сонячного опалення* є колектор, акумулятор і додаткове джерело енергії. При розгляді таких систем у залежності від умов експлуатації можна виділити чотири режими роботи:

Режим А. Якщо сонячна енергія надходить, а в теплопостачанні будинку немає необхідності, то вся одержувана від колектора енергія запасується в акумуляторі.

Режим В. Якщо сонячна енергія надходить і теплопостачання будинку необхідне, то вся одержувана від колектора енергія витрачається на забезпечення теплового навантаження будинку.

Режим С. Якщо сонячна енергія не надходить, а теплопостачання будинку необхідне, то забезпечення теплового навантаження будинку здійснюється за рахунок накопиченої в акумуляторі енергії.

Режим D. Якщо сонячна енергія не надходить, а теплопостачання будинку необхідне і запас енергії в акумуляторі вичерпаний, то для забезпечення теплового навантаження використовується додаткове джерело енергії.

Необхідно відзначити, що іноді в реальних системах можливий і п'ятий режим, а саме: акумулятор енергетично насичений, теплове навантаження відсутнє, а колектор може виробляти енергію. В цих умовах використовувати або накопичувати поглинену енергію не уявляється можливим, і ця енергія повинна бути відведена. Для таких випадків при проектуванні варто передбачити додаткові робочі режими, наприклад, режим гарячого водопостачання. У деяких системах можливе сполучення декількох режимів роботи одночасно.

Перспективним є застосування так званих *пасивних систем сонячного опалення*, тобто систем, у яких не використовується спеціальне обладнання, а самі конструкційні елементи будівель та споруджень є приймачами та акумуляторами сонячної енергії. Такі системи дозволяють у різних кліматичних зонах заощаджувати від 20 до 60% традиційного палива, що витрачається на опалення.

Як правило, в будівлях із пасивним сонячним опаленням для підвищення ефективності одночасно використовується декілька типів систем, наприклад, геліотеплиця, оранжерея або зимовий сад, прибудовані до південного фасаду будівлі, південні засклені теплоакумуючі стіни, вікна, тераси, балкони тощо.

Пасивні сонячні опалювальні системи найбільш розповсюджені в Австралії та Йорданії. Сама проста форма пасивного опалення – це орієнтація вікон на південь таким чином, щоб усі великі вікна виходили на південь. У будинку з південною орієнтацією витрачається на 15-25% менше опалення, ніж у подібній будівлі зі східною чи західною орієнтацією. Найбільшої економії можна досягти, виконуючи внутрішнє оздоблення будівель із теплопоглинаючих матеріалів, а вікна покривати зсередини тепловідбиваючими прозорими плівками.

Конструкції, що використовують пасивне сонячне тепло, є популярними в деяких районах США, наприклад, у штаті Нью-Мексико, де при будівництві майже в кожному будинку запроваджується пасивне сонячне опалення. Все більше європейських архітекторів проектують будинки з пасивним сонячним опаленням. Неопалювана скляна прибудова до будинку з південної сторони, наприклад, теплиця, балкон, тераса або дворик сприяють збереженню тепла. Такий конструкційний елемент дає додатковий житловий простір у сонячні дні.

При розробці пасивної геліосистеми враховуються загальні обмеження, від яких залежить ефективність системи – географічне положення об'єкта, його розміри, призначення, верхня межа вартості, доступність і вартість додаткових матеріалів та робіт; при цьому обов'язковим є проведення техніко-економічних розрахунків. Теплоакумуючі конструкції повинні бути орієнтовані в просторі так, щоб вони могли використовувати пряме або відбите від інших конструкцій чи елементів інтер'єру сонячне випромінювання. Найкращим твердим теплоакумуючим матеріалом є бетон, за ним – цегла, дуб, сосна, гіпс (суха штукатурка). По мірі вдосконалення технологічних рішень, покращення якості обладнання та підвищення його економічності масштаби використання пасивного сонячного теплопостачання будуть розширюватись.

Застосування теплових акумуляторів для опалення будівель також є одним із прикладів пасивного сонячного теплопостачання. Дослідження, проведені на науково-дослідному полігоні "Десна" показали, що при використанні подвійного покриття теплиць плівкою і застосуванні теплових акумуляторів в умовах Чернігівської і Київської областей енерговитрати в теплицях можна знизити на 20-30%.

На практиці найбільш розповсюдженими є **системи комбінованого сонячного теплопостачання**, причому існує безліч самих різних варіацій, які можна об'єднати в такі основні групи:

- ◆ комбіновані системи на основі активного та пасивного сонячного теплопостачання;
- ◆ комбіновані системи на основі активного сонячного теплопостачання та традиційних енергосистем;
- ◆ комбіновані системи на основі пасивного сонячного теплопостачання і традиційних енергосистем;
- ◆ комбіновані системи на основі активного, пасивного сонячного теплопостачання і традиційних енергосистем.

Застосування таких комбінованих сонячних енергосистем дозволяє більш ефективно використовувати енергію сонячного випромінювання.

При запровадженні сонячного теплопостачання недоцільно орієнтуватися на найбільш несприятливі умови надходження сонячної енергії; в таких випадках ефективним є комплексне використання різних джерел енергії – як традиційних, так і нетрадиційних. При врахуванні всіх техніко-економічних аспектів можна досягти помітного зменшення капіталовкладень та заощадження органічного палива.

У традиційних паливних системах гарячого водопостачання сонячні водонагрівачі можуть використовуватися для попереднього підігрівання води.

Оскільки за рахунок сонячної енергії доцільно покривати до 80% навантаження гарячого водопостачання, необхідно разом із сонячними колекторами використовувати додаткові джерела енергії. У більшості випадків геліоенергетичне обладнання компонується з традиційною тепловою установкою, яка використовує традиційне органічне паливо.

Основні технічні та економічні показники обладнання теплової геліоенергетики

Основним фактором, що стримує широке використання геліотехнічного обладнання в Україні, є відсутність їх у продажу на внутрішньому ринку, перш за все, для індивідуального споживача. В свою чергу, впровадження сонячних колекторів у виробництво в Україні, з урахуванням високих та постійно зростаючих цін на матеріали, затримується відсутністю стимулюючої державної політики в цьому питанні.

Промисловим виробництвом колекторів сонячної енергії займаються в основному середні та дрібні фірми, яких, наприклад, тільки в США нараховується більше двохсот. Основні зусилля фірм-розробників направлені на покращення техніко-економічних показників за рахунок зниження собівартості колектора при високих теплофізичних показниках, зниження матеріалоемності, збільшення терміну служби. Ряд країн (наприклад, Німеччина, Китай) пішли по шляху централізованого випуску поглиначів теплової енергії з алюмінієвої і мідної фольги, що дозволяє знизити собівартість їх виготовлення на 20%.

У НАН України проведено дослідження абсорберів сонячних колекторів із металу та на основі теплопровідних полімерних композицій із новим селективним покриттям, яке отримується при вакуумному напилюванні алюмінієвого конденсату на теплоприймальну поверхню абсорбера.

Селективні властивості такого покриття не тільки не гірші, а навіть трохи кращі по відношенню до покриття із чорного хрому або чорного нікелю, при цьому технологія нанесення такого покриття з низьковакуумного алюмінієвого конденсату більш проста і чиста (виключаються процеси гальванізації).

Сонячне теплопостачання в Україні має достатній досвід використання і розвинену нормативну базу для проектування, а технологічний потенціал промисловості дозволяє вирішити завдання масового виробництва геліотехнічного устаткування. В даний час вартість сонячних колекторів, що відповідають світовому технічному рівню, складає 150-400 дол. США за 1 м². Питомі капіталовкладення для систем теплопостачання становлять 0,4-1,5 тис. дол. США/кВт.

У кліматометеорологічних умовах України для сонячного теплопостачання ефективним є застосування як плоских сонячних колекторів, так і концентруючих. Системи сонячного гарячого водопостачання в першу чергу повинні споруджуватися в районах децентралізованого теплопостачання, переважно у сільській місцевості. Одними з найпоширеніших об'єктів для їх впровадження можуть бути дитячі дошкільні заклади і заклади для відпочинку, в значній частині яких основне навантаження по гарячому водопостачанню припадає на літній період і велика частина яких розміщена в південних областях країни. Використання систем сонячного гарячого водопостачання у

житлових будинках повинне орієнтуватися в першу чергу на котеджну будівлю; у даному випадку кліматична зона місця будівництва грає меншу роль, а на перший план виступають рішення схеми теплопостачання. Для будинків із котлами на твердому і рідкому паливі будівництво систем сонячного гарячого водопостачання, що забезпечують покриття навантаження в міжопалювальний період, є виправданими з економічної точки зору і з урахуванням створюваних умов комфорту.

Найбільш ефективними для України напрямами розвитку сонячної теплоенергетики є:

- гаряче водопостачання;
- приставки до котелень;
- опалення;
- сушка, охолодження та кондиціонування повітря;
- водопідігрів та сушка в технологічних процесах;
- пасивне теплопостачання;
- опріснення води.

Одним із ефективних напрямів впровадження сонячних колекторів повинні бути процеси висушування зерна, сіна та іншої рослинної сільгосппродукції. Використання сонячних нагрівачів повітря дозволить, окрім заощадження традиційних енергоресурсів, збільшити загальну потужність сушарок, сприяти поліпшенню переробки і збереженню продукції.

Особливо актуальним і конкурентоспроможним у даний час є впровадження геліотехнічного обладнання в Автономній Республіці Крим.

Подальший розвиток сонячної теплоенергетики в Україні передбачається у таких напрямках:

1) Удосконалення сонячних колекторів за рахунок використання нових технологічних розробок, зокрема:

– розробка та впровадження селективних поверхонь, що дозволяють досягти достатньо малих коефіцієнтів відбиття (0,05), не зменшуючи коефіцієнт поглинання (0,95);

– подальше вдосконалення і здешевлення колекторів на основі вакуумованих трубок, в т.ч. за рахунок використання ефекту "теплової труби" ;

– подальше відпрацювання сонячних колекторів із полімерних матеріалів малої вартості для низькотемпературних теплових процесів.

2) Розвиток систем сонячного охолодження і кондиціонування повітря.

3) Розвиток систем сонячного опріснення води.

4) Розвиток пасивної сонячної енергетики: розробка нових архітектурно-конструктивних рішень; накопичення експлуатаційного досвіду; відпрацювання методик розрахунку.

До менш розвинутих, але досить перспективних напрямків використання сонячної енергії слід віднести:

– сонячні технологічні установки (наприклад, сонячні печі, випарні установки тощо);

– установки з концентраторами теплової енергії;

– установки типу "сонячний ставок".

Впровадження систем сонячного теплопостачання і, зокрема, опалювання повинне супроводжуватися засобами посилення теплозахисту будівель, утилізацією теплових викидів і, відповідно, зменшенням енерговитрат. Напрацювання архітектурно-конструктивних рішень систем пасивного сонячного опалювання дозволить маловитратними засобами забезпечити 15-20% зменшення енерговитрат на опалювання. Накопичення і узагальнення експлуатаційних характеристик, так звана "сонячна архітектура" є окремою складовою процесу впровадження систем теплопостачання.

Прогнозні базові показники розвитку сонячної теплоенергетики в Україні до 2030 року наведені в таблиці 10.1.

Таблиця 10.1. Прогнозні базові показники розвитку сонячної теплоенергетики в Україні до 2030 року

/п	Прогнозні показники розвитку сонячної енергетики	Одиниці виміру	Рівень розвитку сонячної енергетики по роках			
			2015	2020	2025	2030
Сонячна теплоенергетика						
.	Енергетичні показники					
.1	Встановлена потужність	МВт	800	2700	4000	6100
.2	Річне виробництво теплової енергії	млн кВт·год/рік	1458	4943	7324	11168
.3	Річна економія умовного палива	млн т у.п./рік	0,52	1,8	2,64	4
.4	Обсяги заміщення природного газу	млн м ³	450	1500	2270	3470
.	Економічні показники					
.1	Питомі капіталовкладення	тис. грн./кВт	3	2,9	2,7	2,5
.3	Обсяги фінансування	млн грн.	2400	5510	3510	5250
.	Екологічні показники					
.1	Обсяги зменшення викидів діоксиду вуглецю	тис. т	940	3200	4750	7240

Подальший розвиток і збільшення внеску сонячної енергії в енергобаланс країни повинні відбуватися за рахунок використання систем, в першу чергу, будівництва сонячних приставок до котельних. При цьому реалізація узгодження потоків енергії від джерела до споживача повинна здійснюватися технічними засобами, побудованими за блоковим принципом: первинні перетворювачі (сонячні нагрівачі), система накопичення (теплові акумулятори), допоміжне і резервне устаткування (насоси для циркуляції теплоносія, електронагрівач).

При визначенні прогнозних питомих капіталовкладень враховувалась вартість основного обладнання як вітчизняних виробників продукції для сонячної енергетики – таких, як ВАТ "Квазар", м. Київ (фотоенергетика), ПКК

"СІНТЕК", м. Запоріжжя (виробник теплових колекторів), так і європейських асоціацій: European PV Platform (фотоенергетика), European Solar Thermal Technology (теплоенергетика) та провідних країн світу в цих галузях (США, Японія, Китай та ін.). При цьому враховувалась тенденція поступового зниження капіталовкладень за рахунок здешевлення технологій.

Лекція 11

Основні характеристики та питомі енергетичні показники енергії біомаси

Розподіл біоенергетичного потенціалу на Землі та в Україні. Класифікація джерел біомаси та методів перетворення енергії біомаси. Класифікація продуктів, що можуть бути отримані в результаті переробки відходів біомаси та їх основні енергетичні характеристики. Перспективи розвитку біоенергетики та вплив на оточуюче середовище.

Розподіл біоенергетичного потенціалу на Землі та в Україні

Одним із найбільш поширених відновлюваних джерел енергії є біомаса, яка в рамках відновлюваної енергетики визначається також як "відновлювані органічні енергоносії". В енергетиці під цим поняттям мають на увазі органічні речовини, які можуть бути використані для отримання теплової та електричної енергії і рідкого органічного палива.

За оцінками Світової енергетичної ради і Комітету ООН з НВДЕ, біомаса стане одним із найважливіших відновлюваних джерел енергії в XXI столітті – як у розвинених індустріальних країнах, так і в тих, що розвиваються. Ресурси біомаси в різних видах є практично в усіх країнах світу, і майже у кожній з них може бути організована її переробка в енергію і паливо. Надалі, при правильній організації репродукції і збору біомаси і при застосуванні сучасних технологій її утилізації, частка енергії біомаси в загальному енергоспоживанні може значно вирости.

Використання біомаси як відновлюваного джерела енергії – один із перспективних напрямів розвитку світової відновлюваної енергетики. На сьогоднішній день для енергетичних потреб у світі використовується 1250 млн т у.п./рік біомаси. Енергетична ефективність біоенергетики є достатньо високою для того, щоб виділити її в окремий напрям енергетичного господарства. В Україні є достатній енергетичний потенціал практично всіх видів біомаси і відповідна науково-технічна та промислова база для розвитку даної галузі енергетики. Енергетичний потенціал біопалива в Україні у 2008 році наведено в таблиці 11.1.

Щорічно на Землі за допомогою фотосинтезу утворюється близько 120 млрд т сухої органічної речовини, що є енергетичним еквівалентом 40 млрд т нафти. Біомаса грає істотну роль в енергобалансах промислово розвинених країн: у США її частка складає 4%, в Данії – 6%, у Канаді – 7%, в Австрії – 14%, у Швеції – 16% загального споживання первинних енергоресурсів цих країн. Частка відновлюваних джерел енергії в загальному світовому енергоспоживанні у 2004 році становила 13,8% (9958 млн т н.е.), з яких спалювання відходів біомаси – 11%.

Таблиця 11.1. Енергетичний потенціал біопалива в Україні

Вид біомаси	Енергетичний потенціал, млн т у.п./рік	
	Теоретичний	Технічно-досяжний
1. Тверде біопаливо		
1. Солома зернових культур (пшениця, жито, ячмінь, овес тощо)	10,39	4,32
2. Солома технічних і круп'яних культур (ріпак, гречка, просо та ін.)	2,72	1,57
3. Відходи переробної промисловості (лушпиння соняшника, гречки, рису та ін.)	1,30	0,98
4. Стебла та стрижні початків кукурудзи	5,70	3,3
5. Стебла та кошики соняшника	4,27	2,34
6. Відходи рубки та переробки деревини	2,13	1,37
7. Енергетичні культури (тополя, верба, міскантус тощо)	14,58	10,26
Всього	41,09	24,14
2. Рідке біопаливо		
8. Біоетанол	2,33	1,93
9. Біодизель	1,28	1,06
Всього	3,61	2,99
2. Рідке біопаливо		
8. Біоетанол	2,33	1,93
9. Біодизель	1,28	1,06
Всього	3,61	2,99
3. Газоподібне біопаливо		
10. Біогаз із гною та рослинних відходів	4,86	2,95
11. Біогаз зі стічних вод	0,21	0,12
12. Біогаз із полігонів твердих побутових відходів	0,77	0,38
Всього	5,84	3,45
4. Викопне біопаливо		
13. Торф	0,77	0,42
Загалом	51,31	31,00

Річний технічно-досяжний енергетичний потенціал енергії біомаси в Україні є еквівалентним 31 млн т у.п., його використання дозволяє заощадити біля 25 млрд м³ природного газу.

Показники енергетичного потенціалу біопалива з біомаси відрізняються від потенціалу інших відновлюваних джерел тим, що, окрім кліматометеорологічних умов, енергетичний потенціал біомаси в значній мірі залежить від багатьох інших факторів, у першу чергу, від рівня господарської діяльності.

Наведені середньорічні показники енергетичного потенціалу основних видів біомаси для енергетичних потреб можуть бути використані для встановлення потенціалу при врахуванні відповідних коефіцієнтів щодо збільшення або зменшення обсягів отриманої біомаси в розрахунковому році. Дані про наявність кожного з видів біомаси для енергетичних потреб в областях

України потребують щорічного обліку, показники енергетичного потенціалу відповідно потребують щорічного перерахунку.

За рахунок вирощування енергетичних рослин в Україні можна досягти виробництва рідкого біопалива в об'ємах: паливного спирту – 2,5 млн т/рік, біодизпалива – 1,8 млн т/рік. Використання в паливно-енергетичному комплексі України рідкого біопалива дозволить в перспективі заощадити до 6,7 млн т у.п./рік традиційного палива.

Для ефективного розвитку біоенергетики в Україні необхідне подальше розширення робіт у напрямі встановлення енергетичного потенціалу біомаси на районному територіальному рівні, враховуючи при цьому приватні господарства. Крім того, поряд з енергетичним потенціалом при розробці схемних рішень біоенергетичних комплексів для конкретної місцевості необхідно враховувати також інфраструктурні передумови, місцеві та конструктивні фактори, в тому числі:

- ◆ рівень забезпечення енергоресурсами;
- ◆ структуру системи енергопостачання та енерговикористання конкретного об'єкта;
- ◆ вимоги до якісних показників електричної та теплової енергії;
- ◆ тип та параметри енергонавантаження;
- ◆ вимоги до погодинного графіка енергопостачання;
- ◆ економічні та екологічні фактори.

Класифікація джерел біомаси та методів перетворення енергії біомаси

Біомасу можна розділити на дві основні групи: первинна і вторинна біомаса. Джерелом первинної біомаси є наземний і водний рослинний світ; вторинної – відходи біомаси, що утворюються після збору і переробки первинної біомаси в товарні продукти, і відходи, обумовлені життєдіяльністю людей і тварин.

Виділяють наступні основні групи відновлюваних органічних енергоносіїв:

1. Деревина, її відходи, продукти санітарної вирубки лісів, торф, листя, тирса та ін.
2. Рослини, які спеціально вирощуються для енергетичних потреб (тополя, верба, міскантус, морські водорості тощо).
3. Відходи сільськогосподарського виробництва рослинного і тваринного походження (стебла рослин, лушпиння, гній, курячий послід та ін.).
4. Відходи життєдіяльності людей, включаючи промислову діяльність (тверді та рідкі побутові стоки, відходи харчової промисловості, сміття та ін.).

Пріоритетним завданням біоенергетики є отримання енергії різних видів за рахунок використання відходів біомаси – продуктів лісу, сільськогосподарських відходів (рослинних і тваринницьких), водної рослинної біомаси, промислових і міських відходів.

Класифікація та енергетичні показники деревини. Дрова були основним видом палива до тієї пори, поки в кінці XIX століття на зміну їм не прийшли корисні копалини – спочатку вугілля, а потім нафта та природний газ.

Значне зменшення продуктів лісу внаслідок виснаження лісових угідь та потреба в них для різних промислових виробництв, особливо для виробництва паперу та будівельних матеріалів, призвели до скорочення обсягів використання продуктів лісу в якості палива. Однак у процесі заготівлі та переробки деревини утворюється достатньо велика кількість відходів, яка може бути використана як джерело енергії.

Деревина як енергетична сировина включає відходи деревини від лісового виробництва та деревообробної промисловості, обрізки гілок і крон дерев, що швидко ростуть, та з багаторічних дерев, які вирощуються у так званих енергетичних лісах (верба – ротація 3-5 років, тополя – ротація 6-15 років). Деревина є хімічно неоднорідною сировиною, яка складається із целюлози, геміцелюлози та лігніну.

Деревина використовується у різних формах: колоди або поліна, стружка та тріски, тирса і навіть у вигляді пилу. Тирса та пил деревини, як правило, використовуються у формі брикетів. Так само, як і для соломи, для різних видів деревини найважливішим термофізичним параметром є енергетична цінність, яка залежить від хімічного складу (деревина м'яких і твердих відходів) та від вологості. Зольність деревини, як правило, становить 1%, кори – від 2 до 10%, але ця величина може бути значно вищою при попаданні при заготівлі каміння, піску та інших забруднень. Енергетична цінність деревини вологістю 50-60% складає 6-8 ГДж/т, а після висушування до повітряно-сухого стану (вологість 10-20%) зростає у два рази і становить 14-16 ГДж/т.

Відходи деревини заготовляються на різних етапах її переробки і тому диференціюються як за сортаментом, так і з точки зору придатності до спалювання. Дерево для опалювальних потреб за сортаментом складає: 70% – великі колоди, 20% – малі колоди, останні 10-15% – пні, пеньки та кора. Відходи від дерево-обробної та паперової промисловості складають десятки млн м³. Дерево для опалення – це переважно подрібнена до різного ступеня деревина з частин пня, відсічених кінців коріння, а також гілок. Підготовлене для спалювання дерево зазвичай розділене на частини завдовжки 0,20-0,40 м товщиною 0,06-0,10 м – такі габарити забезпечують можливість спалювання у більшості печей.

Відходи, які утворюються у процесі лісозаготівлі та лісопереробки, розділяються на дві групи:

- ◆ відходи лісу, які утворюються безпосередньо в лісі і включають різні залишки деревини – некондиційні стовбури, гілки, листя, глиця, кора;

- ◆ відходи, що утворюються в процесі промислової переробки лісоматеріалів – обрізки, обапіл, тирса, стружка та інше.

При використанні в якості енергоресурсів *перша група* являє собою достатньо прийнятний вид сировини. Кількість відходів у вигляді зламаних гілок, крон та коріння дерев залежить від багатьох факторів – від породи лісу, його географічного положення, характеру місцевості, методів заготівлі та ін.

Друга група відходів складається із промислових відходів первинної обробки лісоматеріалів (в основному кора, обрізки дерев, обапіл, тирса, стружка), а також відходів, що утворюються при приготуванні пульпи для виробництва паперу (кора та відхідний лужний розчин). Відхідний чорний

лужний розчин являє собою рідину, яка утворюється при лужній та сірчаноокислій обробці деревини і має в своєму складі велику кількість розчинених органічних сполук.

Теплота згоряння сухої речовини, виділеної з лужного розчину, становить 15400 МДж/т (4,28 МВт·год/т або 0,53 т у.п.).

Значну кількість енергії можна отримати при використанні таких відходів лісопереробної галузі, як ошурки, енергетична щільність яких становить 538 кВт·год/м³; основні теплотехнічні властивості ошурків наведено нижче:

- гранули ошурків діаметром 5-10 мм, довжина 30 мм, насипна маса 650 кг/м³, теплота згоряння ~ 5 МВт·год на 1 т гранул;

- об'ємна густина при розрахунку за масою вологої сировини – 240 кг/м³;

- нижня теплота згоряння деревних ошурків при вологості 50 мас.% складає 2,2 кВт·год/кг;

- вища теплота згоряння при розрахунку на масу сухої сировини – 5,5 кВт·год/кг.

В Україні, внаслідок значного виснаження лісових ресурсів, для енергетичних потреб необхідно орієнтуватися тільки на відходи лісу та паперової промисловості. Відомо, що в процесі догляду за лісовим господарством правильна вирубка лісу сприяє росту якісної деревини і збільшенню її товарної маси. Крім того, збирання відходів (пеньків, поламаних гілок, глиці тощо) зменшує кількість лісових паразитів. Обов'язковим є встановлення реального енергетичного потенціалу в даній галузі, вибір та впровадження ефективних технологій переробки та утилізації відходів.

Нові можливості для біоенергетичного сектора можна очікувати від додаткового внеску за рахунок впровадження цільового вирощування високопродуктивних генетично модифікованих рослин (дерев, трав, олійних культур) на енергетичні потреби. Виведення із сільськогосподарського обороту частини малоприсаєднаних для землеробства земель у зв'язку з їх залісненням створює передумови розвитку енергетичного лісоводства в Україні.

Класифікація та енергетичні показники відходів сільськогосподарської біомаси. Сільськогосподарські відходи біомаси розділяються на рослинні (відходи сільськогосподарських культур) і тваринницькі (відходи життєдіяльності домашніх тварин і птахів). У сільському господарстві, внаслідок значних енерговитрат на технологічні процеси, механізацію, транспорт і на виробництво добрив, переробка біомаси з метою отримання енергоносіїв і високоякісних добрив має надзвичайно велике значення.

Рослинні сільськогосподарські відходи біомаси. Рослинні сільськогосподарські відходи – це залишки біомаси після вилучення необхідної частини урожаю сільськогосподарської культури. Всі відходи сільськогосподарських культур розділяються на дві основні групи:

- 1) відходи сільськогосподарського виробництва – рослинні відходи після збору врожаю сільськогосподарських культур (солома злакових культур, стебла соняшника і кукурудзи, бадилля овочевих культур тощо);

- 2) відходи переробної промисловості (лушпиння, полова тощо).

При визначенні кількісних показників рослинних відходів користуються поняттям "коефіцієнт відходів", який являє собою відношення сухої маси рослинних відходів певної культури до маси зібраного врожаю. Урожайність визначається як загальний вихід певної рослинної продукції за певний період; коефіцієнт відходів являє собою питомий показник кількості відходів певної сільськогосподарської культури. Оскільки вихід рослинних залишків знаходиться в прямо пропорційній залежності від урожайності культури, коефіцієнт відходів є достатньо стабільним показником.

Коефіцієнт доступності відходів – це частка загальної кількості рослинних відходів, яка фактично може бути зібрана, тобто загальною доступною для використання.

Слід відмітити, що при визначенні ресурсів біомаси, придатної для переробки в енергоносії, не слід враховувати ту її частку, що може бути використана в інших сільськогосподарських технологіях – силос, підстилка, кормова продукція та інше. У цих випадках кількість рослинних залишків визначається за допомогою коефіцієнта використання рослинних відходів для технологічних потреб.

Таким чином, визначення кількості потенціальних ресурсів відходів біомаси сільськогосподарських культур проводиться у наступному порядку:

- ◆ визначення загальної кількості рослинних відходів, що дорівнює добутку валового збору сільськогосподарських культур V , т, на коефіцієнт відходів K_1 ;

- ◆ визначення доступної кількості відходів, що дорівнює добутку загальної кількості відходів на коефіцієнт їх доступності K_2 ;

- ◆ визначення кількості відходів, придатних для енергетичного використання, що дорівнює добутку доступної кількості відходів на коефіцієнт використання відходів для технологічних потреб K_3 .

Загальною енергетичний потенціал рослинних сільськогосподарських відходів E , кВт·год, визначається таким чином:

$$E = V \times K_1 \times K_2 \times K_3 \times Q_n^p, \quad (11.1)$$

де Q_n^p – нижня питома теплота згоряння біовідходів у ккал, кДж або кВт·год на 1 кг.

Дані, отримані у результаті такого розрахунку, є відправними для встановлення енергетичного потенціалу рослинної біомаси як у певній місцевості, так і в регіональних та державних масштабах.

Із сільськогосподарських відходів різними методами переробки можна отримувати різні види палива – горючі гази (CO , H_2 , CH_4 та інші), рідкі палива (спирти, рідкі вуглеводні) та вуглисті речовини. Співвідношення та вихід компонентів при переробці рослинної біомаси на енергоносії залежить від ряду факторів, в основному – від складу біомаси та технології переробки.

Переробка відходів рослинництва методом анаеробного зброджування забезпечує вихід з 1 т сирової рослинної біомаси близько 175 м^3 біогазу. При організації виробництва електроенергії і тепла в місцях отримання біогазу їх

собівартість може бути навіть нижчою за існуючі тарифи – 0,6 цента/кВт·год і 2,9 дол./Гкал відповідно.

Використання соломи сільськогосподарських культур у порівнянні з іншими видами рослинної біомаси для енергетичних потреб сьогодні є найбільш перспективним. Сільське господарство України щорічно виробляє приблизно 8 млн т соломи, яку можна використовувати в енергетичних цілях. Іншу частину соломи заорюють як добриво при обробці ґрунту для його відновлення і захисту від ерозії, а також застосовують солому як грубий корм та підстилку для сільськогосподарських тварин.

Енергетична цінність соломи залежить перш за все від її вологості, а також від хімічного складу, пов'язаного як з типом соломи (зернові, ріпак тощо), так і з умовами вегетації рослин. Солома містить велику кількість хлору та азоту, тобто елементів, у процесі спалювання яких утворюються шкідливі викиди оксидів азоту NO_x . Крім того, кремній та калій, які входять до складу соломи, сприяють утворенню нагару на колосниках топок котлів, що ускладнює експлуатацію установок.

Вологість соломи, призначеної для енергетичних цілей, має бути в межах 10- 20%, її енергетична цінність становить 14-15 ГДж/т. Перебування соломи на полі після комбайнового збирання приводить не лише до зниження її вологості, але й сприяє вимиванню хлору та калію.

Важливою характеристикою рослинної біомаси для енергетичного використання є собівартість її заготівлі. Аналіз показників ефективності збирання незернової частини врожаю різних сільськогосподарських культур в умовах України свідчить, що найбільш низькими є капітальні вкладення на тонну незернової частини врожаю при збиранні соломи озимої пшениці з пресуванням її у рулони. При збиранні соломи ріпаку з подрібненням і пресуванням у великогабаритні тюки капітальні вкладення значно вищі.

За багатокритеріальною оцінкою найбільш ефективною є технологія пресування соломи озимої пшениці у рулони пресом українського виробництва. Технологія пресування соломи ріпаку у великогабаритні тюки є також досить перспективною.

Тваринницькі сільськогосподарські відходи біомаси є відходами органічного походження – в основній масі це гній і гнойові стоки великої рогатої худоби та свиней, курячий послід. Супутніми їм можуть бути матеріали, що використовуються для підстилення: солома, трава, торф.

У результаті застосування сучасних методів переробки тваринницьких відходів вирішується не тільки проблема енергозабезпечення, але й екологічна, агротехнічна та соціально-економічна проблеми, причому вирішення екологічних та санітарних завдань необхідно ставити на перше місце. Відомо, що у гної тварин і птиці знаходиться велика кількість бактеріологічного матеріалу (збудники бруцельозу, сальмонельозу, ящура, туберкульозу та інших інфекційних хвороб) та яєць гельмінтів. Зберігання та використання неперероблених відходів наносить велику шкоду оточуючому середовищу, тому що призводять до забруднення значних територій, отруєння ґрунтових вод

і водоймищ, забруднення повітря та до появи серйозних захворювань людей і тварин, що може призвести до створення епідеміологічних ситуацій. Крім того, тварини, заражені гельмінтами, споживають кормів на 11% більше і мають приріст на 15% менше в порівнянні зі здоровими.

У гної тварин та посліді птиці також є велика кількість насіння бур'янів, які не тільки не втрачають здатності сходити після проходження через шлунково-кишковий тракт, але й, знаходячись у такому живильному середовищі, сходять і ростуть значно швидше, що зменшує кількість добрив у ґрунті та знижує продуктивність сільськогосподарських культур. Крім того, у процесі анаеробного зброджування азот, фосфор і калій переходять у більш зручну для засвоєння рослинами форму. Утворені високоякісні добрива дають можливість якщо й не повністю виключити, то значно зменшити застосування мінеральних добрив, пестицидів, гербіцидів, що в свою чергу зменшує витрати на виробництво сільськогосподарських продуктів. Хімічний склад гною та стоків практично повністю відповідає потребам рослин у живильних речовинах. Визначено, що для заміни мінеральних добрив на 1 га земельних угідь необхідно біля 10 т гною.

Таким чином, з погляду агротехніки необхідність переробки тваринницьких відходів є очевидною. Енергетичний чинник при утилізації відходів тваринництва також є надзвичайно важливим. У процесі ферментації з 1 т органічної речовини можна одержати 350-500 м³ біогазу з теплою згоряння 4300-6000 ккал/м³, що еквівалентно 0,6-0,8 т умовного палива.

З точки зору отримання енергії ефективним вважається використання тваринницьких відходів при стійловому утриманні тварин. Відходи тваринництва в основній своїй масі складаються із гною та гнойових стоків свійських тварин та посліду птахівництва при стійловому їх утриманні; наявні в них домішки від підстилання (солома, трава, торф) також підлягають біоконверсії.

У середньому вологість екскрементів великої рогатої худоби та свиней становить 80-85%, курячого посліду – 75%. Наявність підстилки зменшує вологість гною до 70-78%, змивання водою збільшує вологість. Стоки гною з вологістю більше 96% нераціонально переробляти методом анаеробної ферментації, тому при отриманні біогазу з тваринницької біомаси від методу гідрозмиву гною необхідно відмовитись.

Водна рослинна біомаса. У якості енергетичної сировини в даний час розглядаються такі види водної біомаси: водорості, які використовуються як харчові продукти, водні макрофіти, фітопланктон тощо.

Водні макрофіти (водні бур'яни) утворюються у місцевостях, де є водні стоки, багаті на поживні речовини. Найбільш відомими макрофітами є очерети та водний гіацинт. Фітопланктон і бентос являють собою мікроскопічні одноклітинні рослини і зустрічаються практично в усіх освітлених сонцем морських водоймищах. Кругообіг популяцій фітопланктону проходить достатньо швидко, що може забезпечити високий вихід енергетичної сировини. Бентосні водорості поселяються тільки на твердому нерухомому ґрунті, тому мають дещо меншу густину популяцій, але організація їх збору легша.

Водна біомаса, яка може бути використана в Україні як енергетична сировина, – це рослини прісноводних озер, боліт, річок та морські водорості. Заболочені землі, які мають велику кількість поживних речовин, є більш продуктивним середовищем для утворення біомаси, ніж чисті водоймища.

Використання водоростей поділяється на три етапи – попередня обробка, переробка побічних продуктів, отримання енергії. Попередня обробка – це надання сировині фізичної та хімічної форми, придатної для отримання енергії – вилучення води та зольних речовин. У процесі переробки можна виділяти речовини, що мають певну цінність – сірка, сполуки азоту, лужні метали.

Середня кількість біомаси у вигляді водоростей, яку можна отримати з 1 м² площі, в перерахунку на суху масу становить 15-25 г/м² на добу, максимальна швидкість її утворення знаходиться в межах 30-40 г/м² сухої маси на добу. В невеликих спеціалізованих системах з вирощування водної біомаси швидкість її росту може досягати 60 г/м² на добу. Відомо, що близько 50-70% маси водоростей може ферментуватися в метан. Однак обмежена швидкість їх росту потребує виділення значних площ під вирощування водоростей для ефективного функціонування газогенеруючих установок. Це в свою чергу пов'язано з витратами великої кількості води та поживних речовин, особливо азоту і фосфору. Крім того, активне вилучення рослинності може негативно впливати на екологічний стан як самих водоймищ, так і біосистем, що знаходяться поряд.

Таким чином, використання водної біомаси як енергетичної сировини в промислових масштабах обмежується не тільки факторами її доступності, але й екологічними факторами. Тому при застосуванні водної біомаси важливим є визначення доцільного енергетичного потенціалу.

Промислові та міські відходи розділяються на дві основні групи:

- ◆ тверді відходи;
- ◆ осади міських і промислових стічних вод.

Тверді відходи. Однією з найважливіших екологічних проблем промислових підприємств і великих міст є раціональне використання твердих відходів (побутові відходи, відходи промисловості, будівельне сміття тощо). Велика частина таких відходів відноситься до горючих матеріалів, більше половини з них має біологічне походження (папір, харчові і тваринні відходи). Процентне співвідношення окремих компонентів залежить не тільки від пори року, але і від особливостей конкретного району, тому для визначення енергетичного потенціалу необхідно проводити кількісну оцінку відходів і аналіз їх складових елементів.

На першій стадії переробки проводиться збагачення відходів: матеріали неорганічного походження (метали, скло) відділяються, збагачуючи таким чином органічну складову відходів. У результаті збагачення і сушки теплота згоряння палива, одержаного з твердих міських і промислових відходів, може наближатися до теплоти згоряння вугілля.

Основними напрямками знешкодження і переробки твердих відходів є:

- ◆ складування на звалищах, смітниках;
- ◆ переробка в біопаливо та органічні добрива;

◆ спалювання залишків із використанням тепла.

Осади міських і промислових стічних вод є одним із видів вторинних енергетичних ресурсів, утилізація яких забезпечує вирішення важливих екологічних, енергетичних і соціальних проблем міст, особливо мегаполісів.

Вважається, що одна людина щоденно "створює" приблизно один кілограм комунальних відходів, причому десь на 40% вони складаються з органічних речовин. Осади, утворені у відстійниках комунальних стоків, після висихання мають близьку до торфу та бурого вугілля енергетичну цінність. На практиці вони застосовуються майже виключно як додаток до загальноприйнятих твердих палив. З цієї причини їх спалюють у печах міських очисних станцій або целюлозно-паперових підприємств – саме там, де утворюється велика кількість технологічних стоків, які виникають у процесі переробки органічної рослинної маси.

Осади міських та промислових стічних вод мають у своєму складі велику кількість органічних речовин, об'єм осадів у середньому становить 0,6-1% від очищеної води. Однак безпосереднє використання осадів міських стічних вод як палива неефективне внаслідок великих енергозатрат на їх сушіння. Тому найбільш ефективним методом отримання енергії в даному випадку вважається виробництво метану анаеробним зброджуванням.

Торф є окремим видом біомаси. Його поклади вважаються такими, що відновлюються в обсягах щорічного приросту біомаси болотної рослинності.

Торф – своєрідне, відносно молоде геологічне утворення, що відноситься до горючих корисних копалин і створюється в результаті природного відмирання та неповного розпаду болотної рослинності в умовах надлишкової вологості і при недостатньому доступі повітря. Від ґрунтових утворень торф прийнято відрізняти за вмістом у ньому органічних сполук – не менше 50% від абсолютно сухої маси. Утворення торфових родовищ визначається сумою природних факторів (кліматичних, ґрунтово-геологічних, геоморфологічних, а також рослинним покривом) і полягає у нагромадженні органічної маси в рослинному прошарку і перетворенні їх до переходу в торф.

Органічна речовина торфу складається із рослинних залишків, що мають різні ступені розкладання. Ступенем розкладання торфу називається відносний вміст у загальній масі торфу продуктів розпаду рослинних тканин, що втратили клітинну структуру. За ступенями розкладання розрізняють: слабнорозкладений торф (до 20%), середнорозкладений (20-35%), сильнорозкладений (вище 35%). За зовнішнім виглядом торф являє собою волокнисту (при малому ступені розкладання) або пластичну (при високому ступені розкладання) масу. Кінцевий продукт розпаду рослин в умовах підвищеної вологості (гумус) надає торфу коричневий або чорний колір. Торф у природному стані містить велику кількість води, що є його основною відмінністю від інших видів твердого викопного палива – бурого і кам'яного вугілля.

Основними якісними показниками, що характеризують торфову сировину і торф'яне паливо, є ступінь розкладання, вологість, зольність, теплота згоряння і щільність об'ємної маси торфу.

Робоча теплотворна здатність торф'яного палива залежить від виду торфових покладів, ступеня розкладу торфу і вмісту в його складі баласту у вигляді води та золи. Середня робоча теплотворна здатність торфу коливається: для екскаваторного торфу вона дорівнює 11,3-12,1 МДж/кг, для гідроторфу – 10,8-12,1 МДж/кг і для фрезерного торфу – 10,4-11,3 МДж/кг.

Найбільш поширеними **методами переробки біомаси в енергетичні продукти** є наступні:

- пряме спалювання;
- піроліз;
- газифікація;
- анаеробна ферментація з утворенням метану;
- виробництво спиртів та мастил для одержання моторного палива.

Проведення процесів переробки біомаси в енергетичні продукти базується на фізичних, хімічних або мікробіологічних методах:

1. При застосуванні фізичного методу енергію отримують шляхом спалювання біомаси.
2. Основою хімічного методу є використання процесів піролізу та газифікації.
3. Мікробіологічний метод застосовується для отримання біогазу анаеробним зброджуванням, паливного етанолу для отримання моторного палива та ін.

Класифікація продуктів, що можуть бути отримані в результаті переробки відходів біомаси та їх основні енергетичні характеристики

Застосування сучасних біоенергетичних технологій дозволяє замінити практично всі енергетичні продукти, які походять від традиційних енергоресурсів, на паливо, отримане в процесі технологічної переробки біомаси. Оскільки в даний час існує і розробляється велика кількість різних біоенергетичних технологій, при виборі ефективного обладнання для переробки біоенергетичних ресурсів у першу чергу необхідно розглянути найбільш поширені та ефективні технології їх використання.

Технології використання біомаси постійно удосконалюються, причому навіть у рамках кожного методу існує і розробляється велика кількість технологічних процесів та обладнання як для переробки біомаси, так і для отримання вихідних енергетичних продуктів у зручній для споживача формі. Слід відзначити, що при переробці біомаси в паливо витрачається значна доля енергії, однак ці витрати не перевищують втрат при перетворенні кам'яного вугілля в синтетичне паливо.

Енергетичні продукти, які можуть бути отримані при використанні біомаси, наведені в таблиці 11.2.

Таблиця 11.2. Енергетичні продукти, які можуть бути отримані при використанні біомаси

Вид біомаси	Технологічний процес	Енергетичні продукти
Суха біомаса	Спалювання	Теплова і електрична енергія
	Газифікація	Горючі гази, метанол
	Піроліз	Горючі гази, смоли, деревне вугілля (напівкокс)
	Гідроліз і дистиляція	Етиловий спирт
	Брикетування пресуванням	Паливні гранули (пелети) Паливні брикети
Волога біомаса	Анаеробне зброджування	Біогаз
	Зброджування і дистиляція	Паливний спирт

Вибір технології переробки біомаси в енергетичний продукт проводиться із врахуванням багатьох техніко-економічних показників і в першу чергу залежить від виду біомаси, її складу, вологості та інших властивостей. Залежно від виду енергетичного продукту, який передбачається отримати, проводиться вибір первинного процесу переробки біомаси – термічна конверсія або біоконверсія. Класифікація технологій із поетапним перетворенням біомаси в енергетичні продукти показана на рис. 11.1. З рисунка видно, що проведенням спеціальних процесів після первинної обробки біомаси можна отримати цілий ряд енергетичних продуктів, які можуть замінити практично всі з найбільш поширених видів органічного палива; причому технологічні цикли, навіть такі складні в ланцюгах послідовних реакцій як біоконверсія, є достатньо простими в обслуговуванні. Щодо апаратного оформлення, то вже розроблено цілий ряд ефективних установок для кожного з напрямів переробки біомаси, технологічні процеси яких враховують як особливості сировини, так і кінцевих продуктів.

**Загальні Спеціальні Основні Органічне паливо,
процесипроцесипродукти яке підлягає заміні**

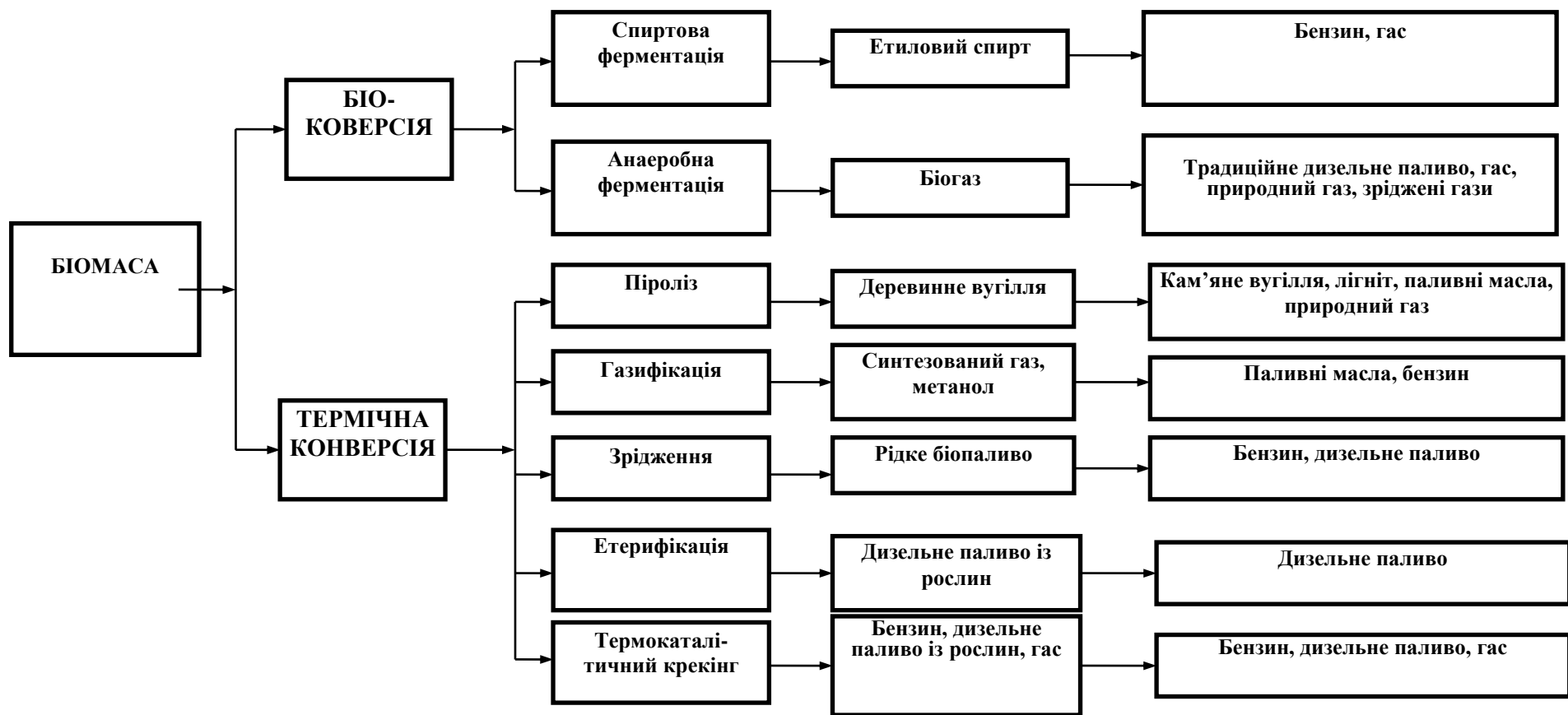


Рисунок 11.1. Класифікація методів перетворення енергії біомаси

Перспективи розвитку біоенергетики

У сільському господарстві потенційні ресурси соломи і стебел значно перевищують споживання котельних палив сільськогосподарськими підприємствами та палив у всіх опалювальних котельних, розташованих в сільській місцевості. Це свідчить, що лише частину ресурсів соломи і стебел можна вживати на енергозабезпечення в сільській місцевості, а сільське господарство України потенційно може стати постачальником палива для енергетичних підприємств в містах.

Ефективним шляхом доповнення і заміни традиційних ПЕР, особливо в сільській місцевості, є виробництво і використання біогазу, переробкою рослинної і тваринницької біомаси.

Досить перспективним для отримання біогазу є переробка сміття на звалищах. Запаси твердих побутових відходів (ТПВ) в Україні орієнтовно складають 460-490 млн м³. З урахуванням ряду обставин вважають, що приблизно на 50% звалищ можна одержувати біогаз. Потенційні можливості добування біогазу із звалищ можуть складати 2300 млн м³/рік, що еквівалентно 1,6 млн т умовного палива або 1,39 млрд м³ природного газу. Сировиною, з якої можна одержувати біогаз, можуть бути практично всі відходи, що містять органічні компоненти. За рахунок використання біогазу, одержаного в результаті анаеробної ферментації біомаси, можна замінити такі види палива:

- ◆ природний газ і зріджені гази, що використовуються для енергозабезпечення промислових і побутових потреб;

- ◆ бензин, дизельне паливо і гас у двигунах внутрішнього згоряння.

Щорічно в світі з біомаси за рік виробляється близько 46 млн т біоетанолу і 5 млн т біодизелю. У Європі ці показники складають відповідно: близько 4 млн т і 2 млн т на рік.

Аналіз багаторічних статистичних даних щодо практичного використання в Україні земель сільськогосподарського призначення і динаміки змін площ вирощування рослин, з яких планується виготовлення рідкого біопалива, показав:

- Для посівів енергетичних культур можна задіяти близько 77 тис. км² неживаних сільгоспугідь, що дозволить повернути для сільгоспвиробництва землі, які зараз не використовуються, зберегти існуючий баланс сільгоспвиробництва і не нашкодити продовольчій безпеці України.

- За рахунок використання вищезазначених площ для вирощування енергетичних рослин в Україні можна досягти виробництва рідкого біопалива в об'ємах: паливного спирту – 2 млн т/рік, біодизпалива – 7 млн т/рік. Використання в паливно-енергетичному комплексі України рідкого біопалива дозволить у перспективі заощадити до 11,8 млн т у.п./рік, що складає близько 90% від сумарного річного енергетичного потенціалу бензину і дизпалива.

- Застосування рідкого біопалива дозволить на 31,6 млн т/рік понизити викиди в навколишнє середовище вуглекислого газу, що утворюється в результаті споживання бензину і дизпалива.

- Використання для виробництва біодизпалива земель Чорнобильської зони відчуження (близько 100 тис. га забруднених земель) дозволить одержувати щорічно 20 тис. т біодизпалива. Відходи виробництва можуть бути також використанні як паливо для теплогенеруючих котелень.

Застосування наведених біоенергетичних технологій є достатньо ефективним у цілому ряді виробництв. Особливо це стосується агропромислового комплексу – при застосуванні ефективних схем комплексного використання біоенергетичних ресурсів та ефективного обладнання в Україні можна досягти значного позитивного економічного, екологічного та соціального ефекту.

Енергетичний потенціал біомаси не є сталою величиною, його величина суттєво залежить від обсягів виробництва сільськогосподарських культур, структури посівних площ, погодно-кліматичних умов тощо. Прогнозується стрімке зростання площ під *енергетичні культури* (тополя, верба, міскантус). Енергетичні рослини за період 2015-2020 рр. за об'ємами біомаси зрівняються з соломою зернових культур, а потім займуть лідируюче положення. Це пояснюється тим, що енергетичні рослини будуть вирощуватися в основному на землях, які не придатні для сільськогосподарського використання (долини річок, рекультивовані полігони ТПВ, шахтні терикони та ін.). В той же час, очікується зменшення обсягів відходів деревини за рахунок збільшення повноти її переробки. Прогнозується на рубежі 2012-2015 років використання таких видів біомаси, які на даний час практично залишаються на полі. Це солома ріпаку, стебла кукурудзи і соняшнику, солома гречки, проса, рису, очерет тощо. В той же час, обсяги соломи традиційних культур (пшениця, ячмінь, жито) будуть залишатися на рівні 2009 року (найбільша врожайність). Це пояснюється використанням нових низькорослих сортів зернових, вимогами сівозміни, а також збільшенням площ під технічні культури і кукурудзи на силос для виробництва біогазу.

Енергетичне використання *біогазу звалищ* буде стрімко розвиватись із введенням в дію механізмів Кіотського протоколу, оскільки запобігання викидам метану звалищ в атмосферу є одним з найдієвіших заходів для зменшення викиду парникових газів. Можна прогнозувати, що за цей період значна частина великих полігонів твердих побутових відходів буде оснащена системами збирання біогазу з його використанням для виробництва енергії. Насамперед доцільно організувати використання біогазу звалищ у котельнях сусідніх населених пунктів або підприємств, але основним напрямом буде його використання для виробництва електричної енергії з подачею її в енергосистему. Для комплектування цих електростанцій можуть використовуватися стаціонарні та пересувні газомоторні та газотурбінні електростанції, що вже виготовляються в Україні.

Виробництво паливного етанолу буде здійснюватись переважно на реконструйованих спиртових заводах. Обсяги виробництва будуть обмежуватися потребами етанолу як антидетонаційної добавки до бензинів. Збільшення обсягів вирощування ріпаку та сої дасть змогу збільшити ресурси високобілкових кормів для тваринництва та птахівництва з одночасною організацією виробництва *біодизельного пального*, насамперед для потреб

транспорту власне сільськогосподарських підприємств виробників сої чи ріпаку, а також на експорт.

На період з 2015 до 2020 року можливо очікувати наближення умов використання відновлюваних органічних енергоносіїв в Україні до умов країн Європейського Союзу шляхом впровадження загальноєвропейських механізмів стимулювання використання відновлюваних джерел енергії. Очікується, що значна частина підприємств та організацій України досягне відносної стабільності щодо виробництва та збуту основної продукції, будуть накопичуватися кошти для поступового оновлення виробничих потужностей та здійснення природоохоронних заходів. З початком будівництва в Україні нових і реконструкції існуючих електростанцій та ліній електропередач, тарифи на електричну енергію неминуче зростуть, що зробить для підприємств економічно привабливим виробництво електричної енергії з використанням біомаси і особливо біогазу. В цей період буде розширюватись енергетичне використання біомаси, але з наступними особливостями.

Можна прогнозувати формування значного прошарку економічно життєздатних фермерських господарств, які будуть масово впроваджувати нові соломоспалювальні котельні установки потужністю 100-1000 кВт для теплозабезпечення житла та господарських потреб.

Під тиском екологічних проблем великі та середні сільськогосподарські підприємства, а також підприємства переробної промисловості будуть впроваджувати анаеробні системи перероблення гною та стоків з одержанням біогазу і виробництвом електричної енергії. Обсяги впровадження будуть визначатися обсягами докорінної реконструкції та нового будівництва.

В промисловості буде впроваджуватися переважно нове сучасне обладнання для спалювання відходів рослинної біомаси. В опалювальних котельнях енергетичних підприємств буде розширюватися використання відходів деревини, соломи та стебел сільськогосподарських культур із впровадженням котельних установок потужністю від 1 до 10 МВт. Обсяги впровадження будуть визначатися темпами заміни основних фондів.

У комунальному господарстві одночасно з будівництвом нових потужностей з очищення стоків будуть впроваджуватись анаеробні технології перероблення осаду і мулу з використанням біогазу для виробництва теплової та електричної енергії. Нарощування обсягів використання біогазу на станціях очищення стоків буде визначатись темпами реконструкції та будівництвом нових станцій очищення комунально-побутових стоків.

В цей період буде продовжуватися інтенсивне нарощування обсягів енергетичного використання біогазу. До 2015 року найбільші полігони твердих побутових відходів будуть оснащені системами збору та енергетичного використання біогазу.

Нові та реконструйовані електричні станції, що працюють на твердому паливі та оснащуються сучасними системами очищення газів, доцільно оснащувати також системами підготовки та використання частини палив біологічного походження: брикетів із сортованих побутових відходів, нетоксичних промислових відходів, відходів сільського та лісового

господарства. Обсяги використання будуть визначатися темпами будівництва та реконструкції електричних станцій, наявністю невикористаних ресурсів біомаси. Такі електричні станції будуть виконувати роль регіональних центрів, що надають послуги із знешкодження нетоксичних відходів, які буде доцільно доставляти з об'єктів у межах до 200-300 км.

В період з 2015 до 2020 року можна прогнозувати перехід до виробництва та використання паливного етанолу не тільки як антидетонаційної добавки, але і як заміника моторного палива. Це забезпечить комплексне використання значної частини зернової сировини для виробництва кормів та моторного палива. Прогнозується початок промислового виробництва паливного етанолу з відходів деревини та сільськогосподарських відходів із використанням ферментативного гідролізу.

В період після 2020 року можна прогнозувати стабілізацію обсягів використання відходів рослинної біомаси на енергетичні потреби, оскільки найбільш доступні ресурси до того часу будуть залучені в господарський обіг. Будуть продовжувати зростати обсяги застосування анаеробних технологій перероблення гною з виробництвом біогазу, теплової та електричної енергії. Інвестиції значною мірою будуть спрямовуватись на планомірне оновлення технологій та техніки використання відновлюваних органічних енергоносіїв.

Енергетичне використання біогазу зі звалищ буде розширюватись незначними темпами, проте зростатиме обсяг робіт з переміщення зон видобування біогазу із старих на нові полігони, заміни відпрацьованого обладнання.

Вплив розвитку біоенергетики на оточуюче середовище

У результаті застосування сучасних методів переробки тваринницьких відходів вирішується не тільки проблема енергозабезпечення, але й екологічна, агротехнічна та соціально-економічна проблеми, причому вирішення екологічних та санітарних завдань необхідно ставити на перше місце. Відомо, що у гної тварин і птиці знаходиться велика кількість бактеріологічного матеріалу (збудники бруцельозу, сальмонельозу, ящура, туберкульозу та інших інфекційних хвороб) та яєць гельмінтів. Зберігання та використання неперероблених відходів наносить велику шкоду оточуючому середовищу, призводячи до забруднення значних територій землі, отруєння ґрунтових вод і водоймищ, забруднення повітря та до появи серйозних захворювань людей і тварин, що може призвести до створення епідеміологічних ситуацій. Крім того, тварини, заражені гельмінтами, споживають кормів на 11% більше і мають приріст на 15% менше в порівнянні зі здоровими.

У гної тварин та посліді птиці також є велика кількість насіння бур'янів, які не тільки не втрачають здатності сходити після проходження через шлунково-кишковий тракт, але й, знаходячись у такому живильному середовищі, сходять і ростуть значно швидше, що зменшує кількість добрив у ґрунті і знижує продуктивність сільськогосподарських культур. Крім того, у процесі анаеробного зброджування азот, фосфор і калій переходять у більш зручну для засвоєння рослинами форму. Утворені високоякісні добрива дають можливість якщо й не повністю виключити, то значно зменшити застосування

мінеральних добрив, пестицидів, гербіцидів, що в свою чергу зменшує витрати на виробництво сільськогосподарських продуктів.

Значний ефект щодо поліпшення стану оточуючого середовища можна отримати в результаті виробництва біогазу з відходів сміттєзвалищ та стічних вод із використанням технології анаеробного зброджування, що запобігає забрудненню землі, ґрунтових вод, водоймищ та повітря.

Використання відходів деревини передбачає постійний їх збір у лісових та лісопереробних господарствах. Таким чином, у процесі догляду за лісовим господарством правильна вирубка лісу сприяє росту якісної деревини і збільшенню її товарної маси. Крім того, збирання відходів (пеньків, трухлявини, поламаних гілок, листя, глиці) зменшує кількість лісових паразитів.

Важливою фізичною характеристикою біомаси є кількість забруднюючих речовин, що утворюються при її спалюванні. Тому важливим елементом екологічної складової розвитку біоенергетики є зменшення кількості забруднюючих речовин, що утворюються при її спалюванні, за рахунок використання новітніх технологій та сучасного обладнання.

Переробка в енергетичні продукти промислових відходів, що утворюються у процесі первинної обробки лісоматеріалів (в основному кора, обрізки дерев, обапіл, тирса, стружка), а також відходів, що утворюються при приготуванні пульпи для виробництва паперу (кора та відхідний лужний розчин, що має в своєму складі велику кількість розчинених органічних сполук) значно зменшує кількість шкідливих викидів в оточуюче середовище.

Основним компонентом палива є вуглець, який при спалюванні окислюється до вуглекислого газу. При спалюванні біомаси в енергетичних установках також утворюється CO_2 . Проте в процесі утворення клітковини біомаси вуглекислий газ поглинається рослинами з атмосфери згідно з відомим процесом фотосинтезу. Таким чином, кількість вуглекислого газу, який виділяється при спалюванні або природному розкладанні біомаси, і кількість вуглекислого газу, що поглинається біомасою в процесі її росту, знаходиться у постійній рівновазі. Тому антропогенні парникові гази, що викидаються електро- і теплогенеруючими установками, в яких використовується біомаса, не регулюються Кіотським протоколом.

Відповідно, в результаті використання біомаси зменшуються викиди CO_2 в атмосферу. Розрахунок зменшення викидів CO_2 проводився за умови, що 1 т умовного палива при згорянні утворює 1,8 т CO_2 .

Таким чином, розвиток біоенергетики в Україні сприятиме поліпшенню стану оточуючого середовища та зменшенню викидів парникових газів в атмосферу.

Лекція 12

Основні сучасні технології та обладнання з переробки біомаси

Основні сучасні технології та обладнання з переробки біомаси, їх технічні та економічні показники. Класифікація методів отримання та використання біогазу. Використання продуктів переробки біомаси в якості моторного палива.

Основні сучасні технології та обладнання з переробки біомаси, їх технічні та економічні показники

Пряме спалювання біомаси в атмосфері повітря є одним із найбільш давніх методів отримання теплової енергії. У ряді застосувань такий спосіб вважається одним із найбільш економічних, проте є ряд проблем при його практичному використанні. Головною з них є досягнення найбільш повного згоряння палива, в результаті якого утворюються двоокис вуглецю і водяна пара, що не шкодить навколишньому середовищу.

На практиці різний хімічний склад та особливості фізичних властивостей різних видів біомаси спричиняють ряд проблем як при її спалюванні, так і в емісії компонентів, які є побічними продуктами процесу. Спалювання соломи, деревини та ін. через високий вміст вологи (до 60% від загальної маси), велику кількість попелу (до 10%), низьку щільність та значний вміст летких складових (до 70-80%), характеризується низкою технічних ускладнень, викликаних:

- низькою питомою теплою згоряння на одиницю маси;
- значними коливаннями фізико-хімічних властивостей біомаси;
- складнощами контролю швидкості горіння та забезпечення постійного дозування;
- великою площею складування та проблемами транспортування;
- значною емісією токсичних елементів.

Процес спалювання потребує забезпечення доступу повітря, кількість якого залежить від маси та властивостей сировини, що спалюється. Процес спалювання деревини проходить три фази :

- висушування біомаси;
- термохімічний розклад (газифікація та спалювання);
- перетворення деревного вугілля в попіл.

Підтримання безперервності процесу спалювання викликає "поглинання" частини виробленої теплової енергії біомасою, зокрема, на її висушування. Під час розкладу твердого біопалива леткі речовини (гази) спалюються полум'ям, а тверді частинки тліють. При спалюванні деревини близько 80% паливної речовини перетворюється в газ, а інша частина перетворюється спочатку в деревне вугілля, а потім – на попіл. Подрібнення біомаси дозволяє покращити контакт кисню з паливними компонентами, що сприяє кращому спалюванню. Вологомісткість спалюваної сировини знижує теплоту згоряння, впливаючи на теплоефективність процесу спалювання. Спалювання біомаси вологомісткістю 55-60% робить практично неможливим не лише отримання теплової енергії, але й підтримання неперервності процесу спалювання. Правильний перебіг спалювання потребує відповідної температури, надлишку повітря та відповідного за тривалістю проміжку часу. Незадовільний

перебіг спалювання збільшує емісію CO, NO_x та інших токсичних речовин, а також кількості деревного вугілля в попелі. На вибір техніки і технології спалювання палива з соломи та деревини істотно впливає спосіб отримання та ступінь подрібнення сировини. Спалювання дерева та соломи способом, який забезпечує задовільну охорону навколишнього середовища, є складним процесом, оскільки у топкових газах, окрім продуктів теплового розпаду біомаси – таких як CO, NO_x, SO₂, летких органічних сполук та пилу, часто знаходяться і токсичні сполуки (феноли з деревини, особливо її відходів). Додатковою проблемою при спалюванні соломи є плавлення попелу та обліплювання шлаками колосникових решіток.

До технічних пристроїв, що застосовуються для прямого спалювання біомаси, відносяться печі, топки, камери згоряння. Біомаса може використовуватися при прямому спалюванні в енергетичних установках у факелі, киплячому або щільному шарі з подальшим отриманням теплової та електричної енергії. Основна промислова технологія цього напрямку – пряме спалювання в котлі і генерування електроенергії в паротурбінній установці.

У найбільш простих печах для зрубків дерев із проточною системою спалювання паливо спрямовується шнековим транспортером знизу, а вторинне (додаткове) повітря (іноді й третинне) підводяться особливими каналами до камери згоряння. Топкові гази відводяться в теплообмінник і далі у комин.

Теплотехнічні особливості сільськогосподарських твердих біопалив, що полягають у виділенні великої кількості летких сполук при температурі 250-300°C, використовують в установках з камерами попереднього спалювання, з'єднаних із котлами, що працюють на рідкому або газовому паливі.

Спеціалізовані установки для спалювання деревинної біомаси часто мають дві розташовані послідовно камери згоряння, в яких конструктивно розділено дві основні фази енергоперетворення біомаси (газифікації та спалювання виробленого газу з підведенням вторинного повітря).

Солома в залежності від форми її збирання може бути в різному вигляді: в маленьких прямокутних тюках, у циліндричних рулонах великого розміру, у прямокутних тюках великого розміру. Враховуючи таке велике різноманіття форм соломи, що збирається, у поєднанні з видовим розмаїттям (пшениця, ріпак, міскант), підготовка соломи до спалювання є більш трудомісткою, ніж дерева. У печі солону можна завантажувати вручну або механічним шляхом. Конструкції печей для спалювання соломи мають різну продуктивність і займають діапазон від печей з малою тепловою продуктивністю, пристосованих для одноквартирних будинків, до печей з високою тепловою продуктивністю, які забезпечують цілі села теплою водою для опалювання в зимовий період і протягом усього календарного року.

У печах, призначених для спалювання тюків із соломи, застосовують досить прості технологічні рішення. Такі пристрої дають низький коефіцієнт корисної дії, який не перевищує 40%, і обумовлюють викиди в атмосферу досить великої кількості CO₂ та пилу.

Спалювання соломи в печах проходить подібно до спалювання деревини. У першій фазі з соломи виділяються вода та леткі речовини, а у другій фазі відбувається безполуменеве спалювання вугільних сполук. У порівнянні зі спалюванням деревини обидві фази спалювання соломи проходять повільніше, що при застосуванні подрібненої соломи робить необхідним постійну подачу матеріалу. До того ж при спалюванні соломи утворюється значно більша кількість попелу, ніж при спалюванні деревини, а також існує тенденція до його агломерації вже при температурі 700-900°C. У зв'язку з цим застосовують спеціальну конструкцію рухомої колосникової решітки. Найкращого перебігу процесу спалювання соломи досягають при температурі в межах 850-900°C. Коефіцієнт корисної дії котла значно зменшується, якщо солома волога, що викликає труднощі щодо підтримання необхідної температури в камері згоряння.

В усіх цих випадках для повного згоряння газів, які утворюються в процесі газифікації органічної речовини, застосовують підведення вторинного повітря, а також збільшують об'єм топкової камери. Установки з автоматичним завантаженням палива відрізняються тим, що до їх складу входить пристрій для дозування кількості біопалива та автоматичної безперервної або циклічної подачі палива в топку.

Незручності спалювання, викликані властивостями біомаси як твердого палива, стали причиною створення печей, у яких біомаса, подрібнена на частинки розміром не більше 5 мм, спалюється в камері у завислому стані. Таке спалювання повинне проходити при наявності надлишку повітря і стає причиною великих втрат теплоти з топковими газами, що значно зменшує теплоефективність установок.

Вдосконаленням даного способу є сучасне спалювання у флюїдальних печах. Паливо у вигляді подрібнених частинок біомаси підвішують у потоці повітря разом із частинками матеріалів, що спеціально додаються (кварцовий пісок), створюючи шар, який поводить себе як кипляча рідина й частинки якого не виносяться потоком повітря, що нагнітається із дна камери. Така конструкція печі дозволяє зменшити розміри камери згоряння, а також знизити температуру спалювання до 800-900°C. Флюїдальне спалювання при атмосферному або підвищеному тиску збільшує коефіцієнт корисної дії і зменшує розміри установок. Флюїдальні напірні печі вимагають застосування відповідного вентилятора.

Піроліз біомаси. Піроліз визначається як хімічне перетворення одних органічних сполук в інші під дією теплоти або як суха перегонка без доступу окислювачів (кисню, повітря).

Розроблено ряд технологічних процесів піролізу біомаси, експлуатаційні умови кожного з процесів визначаються природою сировини, методами переробки та заданими продуктами виробництва.

Характеристика продуктів піролізу залежить від типу сировини та умов проведення процесу. Основними продуктами піролізу можуть бути вуглиста речовина, паливна рідина, паливні гази, причому часто технологічний процес орієнтовано на переважне отримання якогось одного з продуктів піролізу.

Піроліз біомаси проходить при достатньо високих температурах з утворенням горючих газів, які потім використовуються для підігріву реактора.

При низькотемпературному піролізі утворюється значна кількість вуглистих залишків, тому для збільшення виходу газів піроліз необхідно проводити при якомога вищих температурах.

Ефективність згоряння отриманого в процесі піролізу палива залежить від кількості та температури повітря, яке подається в систему.

Газифікація біомаси – це перетворення твердих відходів біомаси в горючі гази шляхом неповного їх окислення повітрям (киснем, водяною парою) при високій температурі. Газифікувати можна практично будь-яке паливо, в результаті одержують генераторні гази, що мають великий діапазон використання у якості палива для отримання теплової енергії в різних промислових процесах, у двигунах внутрішнього згоряння, у якості сировини для отримання водню, аміаку, метилового спирту і синтетичного рідкого палива.

В 50-ті роки ХХ століття в Україні вироблялось і використовувалося близько 18 млрд м³ генераторного газу, сировиною для якого була деревина, торф, вугілля. На сьогодні виготовлення обладнання для термохімічної конверсії біомаси практично може здійснюватися на більшості механічних заводів України. Промисловістю серійно випускаються газові турбіни та дизельні електростанції, що можуть бути конвертовані на низькокалорійний генераторний газ. Найбільш конкурентоспроможними на сьогодні можуть бути установки, в яких за допомогою генераторного газу виробляється одночасно теплота і електроенергія.

Термічний розпад деревини проходить у послідовних фазах, що відбуваються одна за одною: виділення води (температура до 170°C); виділення СО та СО₂ (температура 170-270°C); виділення з вуглеводнів летких речовин (температура 250-350°C).

Газифікатори мають різну продуктивність із різним виходом енергії в паливному газі. Низькокалорійний газ може бути отриманий шляхом газифікації різних видів біомаси:

- органічних компонентів твердих міських відходів, у тому числі паперу, тканин, гуми, трави, обрізків деревини, харчових відходів;
- відходів лісу, в тому числі обрізків деревини, кори, тирси, деревного вугілля;
- сільськогосподарських відходів, які утворюються після збору врожаю (стрижні кукурудзи, відходи злакових та бобових культур, льону тощо).

Газифікатори класифікуються у відповідності з характером біомаси, що переробляється, та особливостями апаратурного оформлення і дії.

За призначенням газифікатори поділяються на стаціонарні та транспортні; за місцем підведення окислювача (так званого дуття) і відведення газів – на вертикальні прямі (рух дуття знизу вгору), вертикальні повернуті (рух дуття зверху вниз) та горизонтальні. Основними типами газифікаторів для періодичної та безперервної газифікації є реактори з нерухомим (щільним) шаром сировини, з шаром сировини, що перемішується, із псевдозрідженим

шаром, з шаром сировини, що обертається, та реактори з проштовхуванням шару сировини.

Незважаючи на велику різноманітність способів газифікації, всі вони характеризуються одними й тими ж реакціями. У загальному вигляді газифікатор являє собою шахту, внутрішні стінки якої футеровані вогнетривкими матеріалами. З однієї сторони цієї шахти подається паливо, а з протилежної – окислювач. Шар палива підтримується колосниковою решіткою.

Спочатку дуття проходить через шар золи та шлаку, де частково нагрівається (0 зона), і подається в шар сильно розігрітого палива (окислювальна зона I). Утворені продукти згоряння піднімаються вгору по газифікатору і в області зони газифікації (II) вступають у реакцію з горючими елементами палива, відновлюючись до окису вуглецю і водню. При подальшому русі сильно розігріті продукти відновлення збагачуються продуктами пірогенного розкладу палива (гази, смоли, водяна пара), що утворюються в зоні III.

За способом подачі дуття газифікатори поділяються на реактори з повітряним дуттям, у яких отримують низькокалорійний "повітряний" газ із теплотою згоряння 3,8-4,5 МДж/м³ (1,06-1,25 кВт·год/м³), та реактори з кисневим дуттям, у яких отримують висококалорійний так званий кисневий газ з теплотою згоряння 5-8,8 МДж/м³ (1,39-2,44 кВт·год/м³), у складі якого менше азоту. При подачі в сильно розігрітій шар палива водяної пари отримують так званий "водяний газ" із теплотою згоряння 10-13,4 МДж/м³ (2,78-3,72 кВт·год/м³). Газифікатори експлуатуються як в умовах атмосферного тиску, так і при більш високому тиску; з підвищенням тиску продуктивність реактора збільшується і об'єм реактора можна зменшити. Однак реактори високого тиску потребують спеціального обладнання і комунікацій, тому зараз більшість реакторів для газифікації біомаси експлуатуються при атмосферному тиску.

Оскільки виробництво газу відбувається в умовах обмеженого доступу кисню з повітря, зменшуються втрати теплоти, а топкові гази не містять твердих частинок. Конструкція газогенераторів та спосіб газифікації залежать від розмірів установки, виду та якості біомаси, а також способу використання газу. Технологічне рішення з нижнім забором генераторного газу (рис. 9, а) застосовується у генераторах потужністю до 1 МВт і вимагає дотримання постійних розмірів, видів та вологості подрібненої біомаси, а якість газу, що виробляється, є високою і досить стабільною.

Так само як і для процесів спалювання, для газифікації біомаси застосовують флюїдальні генератори, перевагою яких є можливість використання у великих установках потужністю більше 100 МВт і невелика імовірність агломерації попелу завдяки відносно низькій температурі протікання процесу, яка не перевищує 800-900°C.

Оскільки піроліз біомаси є частиною процесу газифікації органічної матерії, який полягає у її розкладанні теплотою при наявності повітря, його можна порівняти з неповним спалюванням біомаси (твердого палива) при застосуванні кисню (повітря) та водяної пари. Піроліз проходить при

температурі 1000°C, а його продуктом є суміш горючих газів, що містить окис вуглецю (CO), водень (H₂) та сліди метану (CH₄). Різновидом газових генераторів є піролізні генератори.

Сучасним етапом технологічного та технічного розвитку отримання енергії з біомаси шляхом термохімічної конверсії є об'єднання газифікації біомаси з роботою газових турбін у так званих змішаних системах.

Подальшим розвитком енергогенеруючих систем є інтеграція генератора для газифікації біомаси та газової турбіни з паровим котлом.

Біоенергетичне обладнання закордонного виробництва є досить дорогим і далеко не всі українські підприємства мають фінансові можливості для його придбання, що є одним з найбільш значних бар'єрів розвитку біоенергетичних технологій. Найбільш доцільно почати випуск в Україні біоенергетичного обладнання, у якому частка закордонних комплектуючих буде становити до 25-40%. При цьому вартість біоенергетичного обладнання українського виробництва значно знижується.

Анаеробна ферментація біомаси. Одним з ефективних шляхів доповнення та заміни традиційних паливно-енергетичних ресурсів, особливо в сільській місцевості, є виробництво та застосування біогазу, який утворюється в результаті використання технологій метанової анаеробної ферментації відходів рослинної біомаси та біомаси тваринництва. Для виробництва біогазу придатними є різноманітні відходи агропромислових виробництв, що містять целюлозу та різні цукри, які при застосуванні певних технологічних умов підлягають ферментації – проходженню біохімічних процесів, кінцевим результатом яких є отримання біогазу та концентрованих органічних добрив.

Вміст органічних речовин у біомасі, що піддається ферментації, становить:

- у стоках – 0,04-0,06%;
- у харчових відходах – 15%;
- у гної та гноївці – 15-20%.

Іншим джерелом біогазу є звалища сміття. Запаси твердих побутових відходів (ТПВ) в Україні орієнтовно становлять 460-490 млн м³. З урахуванням ряду обставин вважають, що приблизно на 50% звалищ можна продукувати біогаз. Для розрахунків середню густину ТПВ у тілі звалища прийнято на рівні 0,8 т/м³, вміст органіки – 60%, термін розкладання органіки в анаеробних умовах – 40% протягом 20 років, нижню теплоту згоряння біогазу – 20,95 МДж/м³. За таких обмежень потенціальні можливості добування біогазу зі звалищ можуть становити 2300 млн м³/рік, що еквівалентне 1,6 млн т умовного палива.

Виробництво біогазу є найбільш ефективним при ферментації тваринних відходів, таких як гноївка чи гній. Їх можна перемішувати з іншими господарськими відходами або відходами переробки сировини харчової промисловості. У залежності від складу сировини, що переробляється, можна очікувати вихід біогазу різного рівня та енергетичної цінності. Кількість утворених відходів залежить від віку та виду тварин, яких розводять, а також від пори року. Середня кількість біогазу, яку можна отримати з 1 м³ тваринних

відходів, оцінюється у 20-25 м³, хоча рентабельною кількістю в техніко-економічному відношенні вважається 30-35 м³. Таку кількість біогазу можна отримати шляхом сполучення відходів тварин та господарських відходів з іншою речовиною, яка відрізняється високим вмістом сухої органічної маси, а саме з відходами підприємств харчової промисловості або рослинною масою (особливо травою з площ під паром). За існуючими даними, добавка 10% за масою силосу з кукурудзи при вологомісткості 30% до гноївки ($W=85\%$) збільшує виробництво біогазу на 50-60%, а добавки 5% за об'ємом відходів гліцерину (від виробництва біодизелю при $W=71\%$) збільшує кількість біогазу, що виробляється, на 60-70%. Значно збільшує вихід біогазу на одиницю об'єму сировини додавання жирів і комунальних стоків з господарств, розміщених неподалік.

Сировину, що підлягає анаеробному зброджуванню, поділяють на 3 основних категорії:

- сільськогосподарську – гноївка, гній (враховуючи більшу гідратацію лише як додатковий матеріал), енергетичні культури, залишки біомаси та інше;
- промислову – крохмаль, відходи скотобоєнь, молочних та цукрових заводів, фармацевтичної, косметичної та паперової промисловості тощо;
- господарську – органічні відходи, комунальні стоки тощо.

Ферментаційний матеріал також поділяють на основний (ферментація якого може протікати самостійно, без додавання інших речовин) та допоміжний. Основним ферментаційним матеріалом вважають гній, гноївку, молоду траву, а допоміжним – рослинні відходи від фруктів, органічні відходи, залишки їжі, жири, мелясу, органічні продукти, що розпадаються природно-біологічним шляхом, господарські стоки тощо. У процесі анаеробної ферментації складні органічні речовини розкладаються до CO_2 і CH_4 , причому на частку метану приходиться приблизно 90% енергії, яка знаходиться в субстраті. Технологічний процес анаеробного зброджування біомаси проводиться без доступу кисню в спеціальних реакторах-метантенках, конструкція яких забезпечує максимальне виділення метану.

У процесі анаеробної ферментації приймають участь різні види мікроорганізмів; з точки зору температурних умов проходження реакцій можна виділити два основних види мікроорганізмів – термофіли, активні при 45-70°C, та мезофіли, активні при 20-40°C. Найбільш ефективними вважаються біогазові реактори, що працюють у термофільному режимі 52-56°C. На таких установках з триденною ферментацією гною вихід біогазу становить 4,5 л на кожен літр корисного об'єму реактора.

Біогаз, отриманий в результаті анаеробної переробки біомаси, складається з 60-70% метану, 30-40% вуглекислого газу, домішків сірководню, водню, аміаку та окислів азоту. Вилучення шкідливих компонентів біогазу є обов'язковим при експлуатації біоенергетичного обладнання.

Збільшення продуктивності процесу анаеробної ферментації можна досягти, застосовуючи у якості сировини суміш різних сільськогосподарських

відходів. При необхідності у вихідну біомасу для інтенсифікації процесу додають органічні каталізатори, якими можуть бути глюкоза і целюлоза.

Для підвищення ефективності процесу анаеробної ферментації в процесі всього періоду зброджування проводиться активне перемішування біомаси, що скорочує термін зброджування і збільшує вихід біогазу. Перемішування здійснюється: механічними мішалками різної форми або фекальними насосами з приводом від електродвигуна; гідравлічними насадками за рахунок енергії струменя зброджуваної біомаси, що перекачується насосом; надлишковим тиском біогазу, який пропускається через барботер або трубку, розміщену в нижній частині реактора.

Залишок, який утворюється в результаті анаеробної ферментації, містить значну кількість живильних речовин, склад та кількість яких залежить від складу сировини, що подається в біореактор. При сприятливих умовах розкладається приблизно 70% органічних речовин, 30% попадає в залишок. Перевагою методу анаеробної ферментації є те, що в тій чи іншій формі зберігається практично весь азот із відходів біомаси. Відпрацьована органічна маса після виходу з реактора використовується безпосередньо як добриво.

Застосування біогазу дає можливість отримувати теплову та електричну енергію, що є особливо привабливим для фермерських господарств; при масовому поширенні біогазових технологій у сільських регіонах можна досягти значної економії органічного палива.

Енергоємність біогазу у порівнянні з іншими носіями енергії наведена в таблиці 12.1.

Таблиця 12.1. Порівняльні показники традиційних енергоносіїв та біогазу

№ п/п	Продукт	Одиниці вимірювання	Еквівалент 1 м ³ неочищеного Біогазу 23 МДж/м ³	Еквівалент 1 м ³ очищеного біогазу 35,2 МДж/м ³
1	Спирт	дм ³	1,10	1,70
2	Бензин	дм ³	0,73	1,10
3	Електроенергія	кВт·год	0,62	0,940
4	Природний газ	м ³	0,61	0,93
5	Вугілля	кг	0,82	1,25

Завдяки своїм високим антидетонаційним властивостям, біогаз може ефективно використовуватись у двигунах внутрішнього згорання. Порівняльні випробування показали, що питомі витрати дизельного палива становили 220 г/кВт·год при номінальній потужності, а біогазу – 0,4 м³/кВт·год.

Класифікація методів отримання та використання біогазу

В останні роки застосування біогазових технологій отримало розповсюдження як у країнах, що розвиваються, так і в промислово розвинених країнах. У Західній Європі приблизно $\frac{3}{4}$ біогазового обладнання припадає на невеликі установки з ємністю реакторів від 100 до 300 м³, що утилізують в основному відходи тваринництва. Близько 90 великих промислових установок з робочим об'ємом до 5000 м³ застосовують для переробки стоків гною.

Доцільність автономного енергозабезпечення ферм за рахунок власного джерела енергії та необхідність зменшення шкідливих викидів в оточуюче середовище роблять енергетичний біогазовий блок обов'язковим елементом сучасних сільськогосподарських комплексів.

Всього у світі зараз використовують або розробляють приблизно 60 різновидів біогазових технологій. Використання біогазових установок (БГУ) для отримання палива і добрив є економічно ефективним. Строк окупності біогазових установок становить від 5 до 10 років.

Біогазові анаеробні установки, в залежності від технологічної схеми проведення процесу метанової ферментації, розрізняються таким чином:

- безперервні;
- періодичні;
- акумулятивні.

При цьому всі біогазові анаеробні установки поділяють на промислові та індивідуальні. До промислових відносять біогазові заводи, що переробляють стоки великих підприємств, біогазові станції – аналоги "європейських" моделей та сільськогосподарські комплекси, що дозволяють проводити метанове зброджування органічних відходів. Індивідуальні установки призначені для покриття потреб дрібних і середніх ферм, присадибних господарств, житлових будинків і теплиць.

За конструктивними рішеннями біогазові анаеробні установки поділяють на такі основні види:

- без підведення теплоти і без перемішування зброджуваного субстрату;
- з підведенням теплоти і з перемішуванням зброджуваного субстрату;
- з попередньою підготовкою субстрату для зброджування, підведенням теплоти, перемішуванням, контролем і керуванням анаеробним процесом.

У залежності від комплектації метантенків виділяють три основних види біогазових анаеробних установок:

- з одноступінчастим метантенком;
- з послідовно з'єднаними метантенками, що працюють у єдиному режимі;
- з паралельно встановленими метантенками, кожен з яких працює незалежно від інших і може зупинятися для розвантаження та вивезення відходів біомаси.

Конструкція біогазових установок залежить від технології одержання газу, що обумовлюється:

- вибором температури зброджування (мезофільний або термофільний процес);
- тривалістю процесу;
- режимом заповнення метантенка (безперервний або періодичний);
- системою теплопостачання метантенка;
- системою збору біогазу із газгольдером чи без газгольдера;

- технологією завантаження сировини, вивантаження шламу, очищення біогазу і т.д.;
- виконанням метантенка (матеріал, конструкція).

Найбільшого поширення метантенки отримали для зброджування гною при безпідстилковому утриманні тварин із застосуванням ґратчастих настилів. При цьому біореактори найчастіше розташовуються під хлівом так, щоб рідкий гній попадав у них самопливом. Це дозволяє проводити процес анаеробної ферментації при температурі навколишнього середовища.

На практиці одержали поширення дві принципові технологічні схеми зброджування: одноступінчасте зброджування та дво- або багатоступінчасте зброджування.

Одноступінчасті метантенки застосовувалися як низьконавантажувані; необхідність зброджування великих об'ємів біомаси змусила перейти до застосування високопродуктивних метантенків, у яких інтенсифікація процесу забезпечується за рахунок:

- інтенсивного прогрівання осаду;
- створення систем безперервного перемішування для рівномірного розподілу осаду і зменшення контакту мікроорганізмів із субстратом, що зброджується;
- безупинного завантаження, або принаймні скорочення інтервалів між завантаженнями органічних відходів.

Перехід на термофільні умови процесу зброджування дозволяє одержати високі показники при більш високих дозах завантаження за об'ємом – 18-20% (5,0-5,5 діб), а граничні дози завантаження – 22, 24 і 26% відповідно при температурі 49, 51 і 53-55°C. Навантаження за органічною речовиною, при яких стійко протікає процес, складають 3-4,5 кг/м³ на добу при мезофільних температурах і 6-7 кг/м³ на добу – при термофільних.

В основі дво- і багатоступінчастого зброджування лежить поділ процесу на стадію інтенсивного зброджування з бурхливим виділенням біогазу, що запобігає розшаруванню осаду (I ступінь) і стадію дотухання процесу, на якій припиняється газовідділення і відбувається розшарування осаду і відділення мулової води. Це веде до зменшення обсягу зброджуваного осаду, який надходить на зневоднювання, що дозволяє скоротити витрати при спорудженні установки. Крім того, за рахунок видалення мулової води в II ступені метантенка збільшується час зброджування осаду, що приводить до поліпшення його водовіддаючих властивостей. При цьому II ступінь може виконуватись у вигляді відкритих залізобетонних або земляних резервуарів, що не мають устаткування для перемішування й обігрівання. У високопродуктивних метантенках не відбувається розшарування осаду і відділення мулової води. У зв'язку з цим більшість закордонних проектів передбачає застосування метантенка II ступеня.

Сучасні біогазові анаеробні установки складаються з наступних основних систем:

- ◆ системи підготовки і подачі сировини в біореактор;

- ◆ біореактора (метантенка) із системою підтримки постійної температури й іншими комплектуючими пристроями;
- ◆ системи збереження і використання біогазу;
- ◆ системи вивантаження і транспортування шламу.

Однією з основних частин біогазової анаеробної установки є метантенк, у якому відбувається анаеробне бродіння біомаси. Ефективність процесу в метантенку залежить від підтримання заданої температури. При цьому необхідно підводити визначену кількість теплоти для компенсації теплових втрат із метантенка і розігріву до потрібної температури біомаси, що подається. Обігрівання метантенка може здійснюватися електричними теплонагрівальними елементами, вмонтованими всередині метантенка, гарячою водою, що протікає через теплообмінники, розміщені в метантенку, гарячою водою або паром, що подаються в метантенк разом з біомасою. Останнє використовується в тому випадку, якщо біомаса містить велику кількість твердих часток.

У великих біогазових анаеробних установках знаходять застосування теплообмінники, розташовані поза метантенком. Зброджувана маса за допомогою спеціального насоса постійно прокачується через теплообмінник. При цьому не тільки підтримується задана температура, але і здійснюється перемішування біомаси.

Перемішування зброджуваної біомаси є обов'язковою умовою, що забезпечує ефективність процесу анаеробного бродіння. В іншому випадку на поверхні біомаси спочатку утвориться піна, потім тверда кірка, що може привести до повної зупинки процесу. Найчастіше для перемішування використовують механічні мішалки, або під тиском подають у нижню частину метантенка отриманий біогаз.

Метантенки виготовляють із сталі, залізобетону, полімерних матеріалів. Форма метантенка повинна забезпечувати простоту виготовлення і досить нескладне видалення шламу (відходу бродіння) з його нижньої частини. Тому найчастіше метантенк має циліндричну форму з конусним днищем.

Процес бродіння біомаси в метантенках проходить досить довго. Спочатку розпадаються органічні речовини, що легко розкладаються, при цьому спостерігається найбільший вихід біогазу. При подальшому перебуванні біомаси в метантенку починають повільно розпадатися органічні речовини, але швидкість виходу біогазу значно зменшується. Єдиною перевагою витримки біомаси в метантенку є зниження кількості хвороботворних мікроорганізмів. На практиці час тривалості процесу вибирають рівним часу для розкладання 50% органічних речовин.

Найбільш ефективні, але і найдорожчі, біогазові анаеробні установки з безперервним завантаженням. Тут переброджену частку біомаси вивантажують щодоби і додають відповідну частку свіжої біомаси, з огляду на об'єм біогазу, що виділився. Робочий об'єм метантенка в цьому випадку визначається кількістю біомаси, яка щодоби завантажується, і тривалістю процесу.

Отримуваний у метантенках біогаз може безпосередньо використовуватися в технологічному процесі. Але найчастіше його необхідно збирати і якийсь час зберігати.

Для збору біогазу в основному використовують два типи газгольдерів: мокрий та сухий.

Мокрий газгольдер достатньо простий у виконанні – у закриту посудину, частково заповнену водою, подається знизу біогаз, що витісняє воду. Недоліком його є складність використання у холодну пору року, що пов'язано з підігрівом води гідрозатвору. Сухий газгольдер може працювати в будь-який час, але матеріали, що використовуються на виготовлення газонепроникних мембран, не можуть тривалий час зберігати еластичність.

Ефективність біогазової анаеробної установки багато в чому визначається стабільністю мікробіологічного процесу, що забезпечує бродіння біомаси. Найбільш складним є її запуск. У свіжому гної немає достатньої кількості анаеробних бактерій. Для того щоб з'явилася колонія цих мікроорганізмів, крім зовнішніх факторів (РН середовища, температури і т.п.), необхідний "біологічний поштовх". Ним може бути додавання у свіжий гній активної закваски з діючого метантенка. Якщо поблизу такої установки немає, то додають реагенти: вапно, вуглекислий амоній та інше, що забезпечує оптимальні умови для життєдіяльності анаеробних бактерій.

Основні властивості біогазу. Частка метану в біогазі залежить у першу чергу від виду сировини. Утворений у результаті метанової анаеробної ферментації біогаз є джерелом теплової або електричної енергії. Енергетична цінність біогазу залежить від частки метану в ньому і в середньому складає 17-23 МДж/м³ (таблиця 12.2).

Таблиця 12.2. Фізичні властивості біогазу та його компонентів

№ /п	Показник	Од. вимір.	Складові біогазу				Біогаз (60% CH ₄ і 40% CO ₂)
			Метан CH ₄	Двоокис вуглецю CO ₂	Водень H ₂	Сірководень H ₂ S	
1.	Об'ємна частка	%	55-70	27-44	1	3	100
2.	Теплота згоряння	МДж/м ³	35,8	-	110	22,3	17-23
3.	Температура запалення	°С	650-950	-	585	-	650-950
4.	Критичний тиск	МПа	4,7	7,5-304	1,3	89	7,5-8,9
5.	Критична температура	°С	190,5	1,98	0,09	373	190,5
6.	Нормальна густина	г/см ³	0,72	468	31	1,54	1,2
7.	Критична густина	г/см ³	162	-	0,07	349	320
8.	Відносна густина (до повітря)	-	0,55	2,5	-	1,2	0,83

Із 1 м³ гною можна отримати приблизно 20 м³ біогазу енергетичною цінністю 20-25 Мдж/м³. Після виділення із біогазу двоокису вуглецю шляхом розчинення його у лужній воді можна отримати газ із вмістом метану до 95%,

тоді його енергетична цінність зростає до 36 МДж/м³. Очищений метан є горючим газом без запаху і кольору. Неочищений біогаз має характерний запах, обумовлений наявністю домішок, завдяки чому його витік можна легко відчутти. У звичайних умовах метан важко зріджувати. Швидкість переміщення полум'я у біогазі не перевищує 50 м/с. Біогаз у суміші з повітрям вибухонебезпечний, якщо його частка становить 5-15%. Біогаз має октанове число близько 125.

Використання продуктів переробки біомаси в якості моторного палива

Перші спроби використання рослинних олій для приводу дизельних двигунів були зроблені їх винахідником Рудольфом Дизелем і репрезентовані на Міжнародній виставці в Парижі у 1900 році.

Швидкий розвиток транспорту справляє шкідливий вплив на навколишнє середовище. Транспортні засоби створюють приблизно 25% емісії CO₂ на нашій планеті. Це спричиняє пошуки нових видів енергії, розробки в цій галузі є одним із основних пріоритетів світової науки. У таблиці 12.3 наведено інформацію про сировину, методи отримання та можливості використання рідких біопалив.

Таблиця 12.3. Рідкі біопалива та їх використання

Складова палива	Енергетичні сільсько-та лісгосподарські культури	Процес конверсії сировини	Спосіб використання
Рослинна олія	Ріпак, соняшник, соя		Складова пічного палива
Біоолива	Тополя, верба, міскант	Піроліз	Присадка до моторної оливи чи бензину
Біодизельне паливо	Ріпак, соняшник, соя	Етерифікація	Замінник або складова дизельного паливо
Біоетанол	Зернові, картопля і топінамбур	Гідроліз та ферментація	Складова бензину
	Цукрові буряки, тростина та сорго	Ферментація	
	Тополя, верба, солома, міскант і трави	Попередня обробка, гідроліз та ферментація	
Біометанол	Тополя, верба, міскант	Газифікація або синтез метанолу	Складова бензину

Необхідність заміни бензину, хоча б часткової, на екологічно чисті палива пов'язана з нагальною необхідністю зменшення шкідливого впливу автотранспорту на оточуюче середовище.

Виробництво та використання етанолу як палива має широку підтримку в Бразилії, США, Швеції, Франції, Японії, Австралії та інших країнах. Одним з альтернативних "чистих" палив є метанол, який ефективно може вироблятися з деревинних відходів.

За прогнозами спеціалістів, у найближчому майбутньому передбачається покриття значної частки (до 12%) світової потреби в дизельному пальному за рахунок рідкого біодизпалива. Застосування біодизелю та біоетанолу в

агропромислового виробництва та сільській місцевості дозволяє в комплексі вирішувати проблеми їх забезпечення енергоресурсами, дефіцитними білковими шротами, калійно-фосфорними добривами та іншими цінними продуктами. Рідкі біопалива знаходять важливе застосування у міському господарстві – на транспорті.

Світовий ринок виробництва біодизельного палива на основі рослинних олій, що безпосередньо пов'язаний з агропромисловим виробництвом, має стабільну динаміку розвитку, особливо стрімку в Європі.

Для України, у зв'язку з перспективами розвитку сировинної бази, важливим завданням є організація власного виробництва біодизелю та біоетанолу та створення на їх основі парку екологічного транспорту.

В Україні розроблена програма переобладнання частини державних спиртових заводів на виробництво біоетанолу, але його використання стримується державним регулюванням використання біоетанолу як обов'язкової добавки до бензинів.

На сьогоднішній день в Україні вирощується ріпак з метою отримання олії та використання її як палива в дизельних двигунах. Для вирощення ріпаку пропонується також використання земельних угідь у районах, заражених радіоактивними елементами.

Рідке біопаливо за напрямом використання можна розділити на:

- рідке біопаливо, придатне для використання у двигунах із зовнішнім утворенням суміші "паливо-повітря" (карбюраторні двигуни);
- рідке біопаливо, придатне для використання у двигунах з утворенням суміші "паливо-повітря" всередині двигуна (дизельні двигуни);
- рідке біопаливо, придатне для використання в паливних котлах замість мазуту.

Рідке біопаливо, придатне для використання у двигунах із зовнішнім утворенням суміші "паливо-повітря", можна отримати із застосуванням наступних технологій: ферментацією біомаси; газифікацією біомаси; швидким піролізом біомаси.

Практично всі карбюраторні двигуни без будь-якої переробки можуть спалювати суміші бензину з добавками очищеного біоетанолу до 10%, або бензину з добавками обезводненого біоетанолу до 20%. Суміш бензину із 10% добавкою обезводненого біоетанолу має назву "газохол". Важливою особливістю газохолу є його властивість витримувати ударні навантаження без вибуху, тому його використання більш доречно за використання свинцевовміщуючих добавок із тетраетилсвинцю, які викликають серйозне забруднення атмосфери.

При використанні у двигунах як палива чистого біоетанолу потрібне спеціальне переобладнання як карбюратора, так і самого двигуна. Виконання цього переобладнання проводиться як з урахуванням фізико-хімічних властивостей біоетанолу як палива, так і з урахуванням гідрофільного характеру біоетанолу. Справа в тому, що біоетанол, а також його суміші з бензином, насичуються водою значно швидше бензину. Наявність води викликає прискорену корозію деталей двигуна, сприяє розділенню фаз палива.

В таблиці 12.4 наведено деякі характеристики чистого біоетанолу, який може використовуватись як рідке паливо для двигунів внутрішнього згорання.

Таблиця 12.4. Фізико-хімічні та експлуатаційні властивості рідкого біопалива, що використовується в карбюраторних двигунах внутрішнього згорання.

Показники	Бензин	Біоетано л	Газохол (10% етанолу)	Біометанол
1. Густина, кг/м ³ при 20°C	710-760	790	730-760	795
2. Температура, °C: кипіння застигання	35-195 -60-80	78 -114,6	- -	64,7 -97,8
3. Тиск насичених парів при 38°C, кПа	65-92	17	55-110	12,6
4. Стехіометричний коефіцієнт, кг/кг	14,5- 15,0	9,06	14	6,51
5. Температура згорання, °K	2336	2235	-	2185
6. Теплота згорання, МДж/кг	43-45	26,9-27,2	41,9	19,98
7. Октанове число				
- за моторним методом	66-85	92	-	88-94
- за дослідним методом	75-95	108	-	102-111
8. Цетанове число	8-14	8	-	3
9. Хімічний склад палива, %:				
9.1. Вуглець, С	85	52,12	-	37,5
9.2. Водень, Н ₂	15	13,14	-	12,5
9.3. Кисень, О ₂	-	34,47	-	50
9.4. Сірка, S	-	-	-	-

Сучасне обладнання для енергетичного використання відходів біомаси в Україні

Зараз в Україні експлуатуються кілька сучасних котлів для спалювання деревини. У держлісгоспах і на деревообробних підприємствах експлуатується значна кількість котлів, спершу спроектованих для спалювання вугілля і мазуту, а потім переобладнаних для спалювання деревини. Працюють більше 25 котлів для спалювання соломи потужністю 150-980 кВт, експлуатується декілька великих біогазових установок для обробки гнойових стоків і стоків харчової промисловості та декілька газифікаторів для переробки біомаси; заплановано будівництво мініТЕЦ на біомасі.

Підприємства України виробляють (серійно або на замовлення) наступне обладнання для спалювання дров, відходів деревини, відходів переробки сільгосппродукції:

- ◆ пальники для сумісного спалювання тирси та природного газу в топках котлів (Інститут газу НАН України);

- ◆ підігрівачі повітря при спалюванні деревини потужністю 4-8 кВт (МП "Автор", м. Донецьк); 6, 11, 18, 27, 35 кВт (МП "ВІТ", м. Київ; ВАТ "Протекс", м. Київ; АТ "Ніжинський дослідно-механічний завод" та інші підприємства);

◆ підігрівачі повітря з двостадійним (газогенераторним) спалюванням відходів деревини потужністю 125, 250, 500, 750 1000 кВт (ЗАТ "Київавтоматика");

◆ побутові опалювальні котли для спалювання дров та кускових відходів потужністю 40, 80 кВт (63-й котельнозварювальний завод, м. Івано-Франківськ); 20, 30, 50 кВт (ДП "Строммаркет", м. Лисичанськ); 31, 50, 80 кВт (ПП "Магр", м. Чернігів); 25 кВт (ЗАТ "Житомирремхарчомаш");

◆ побутові опалювальні котли з двостадійним (газогенераторним) спалюванням дров потужністю 33, 45, 75, 30, 50 кВт (ТОВ "КАФ", м. Вишневе Київської обл.);

◆ водогрійні котли газогенераторного типу для спалювання відходів деревини, відходів переробки льону та хмелю потужністю 100 та 200 кВт (ЗАТ "Житомирремхарчомаш");

◆ газифікаційні передтопки для використання відходів деревини потужністю 100 та 200 кВт (СП "Ройек-Львів");

◆ водогрійні котли для спалювання подрібнених відходів деревини потужністю 130 кВт (ДП "Строммаркет", м. Лисичанськ); 500 кВт (63-й котельнозварювальний завод, м. Івано-Франківськ); 820 кВт (ЗАТ "Житомирремхарчомаш");

◆ водогрійні котли (газотрубного типу) для спалювання вологих подрібнених відходів деревини потужністю 50 та 630 кВт (ВАТ "Ківерціспецісмаш");

◆ водогрійні котли для спалювання вологих відходів деревини потужністю 1 МВт (розробка НДІСТ, виробництво – 703-й металообробний завод, м. Київ) та 4 МВт (Монастирищенський машинобудівний завод);

◆ пальники для спалювання біогазу в топках котлів (Інститут газу НАНУ).

В Україні при організації енергетичного використання біомаси в даний час переважає тенденція модернізації існуючих парових та водогрійних котлів. На підприємствах широко впроваджується спалювання відходів деревини, відходів переробки сільськогосподарської продукції в існуючих водогрійних та парових котлах потужністю від 1 до 30 МВт. Вибір технології спалювання здійснюється виходячи з характеристик відходів, конструктивних особливостей наявних котлів та котельні, екологічних та економічних вимог, фінансових можливостей підприємства. Розглядаються можливості перетворення котелень на ТЕЦ шляхом встановлення парових турбін з протитиском або з проміжним відбором пари. Щодо реконструкції потужних котлів та котелень найбільший досвід має ВАТ "Оргхарчопром" (м. Київ).

Організації України розробляють біогазові технології та обладнання для анаеробної переробки стоків целюлозно-паперової, цукрової, спиртової промисловості, гною та стоків тваринництва і птахівництва. Створені технології та обладнання впроваджуються в Росії та Канаді (НВО ім.Фрунзе, м. Суми).

В Україні розроблено, виготовлено та поставлено до США систему очистки біогазу зі звалищ перед його подачею в газопроводи природного газу (Інститут газу НАН України, НВО ім.Фрунзе, м. Суми).

НВО "Машпроект" поставило до Канади газотурбінну електричну станцію потужністю 2,5 МВт для використання рідкого палива від установки швидкого піролізу деревини.

В Україні виконано кілька демонстраційних проектів у галузі біоенергетики. Установки, що впроваджені в рамках цих проектів, є першим сучасним великомасштабним біоенергетичним обладнанням, що працює в Україні. По-перше, це проект технічної допомоги королівства Нідерландів Україні, у рамках якого встановлено два парових котли для спалювання деревини: потужністю 5 МВт – на підприємстві з виробництва клеєної фанери "ОДЕК Україна" у м. Оржів (Рівненська область), а також потужністю 1,5 МВт – у Малинському держлісгоспі-технікумі (Житомирська область). Котли обладнані рухомо-перештовхувальними колосниковими решітками і призначені для спалювання деревинної тріски, кори та тирси вологістю до 60%.

Успішно виконано дансько-український проект технічної допомоги, у рамках якого в селі Дрозди Київської області було встановлено і введено до експлуатації котел потужністю 980 кВт для спалювання великих тюків соломи.

Автоматичний котел потужністю 800 кВт виробництва данської фірми Linka призначений для спалювання соломи-січки. Капітальні витрати складаються з вартості котла, димової труби, споруд, витрат на транспортування та монтаж обладнання. Котел данської фірми PASSAT у якості палива використовує великі тюки соломи. При проведенні розрахунків було прийнято, що термін амортизації становить 15 років.

В результаті порівняння техніко-економічних показників котлів іноземного та українського виробництва визначено наступне. Котел голландської фірми KARA потужністю 5 МВт із рухомо-перештовхувальною решіткою коштує близько 750 тис. дол. Вартість аналогічного котла вітчизняного виробництва з використанням закордонних комплектуючих в обсязі 30% очікується близько 1330 тис. грн. (близько 240 тис. дол.), тобто більш ніж у три рази дешевше. Те ж саме можна сказати про котел для спалювання деревини з ретортою та котли для спалювання соломи. При цьому котли вітчизняного виробництва будуть мати досить малий термін окупності – 1-2,5 роки.

Одержання теплової енергії з відходів деревини і соломи на сьогодні є рентабельним для України навіть при використанні імпортних котлів. Найбільш рентабельним є виробництво технологічної пари при великому періоді завантаження установки.

Лекція 13

Геотермальні ресурси

Класифікація геотермальних ресурсів. Основні характеристики та питомі енергетичні показники. Розподіл енергетичного потенціалу геотермальної енергії в Україні. Стан та перспективи освоєння геотермальної енергії.

Класифікація геотермальних ресурсів. Основні характеристики та питомі енергетичні показники.

Всю природну теплоту, яка міститься у твердій, рідкій та газоподібній складових земної кори, можна розглядати як геотермальні ресурси двох видів:

- гідротермальні – пара, вода, газ;
- петрогеотермальні – розігріті гірські породи.

Гідротермальні джерела енергії в свою чергу поділяються на:

- водяні;
- пароводяні;
- парові.

Теплоенергетичні води – підземні води, придатні для використання в народному господарстві у якості джерела тепла та (або) електроенергії. Вони підрозділяються на власне термальні води та парогідротерми (пароводяні суміші, суха пара). Основним показником для віднесення підземних вод до теплоенергетичних є їх температура. Як правило, до теплоенергетичних вод відносять підземні води з температурою 35°C і вище. Виділяють низько потенційні води з температурою 35-70°C, що використовують головним чином для технологічних цілей, у рибництві, для закачки до нафтових пластів; середньопотенційні з температурою 70-100°C, що застосовуються для теплопостачання промислових, сільськогосподарських та комунально-побутових об'єктів; високопотенційні з температурою більше 100°C, які теж широко використовуються для теплопостачання, а при температурі 150-160°C і вище та за наявності відповідних економічних умов – і для виробництва електроенергії.

Використання петрогеотермальних джерел доцільне в тих районах земної кори, де немає термальних вод. Використання таких джерел теплової енергії пов'язане з бурінням свердловин і створенням штучної зони високої проникності. В одну із свердловин вода закачується, а з другої отримують нагріту воду або пару.

Найбільш придатні для промислового використання джерела геотермальної енергії, згідно з класифікацією Міжнародної енергетичної агенції, поділяються на 5 типів:

1. Родовища геотермальної сухої пари; вони порівняно легко розробляються, але досить рідкісні. Однак майже половина всіх діючих у світі ГеоТЕС використовують тепло цих джерел.

2. Джерела вологої пари – суміші гарячої води та пари; такі родовища зустрічаються значно частіше, однак при їх освоєнні постає необхідність запобігання корозії обладнання ГеоТЕС та забруднення навколишнього середовища (необхідно проводити вилучення конденсату через високу ступінь його засоленості).

3. Родовища геотермальної води, які містять гарячу воду або пару та воду. Зустрічаються у відповідних аномаліях і являють собою так звані геотермальні резервуари, що утворюються в результаті наповнення підземних порожнин водою атмосферних опадів і нагріваються магмою, яка знаходиться поблизу.

4. Сухі гарячі скельні породи, розігріті магмою, які знаходяться на глибині більше 2 км і мають найбільший ресурс енергії.

5. Магма, яка являє собою нагріті до 1300°C розплавлені гірські породи.

Предметом геотермальної енергетики є методи, обладнання і засоби видобування та використання теплоти Землі при експлуатації геотермальних ресурсів.

Походженням і розподілом теплового поля і термічними властивостями Землі займається наука геотермія ($\gamma\epsilon\omicron$ – земля, $\upsilon\epsilon\rho\mu\omicron\varsigma$ – тепло).

Тепловий стан і теплову історію земних надр вивчає розділ фізики, що називається геотерміка або геотермія.

За сучасними уявленнями земля складається з ряду геологічних зон: земна кора, верхня і нижня мантія та ядро.

Тепловий стан земної кори залежить від кількості внутрішньоземних джерел тепла. Джерелами теплового поля земної кори і Землі в цілому є внутрішні і зовнішні (космічні) процеси. До зовнішніх джерел тепла відносяться: сонячна радіація, корпускулярні та інші випромінювання Сонця, зірок і галактик. До внутрішніх процесів, що супроводжуються виділенням тепла, відносяться розпад радіоактивних елементів, припливне тертя, релаксація пружних напружень, гравітаційна диференціація, кристалізаційні та поліморфічні перетворення, фазові переходи, хімічні реакції.

Тепловий потік безперервно поступає із надр до поверхні Землі і розсіюється в просторі. Густина теплового потоку визначається як добуток геотермічного градієнту на коефіцієнт теплопровідності. Безпосереднє вимірювання температури надр на суші проводиться в шахтах і бурових свердловинах електротермометрами, а для вимірів на морському дні використовують термоградієнтографи. Безпосереднє вимірювання температури є можливим тільки до глибини в кілька кілометрів, далі температуру визначають непрямыми методами. Теплопровідність гірських порід визначається на основі вивчення зразків у лабораторіях. Загалом вимірювання показали, що зміна температури в різних місцях коливається від 0,006 до 0,15 град/м.

Густина теплового потоку є більш постійною величиною і залежить від тектонічної будови, вона рідко виходить за межі 0,025-0,1 Вт/м². Середня густина теплового геотермального потоку через земну поверхню становить приблизно 0,06-0,065 Вт/м² при геотермічному градієнті менше 30°C/км (в 2-4 тис. разів менша за сонячну радіацію). Однак є райони з підвищеним у десятки разів геотермічним градієнтом (теплові потоки перевищують 0,5 Вт/м²), вони становлять найбільший інтерес для розвитку геотермальної енергетики.

На практиці для використання геотермальної енергії основними джерелами є запаси гарячої води та пари в підземних резервуарах на відносно невеликих глибинах та гейзери, що виходять на поверхню. Геотермальний

резервуар є масою породи, що розтріскалася в земній корі і насичена гарячою водою або паром, при цьому перший тип є найбільш поширеним. Щоб добути воду або пару на поверхню, в резервуари, розміри яких можуть досягати кількох кубічних кілометрів, бурять свердловини. Якщо вода достатньо гаряча і під тиском, вона піднімається на поверхню природним шляхом; при більш низькій температурі необхідно застосування насосних установок.

При визначенні ефективності використання геотермальних енергоресурсів певного родовища враховується наступне: енергетичний потенціал, загальний запас і дебіт свердловин, хімічний склад, мінералізація та агресивність води, температурний і гідравлічний режим свердловин, глибина залягання водоносних шарів та їх характеристики, потреби та параметри споживання, в тому числі відстань до споживача тощо.

Основними характеристиками геотермальних вод є температура, кислотність, рівень мінералізації, жорсткість.

При визначенні придатності геотермальних джерел для використання в теплоенергетиці в першу чергу враховується їх природна температура, при якій енергоносії поділяються на:

- низькотермальні (або низькопотенціальні) води з температурою 40-70°C, використання яких без підігрівання обмежене сільськогосподарським виробництвом, теплопостачанням та, в окремих випадках, гарячим водопостачанням малих населених пунктів;

- середньотермальні (або середньопотенціальні) води з температурою 70-100°C, застосування яких можливе для опалення та гарячого водопостачання населених пунктів, промислових та сільськогосподарських виробництв тощо;

- високотермальні (високопотенціальні) води і пара з температурою 100-150°C, використання яких, окрім вищезазначеного, можливе для отримання електричної енергії на геотермальних електростанціях;

- парогідротерми і флюїди з температурою вище 150°C, застосування яких ефективно для отримання електричної енергії, а відпрацьованих вод – у вищенаведених галузях.

Розподіл енергетичного потенціалу геотермальної енергії в Україні.

Запаси геотермальної теплоти становлять близько $8 \cdot 10^{30}$ Дж за рік, ця кількість приблизно перевищує річне споживання енергії в усьому світі в 35 млрд разів. Якби можна було використовувати всього 1% геотермальної енергії земної кори (глибина – 10 км), людство мало б у своєму розпорядженні кількість енергії, яка в 500 разів перевищувала б усі світові запаси нафти та газу. Теоретичні ресурси геотермальної енергії на Землі до глибини 3 км приблизно становлять 41000 млрд ТДж/рік. У межах глибини 5 км теоретичні ресурси в 3-4 разів більше (близько 140000 млрд ТДж за рік), що характеризує геотермальні ресурси як практично невичерпні. Якщо людство буде використовувати тільки одну геотермальну енергію, пройде 41 млн років, перш ніж температура надр Землі знизиться на півградуса.

Виконані вченими розрахунки показують, що всередині Землі міститься теплоти набагато більше, ніж її можна було б добути, розщепивши в ядерних

реакторах всі земні запаси урану і торію. Безперервна генерація внутрішньо-земного тепла компенсує його зовнішні витрати і служить джерелом накопичення енергії. Загальний вихід тепла з надр до земної поверхні втричі перевищує сучасну потужність енергоустановок світу.

Технічно-досяжні ресурси геотермальної енергії обмежені загальним тепловим вмістом верхніх 10-ти км земної кори в межах суші, що в паливному еквіваленті дорівнює 13660 трлн т у.п. Придатні для використання геотермальні ресурси визначені в 137 трлн т у.п., це становить 1% від загального тепловмісту верхньої 10-ти кілометрової товщини земної кори. Основну частину їх складає енергія гарячих гірських порід, яка може бути вилучена циркуляційними системами.

Оцінка гідрогеотермальних ресурсів полягає у визначенні можливої продуктивності водозабірної споруди при заданому зниженні рівня води у свердловинах або у прогнозі зниження рівня води при заданій продуктивності водозабірної споруди. Одночасно повинно відобразитися, що при розрахунковому водовідборі якість термальних вод буде задовольняти необхідним кондиціям протягом усього періоду експлуатації.

Енергетичний потенціал геотермальної енергії України. Геотермальні ресурси становлять ту частину тепловмісту твердої, рідкої та газоподібної фаз земної кори, яка може бути економічно ефективно вилучена із надр Землі та використана при сучасному рівні розвитку геотермальних технологій.

Промислово значимі петрогеотермальні ресурси пов'язані, в основному, з перегрітими непроникними або слабопроникними породами, що розташовані на глибинах, досяжних для сучасної бурової техніки. Їх формування є результатом або конвективного притоку продуктів вулканогенної діяльності, або наслідком кондуктивного прогріву осадових та також кристалічних непроникних або слабопроникних порід у місцях аномального теплового потоку.

У теперішній час вилучення та використання тепла, акумульованого сухими гірськими породами, широкого розповсюдження не має. Це пояснюється великими труднощами, які пов'язані зі створенням систем вилучення тепла земної кори, а саме втратами теплоносія при організації штучної його циркуляції.

Петрогеотермальні ресурси в основному відповідають платформним структурам. В Україні такими структурами є: Український кристалічний щит та частина Воронезького кристалічного масиву. Прогнозні петрогеотермальні ресурси цих структур складають $322,7 \cdot 10^{12}$ ГДж.

Геотермальні ресурси України являють собою, перш за все, термальні води і тепло нагрітих сухих гірських порід. Крім цього, до перспективних для використання в промислових масштабах можна віднести ресурси нагрітих підземних вод, які виводяться з нафтою та газом діючими свердловинами нафтогазових родовищ. Доцільність розвитку геотермальної енергетики в Україні визначається наявністю значних ресурсів геотермальної енергії України, які за тепловим еквівалентом переважають запаси традиційного енергетичного палива.

Технічні особливості геотермальної електроенергетики (обмежені значення верхніх температур циклів та висота мінералізації геотермальних теплоносіїв) такі, що спочатку особливу увагу доцільно сконцентрувати на введенні в дію декількох дослідно-експериментальних ТЕС порівняно невеликої потужності з метою обробки технології та відповідного обладнання. Так, наприклад, обмежені значення верхніх температур термодинамічних циклів ГеоТЕС призводять до необхідності використання спеціального обладнання, спеціальних робочих тіл і збільшення кількості низькопотенційної теплоти.

Висока мінералізація геотермальних теплоносіїв приводить до необхідності використання корозійностійких матеріалів, а наявність розчинених газів (CO₂ та інших) приводить до необхідності використання допоміжних систем газовиділення та утилізації відпрацьованого теплоносія зі збільшенням затрат потужності на власні потреби до 50% і більше.

Численні термальні зони на глибинах менше 4 км є в Криму та в Карпатах. Загальний потенціал підземних вод регіонів Прикарпаття та Криму складає 1,5 млн м³ на добу або 550 млн м³ за рік. Тепло цих родовищ можна використовувати за допомогою створення підземних циркуляційних систем. Дослідна система побудована в Україні біля м. Ужгорода для теплопостачання теплично-парникового комбінату та тваринницької ферми; глибина свердловин – 2,3 км, температура – 124°C.

Ресурси геотермальної енергії на території України за тепловим еквівалентом перевищують запаси традиційного палива.

Найперспективнішим для видобутку високопотенційних енергоресурсів є Карпатський геотермічний район, який характеризується високим геотермічним градієнтом і відповідно високими температурами гірських порід порівняно з іншими регіонами України. Температура порід у свердловинах, пробурених у Карпатах, на глибині 4 км сягає 210°C. Необхідні температури теплоносія для геотермальних електростанцій знаходяться на значно менших глибинах (на 1-1,5 км), ніж в інших сприятливих місцях. Оцінка родовищ показала, що за запасами тепла вони перевищують паливні запаси теплоти Донбасу. Дані родовища є перспективними для подальшої розробки, оскільки на глибинах 6000-9000 м залягають масиви щільних гірських порід, які можуть виявитися великим родовищем перегрітої води. Загальні запаси геотермальних вод Прикарпаття оцінюються приблизно в 1,5 млн·м³/добу, а пароводяних сумішей – 30 млн т/добу. У Закарпатті на глибинах 3500-4500 м було визначено температуру 170-200°C. Запаси геотермальної енергії на глибинах у діапазоні 3-10 км еквівалентні 800 млрд т у.п. Аномально високими геотермічними показниками характеризується площа Залуж, розташована в центрі Закарпатського геотермоенергетичного району. Виміряні температури на різних глибинах дорівнюють: 500 м – 40-50°C; 1000 м – 68,4-78,3°C; 1500 м – 87-105°C; 2000 м – 108,8-121°C.

Другим перспективним районом для розвитку геотермальної енергетики є Крим. Глибини пробурених свердловин тут невеликі – до 2000 м; температура термальних вод на гирлі 50-70°C, їх мінералізація – 20-70 г/л. На даний час

низькопотенційні геотермальні енергоресурси Криму використовуються для теплопостачання.

Третім перспективним районом для розвитку геотермальної енергетики є Дніпрово-Донецька западина, що включає в себе області: Чернігівську, Полтавську, Харківську, Луганську та інші. Цей регіон одночасно є крупним споживачем теплової та електричної енергії.

Таким чином, найперспективнішими для використання геотермальних ресурсів є Закарпаття і Крим. За попередніми даними, саме в цих районах найбільш доцільно будувати геотермальні електростанції значної потужності.

Річний технічно-досяжний енергетичний потенціал геотермальних вод в Україні є еквівалентним 12 млн т у.п., а його використання дозволяє заощадити біля 10 млрд м³ природного газу.

Розподіл енергетичного потенціалу геотермальної енергії на території України приведено в таблиці 13.1.

Таблиця 13.1. Енергетичний потенціал геотермальної енергії в Україні

з/п	Області	Енергетичний потенціал геотермальної енергії в Україні, тис. т у.п./рік			з/п	Області	Енергетичний потенціал геотермальної енергії в Україні, тис. т у.п./рік		
		Теоретично-можливий потенціал	Технічно-досяжний потенціал	Економічно-доцільний потенціал			Теоретично-можливий потенціал	Технічно-досяжний потенціал	Економічно-доцільний потенціал
1.	АР Крим	10452	1107	854	14.	Миколаївська	870	290	220
2.	Вінницька	620	310	220	15.	Одеська	1880	407	304
3.	Волинська	720	240	170	16.	Полтавська	1897	877	700
4.	Дніпропетровська	1140	380	290	17.	Рівненська	2220	740	570
5.	Донецька	960	320	250	18.	Сумська	2359	857	657
6.	Житомирська	1080	360	260	19.	Тернопільська	510	171	120
7.	Закарпатська	2596	850	768	20.	Харківська	1380	903	696
8.	Запорізька	1080	360	280	21.	Херсонська	1872	866	710
9.	Івано-Франківська	316	175	144	22.	Хмельницька	750	250	190
10.	Київська	1050	350	250	23.	Черкаська	750	250	190
11.	Кіровоградська	870	290	210	24.	Чернівецька	210	70	50
12.	Луганська	960	320	250	25.	Чернігівська	1210	466	350
13.	Львівська	1572	791	654	ВСЬОГО		39324	12000	9357

Стан та перспективи освоєння геотермальної енергії

Тепло землі, або геотермальна енергія у вигляді природної геотермальної води і пари використовувались для обігріву ще доісторичною людиною, але промислове використання тепла землі або геотермальної енергії почалося лише на початку минулого століття і пов'язано перш за все з успіхами в техніці і технології буріння глибоких свердловин.

Вперше промислове використання геотермальної енергії у великих масштабах почалося в 1904 р. в Італії (Лардарелло), де за допомогою підземної

пари виробляється електроенергія. До 1923 року в Тосканії було встановлено два турбогенератори потужністю 3,5 МВт, що використовували бінарний цикл, і це було практично всією встановленою потужністю світової геотермальної енергетики на той час. Перша пілотна турбіна потужністю 23 кВт, що працювала в прямому циклі, тобто напряду використовувала природну пару, одержану з геотермального джерела, була встановлена в 1923 році в Серразано. За нею запрацювали установки прямого циклу в Кастельнуово (600 кВт і 800 кВт), а також у Лардарелло (3,5 МВт). Таким чином, на початок 1930 року в регіоні Бораціфероус працювали геотермальні електростанції сумарною потужністю 12,15 МВт, з яких 7,25 МВт потужності працювали на бінарному циклі, а 4,9 МВт – на прямому циклі.

До кінця 1943 року встановлена потужність геотермальних електростанцій регіону досягла вже 132 МВт, з яких 107 МВт припадало на установки бінарного циклу. Будучи стратегічно важливими військовими об'єктами, оскільки вони забезпечували електроенергією всю залізничну мережу центральної Італії, електростанції Лардарелло в 1944 році були практично знищені внаслідок бомбардування з боку союзних військ. До 1950 року електрогенеруючі потужності регіону були відновлені і доведені до рівня 300 МВт.

Освоєння геотермального регіону в Уайракеї (Нова Зеландія), де використовується пара, почалося приблизно в 1950 р. В США промислове виробництво електроенергії здійснюється на геотермальній електростанції (ГеоЕС) "Великі Гейзери" (штат Каліфорнія). Перший енергоблок було введено в експлуатацію в 1960 р., а до кінця 1977 р. працювало вже 15 таких енергоблоків.

Починаючи з 1945 року, приріст потужностей геотермальної енергетики складає 7% річних. Зараз набуло широкого поширення використання геотермальних енергоресурсів у якості термального теплоносія для опалення, гарячого водопостачання та в бальнеології.

Безпосереднє або пряме використання геотермальної енергії для теплопостачання найбільш поширене у даний час в Ісландії, Японії, на Філіппінах, у Франції, КНР, Угорщині, Новій Зеландії. В Росії є дуже великі ресурси пароводяної суміші, придатної для виробництва електроенергії; основні ресурси зосереджені в Курило-Камчатській зоні.

Значний досвід використання геотермальної енергії набуто в Ісландії, де близько 50% тепла, необхідного для опалення, забезпечується за рахунок геотермальних вод. Геотермальна енергія забезпечує теплом столицю Ісландії Рейк'явік. Ще у 1943 році там було пробурено 32 свердловини глибиною від 440 до 2400 м, якими піднімається гаряча вода з температурою від 60 до 130°C. Дев'ять із цих свердловин діють і в даний час. Опалювальна районна геотермальна система у Рейк'явіку продуктивністю 30 Гкал/год обслуговує більше 100 тисяч жителів; на станції працює лише 60 чоловік.

Особливо великим є інтерес до геотермального теплопостачання в країнах, бідних на корисні копалини і розташованих в основних геотермальних поясах земної кулі, – Ісландія, Нова Зеландія, Мексика. В Ісландії 50% тепла, необхідного для опалення, забезпечується за рахунок геотермальних вод.

Провідне місце щодо впровадження ГеоТЕС займають США, де на їх частку приходиться 46% всіх діючих потужностей. У США всі станції використовують високотемпературні термальні води або суху пару, що видобуваються на геотермальних родовищах, пов'язаних із районами молодого вулканізму або з термоаномаліями.

В 27 країнах світу геотермальне тепло використовують для отримання електроенергії. За оцінками Міжнародного енергетичного агентства, встановлена потужність ГеоТЕС має стійку тенденцію до зростання; до 2050 року прогнозується приріст із нинішніх 11 ГВт до 43 ГВт.

Роботи у сфері геотермальної енергетики проводяться в 56 країнах світу.

Видобуток геотермальної енергії не пов'язаний із використанням значних площ на поверхні землі, не супроводжується значними викидами в атмосферу і відходами виробництва, а також не потребує використання складських приміщень. Негативний вплив на оточуюче середовище при використанні геотермальних ресурсів є одним із найменших серед усіх енергоджерел.

З 1986 р. по теперішній час в Україні збудовано 11 експериментальних систем теплопостачання на базі ГЦС, сумарна встановлена теплова потужність яких становить 20,5 МВт. В основному ці установки знаходяться в АР Крим.

Геотермальні енергоустановки включають генератор робочого тіла (парогенератор), перетворювач потенціальної енергії робочого тіла в механічну, перетворювач механічної енергії (турбіна) в електричну (електрогенератор), теплообмінне і допоміжне устаткування. Парогенератор, турбіна, теплообмінне і допоміжне устаткування утворюють теплосилову установку, що перетворює теплову енергію геотермального теплоносія в механічну роботу на валу турбіни і в електричну в електрогенераторі. Найчастіше паротурбінні геотермальні енергоустановки застосовуються при фонтанному способі видобутку геотермального теплоносія.

Досвід експлуатації 5 дослідно-експериментальних установок в АР Крим показав, що собівартість відпущеної теплоти знаходиться в діапазоні 20-50 грн./Гкал. На теперішній час геотермальне теплопостачання здійснюється тільки в с. Медведівка Джанкойського району АР Крим.

Геотермальна теплофікаційна установка потужністю до 250 кВт із примусовим видобуванням теплоносія на базі Косинського родовища гідротерм Закарпатської області збудована в 1998 році. Установка призначена для використання теплоти термальних вод для опалення та гарячого водопостачання жилих, комунально-побутових і сільськогосподарських об'єктів санаторію "Косино" та відбору охолодженої термальної води для цілей бальнеології.

Ділянка, що відведена під прибудову установки до котельної, розташована на вільних землях території санаторію "Косино".

Санаторій "Косино" розташований поблизу північно-східного підніжжя г. Косини на абсолютній відмітці 110-115 м. З обласним та районним центром він з'єднаний шосейною дорогою та залізницею.

Залучення до паливно-енергетичного комплексу України розвіданих родовищ геотермальних вод і, в першу чергу, існуючих на цих родовищах

свердловин, дозволить створити геотермальні теплогенеруючі установки сумарною тепловою потужністю 200 МВт (з них 140 МВт на основі існуючих свердловин). Паралельно необхідно почати геологорозвідувальні роботи для введення в розробку нових нерозвіданих геотермальних родовищ, а також роботи зі створення геотермальних енергогенеруючих установок на вироблених нафтогазових родовищах. Використання геотермальної енергії та побічних продуктів проводиться для видобутку електроенергії, тепло- і холодопостачання промислових, житлових і сільськогосподарських об'єктів, вилучення хімічних речовин і сполук та в бальнеології.

Перспективним напрямом енергозберігаючої технологічної політики України, що дозволить забезпечити значну економію традиційного палива, є використання геотермальної енергії для опалення, водопостачання і кондиціонування повітря в житлових та громадських будинках і спорудах у містах і сільській місцевості, а також технологічне використання глибинного тепла Землі в різних галузях промисловості та сільського господарства.

Перспективні напрями використання геотермальної енергії в Україні наведені в таблиці 13.2.

Таблиця 13.2. Перспективні напрями використання геотермальної енергії в Україні

№ з/п	Напрямок використання	%
1.	Опалення комунальних приміщень	37
2.	Гаряче водопостачання та опалення комунальних приміщень з використанням теплових pomp	16
3.	Технології агропромислового комплексу (включаючи тепличні господарства, технології сушіння агропродукції та аквакультури)	28
4.	Бальнеологія та термальні басейни загального призначення	10
5.	Промислове використання	9
	ВСЬОГО	100

Практичне освоєння геотермальних ресурсів та ресурсів газовміщуючих геотермальних вод потужностей базується на наступній технічній концепції:

- для розвитку геотермальної енергетики не потрібно створювати нову галузь енергетичного машинобудування (як це було з атомною енергетикою). Устаткування для геотермальних установок і систем теплопостачання можуть виготовити існуючі заводи і, в першу чергу, підприємства, що підлягають конверсії;

- для розвідки і освоєння геотермальних родовищ слід частково переорієнтувати існуючі геологорозвідувальні та нафтовидобувні організації (завантаження яких постійно знижується через виснаження запасів нафти і газу), що не вимагає створення нової матеріально-виробничої бази;

- системи розробки всіх типів геотермальних родовищ базуються на технології геотермальних циркуляційних систем, яка забезпечує інтенсивне видобування теплоти надр при постійному поповненні запасів природного

теплоносія, а також виключає шкідливий вплив високомінералізованих вод на земельні угіддя і водний басейн;

- усі типи геотермальних установок будуть виготовлені в пакетно-модульному виконанні, повністю заводського виробництва і комплектації;

- створений на сьогодні типо-розмірний ряд геотермальних установок забезпечить їх масове впровадження і одержання оптимальної для кожного конкретного споживача потужності;

- при розробці основного і допоміжного устаткування планується досягнути кращих світових показників за питомими витратами конструкційних і будівельних матеріалів; все устаткування вже зараз перевірене на надійність при роботі на високомінералізованій термальній воді;

- за рахунок повної автоматизації технологічних процесів, високої надійності устаткування і централізованого обслуговування буде забезпечено скорочення обслуговуючого персоналу, а в багатьох випадках – безлюдна експлуатація геотермальних енергоустановок.

Видобування геотермальної енергії здійснюється через свердловини, пробурені в зону знаходження геотермальної води або пари. Найбільш поширеним на теперішній час є фонтанне видобування термальної води і пари із зворотним закачуванням у підземний пласт.

Енергетичне використання геотермальних ресурсів залежить від температури геотермальних теплоносіїв. Більшість геотермальних електростанцій використовують фонтанні поклади води з температурою 140-300°C, які знаходяться на глибинах від 500 до 1000 м.

Геотермальних родовищ такого типу в Україні не виявлено. Найбільшу температуру зафіксовано на геотермальних родовищах Криму (Тарханкутська площа) і Закарпатті (Залужська площа), де на глибинах 4000-5000 м вона становить 200-230°C. За економічними показниками ГеоТЕС із використанням теплоти цих родовищ поступається традиційним електростанціям. Виробництво електроенергії можливо при більш низьких температурах геотермального теплоносія (100-140°C) з використанням двоконтурних (бінарних) схем. В якості робочого тіла використовують легкокиплячі сполуки (бутан, фенол, пентан та інші).

Освоєння технічно-досяжного потенціалу геотермальних ресурсів України пропонується із залученням до паливно-енергетичного комплексу України розвіданих родовищ геотермальних вод, і в першу чергу, існуючих на цих родовищах свердловин, а також проведенням роботи зі створення геотермальних енергогенеруючих установок на виведених із експлуатації родовищ нафти і газу.

Виробництво електроенергії передбачається на геотермальних родовищах із наявністю газомісткуючих вод та на обводнених газових родовищах.

Кількість геотермальних установок для теплопостачання визначається з урахуванням особливостей геотермальних ресурсів, а саме практичною недоцільністю транспортування теплоти на великі відстані.

У таблиці 13.3 наведені прогнози базові показники використання геотермальної енергії в Україні до 2030 року, викладені окремо для електроенергетики і виробництва теплової енергії.

Таблиця 13.3. Прогнози базові показники використання геотермальної енергії в Україні до 2030 року

з/п	Прогнози показники розвитку геотермальної енергетики	Одиниці виміру	Рівень розвитку геотермальної енергетики по роках				Всього
			2015	2020	2025	2030	
Геотермальна енергетика з урахуванням супутнього газу							
1.	Енергетичні показники						
1.1	Встановлена потужність	МВт	100	660	2050	5100	
1.2	Річне виробництво електроенергії	млн кВт·год/рік	840	12360	43145	113412	169757
1.3	Річна економія умовного палива	млн т у.п./рік	0,34	4,45	15,55	40,83	61,1
1.4	Обсяги заміщення природного газу	млн м ³	0,3	3,9	13,5	35,5	53,1
2.	Економічні показники						
2.1	Питомі капіталовкладення	тис. грн./кВт	17,2	18,2	19,3	20,5	75,2
2.2	Обсяги фінансування	млн грн.	1720	10192	26827	62525	101264
3.	Екологічні показники						
3.1	Обсяги зменшення викидів діоксиду вуглецю	тис. т	0,5	8	28	73,5	110,0
Геотермальна енергетика тепла							
1.	Енергетичні показники						
1.1	Встановлена потужність	МВт	100	300	900	2000	
1.2	Річне виробництво електроенергії	млн кВт·год/рік	843	4282	12383	30359	47867
1.3	Річна економія умовного палива	млн т у.п./рік	0,11	0,53	1,52	3,75	5,9
1.4	Обсяги заміщення природного газу	млн м ³	0,09	0,5	1,4	3,2	5,1
2.	Економічні показники						
2.1	Питомі капіталовкладення	тис. грн./кВт	7,2	7,6	8,1	8,6	31,5
2.2	Обсяги фінансування	млн грн.	720	1520	4860	9460	16560
3.	Екологічні показники						
3.1	Обсяги зменшення викидів діоксиду вуглецю	тис. т	0,18	1	2,7	6,7	10,6

Головною проблемою є необхідність обмеження по відстані розташування споживачів. Для ефективної експлуатації геотермальних установок відстань повинна не перевищувати 5-10 км.

З урахуванням цих показників були визначені кількісні показники потужностей. Крім того було враховано, що одна свердловина може забезпечити 2-5 МВт теплової енергії. Кількість свердловин було визначено за фактичними даними наявності пробурених свердловин.

Електрична потужність геотермальної електростанції з використанням супутнього газу визначалась із наявності фактичних даних по газонасиченості

термальних вод, яка може складати на території України від 2-10 м³ газу на 1 м³ води.

Передбачається, що для виробітку електроенергії будуть застосовані газотурбінні електростанції НВО "Заря" (м. Миколаїв) та інших вітчизняних виробників газотурбінних та газопоршневих електростанцій.

Капіталовкладення при виробництві електроенергії при розробці гетермальних родовищ складається з вартості газотурбінної або газопоршневої електростанції, вартості системи підготовки газу, теплообмінного обладнання, а також вартості ремонту пробурених свердловин, або буріння нових свердловин.

Вартість газотурбінної електростанції виробництва НВП "Заря" (м. Миколаїв) становить в середньому 4,0 тис. грн./кВт, вартість іншого вищевказаного обладнання близько 2,0 тис. грн./кВт, вартість ремонту або буріння свердловин неможливо визначити, тому що це залежить від конкретних геологічних умов. Прийнято на основі аналізу досвіду ремонту свердловин на теперішній час 11,2 тис. грн./кВт. На період з 2020 по 2030 прийнято зростання на 6% за п'ятирічку.

Капіталовкладення при виробництві теплоти складаються з витрат на наземний комплекс (сепаратор, теплообмінники, нагнітальний і мережевий насоси), визначені на основі досвіду роботи геотермальних систем опалення в АР Крим і становлять 1,1 тис. грн./кВт, та витрат на буріння або ремонт свердловин і складає 6,1 тис. грн./кВт станом на 2011-2015 рр. На період з 2016 по 2030 р. прийнято зростання на 6% за п'ятирічку.

Питомі капіталовкладення зростають з 17,2 тис. грн./кВт в 2015 р. до 20,5 тис. грн./кВт в 2030 р. через збільшення вартості обладнання і введення в експлуатацію нових свердловин.

Таким чином, розвиток геотермальної енергетики має для України важливе значення в першу чергу завдяки наявності значних ресурсів геотермальної енергії. Виходячи з особливостей застосування ГеоТЕС, подальша стратегія розвитку геотермальної енергетики України полягає в наступному:

- ◆ першочерговий розвиток найбільш підготовлених до практичної реалізації технологій геотермального теплопостачання населених пунктів та сільськогосподарських об'єктів;
- ◆ часткове переорієнтування науково-технічної бази існуючих геологору-звідувальних та нафтодобувних організацій, завантаження яких знижено внаслідок виснаження в Україні запасів нафти та газу;
- ◆ промисловий розвиток геотермальної електроенергетики та підземного акумулювання проводити після створення та апробації демонстраційних установок та з урахуванням особливостей родовищ і обладнання;
- ◆ розвиток мережі невеликих ГеоТЕС з одиничною потужністю 0,05-5 МВт;
- ◆ створення достатньо великих ГеоТЕС на базі високотемпературних геотермальних родовищ з температурою більше 150°C і одиничною потужністю блоків 10-50 МВт;

◆ створення комбінованих електростанцій із використанням як теплоти геотермальних вод, так і теплоти, що отримується в результаті спалювання органічних видів палива (нафти, газу, вугілля);

◆ створення комбінованих енерготехнологічних вузлів для отримання електроенергії, теплоти та цінних компонентів, що містяться в геотермальних теплоносіях.

З точки зору екології негативний вплив на оточуюче середовище при експлуатації геотермальних родовищ значно менший, ніж при застосуванні традиційних енергосистем. Геотермальні електростанції викидають дуже мало сірки, викиди азоту зовсім відсутні. Викидів CO₂ на сучасних геотермальних станціях мінімальна кількість або вони взагалі відсутні. Типові геотермальні станції викидають близько 0,45 кг CO₂ на 1 МВт·год, тоді як відповідно на електростанціях на природному газі викиди CO₂ становлять 464 кг, на електростанціях на нафті – 720 кг, на вугільних ТЕС – 819 кг. Технологія безпечного використання геотермальних вод високорозвинена і надійно перевірена. Стічну воду від електростанцій повертають у резервуар, що дозволяє підтримувати у ньому тиск, під дією якого гаряча вода подається із виробленої робочої свердловини. Від підземних вод технологічна геотермальна вода ізольована трубопроводом, вмонтованим у свердловину.

Розроблені на даний час новітні технології дозволяють звести до мінімуму негативний вплив, що виникає при експлуатації геотермальних джерел енергії. Видобування геотермальної енергії шляхом створення геотермальних циркуляційних систем передбачає замкнений цикл геотермального теплоносія і виробництво тепла без процесу спалювання, тому геотермальні джерела енергії практично не впливають на оточуюче природне середовище.

Лекція 14

Методи та засоби перетворення геотермальної енергії

Теплові геотермальні станції. Електричні геотермальні станції. Комбіновані геотермальні теплоелектричні станції. Основні техніко-економічні та екологічні показники.

Класифікація та основні характеристики систем видобування геотермальних ресурсів

Використання геотермальної енергії проводиться за двома основними напрямками – теплопостачання та отримання електричної енергії. Розроблено ряд технологій та обладнання, як для отримання окремо теплової та електричної енергії, так і для комбінованого їх виробництва.

Система видобування геотермальних ресурсів складається з глибинного проникного шару і технічних засобів, які забезпечують вивід геотермального тепла з надр на земну поверхню. Якщо теплоносій, що циркулює у верхній частині водоносного пласта, – пара, то таке родовище називається системою, в якій переважно міститься пара. Якщо ж температура більш низька, а тиск та концентрація розчинених солей більш високі, так що циркулюючим теплоносителем є вода або розчин, то таке родовище називається системою з переважанням рідини.

Для таких родовищ системою видобування геотермальних ресурсів є геотермальна свердловина та глибинний проникний шар, який містить пару або перегріту воду. В таких родовищах, крім механічного вилучення часток пилу та уламків порід на виході зі свердловин, ніякої іншої обробки пари не потребується, і пара безпосередньо підводиться до турбіни для вироблення електричної енергії. Значно більш поширеними, ніж родовища сухої пари, є родовища з перевагою рідини або перегрітої води, що дають вологу пару. Ще більш поширені родовища термальних вод із температурою, нижчою від температури кипіння. До цього типу родовищ належать усі відомі ресурси термальної води в Україні. На таких родовищах видобування геотермальних ресурсів здійснюється за допомогою *геотермальних циркуляційних систем (ГЦС)*. ГЦС складається з підйомної свердловини, через яку термальна вода під природнім тиском поступає в сепаратор (або циклон), де відбувається відокремлення твердих часток порід, які виносяться з підземних проникних шарів. Після цього вода поступає в теплообмінник і віддає тепло мережевій воді, яка направляється до теплоспоживача. Охолоджена термальна вода за допомогою помпи закачується в поглинальну свердловину. Охолоджена термальна вода рухається в підземному проникному шарі, витісняє воду, яка насичує підземний пласт і нагрівається за рахунок тепла часток порід, що утворюють підземний проникний пласт і тепла покриваючих та підстилаючих непроникних гірських порід. Перша геотермальна циркуляційна система в Україні, яка була також першою в колишньому СРСР, була створена в 1986 р. в с. Ільїнка Сакського району АР Крим.

Отримання електроенергії на геотермальних електростанціях здійснюється за використання наступних схем:

- пряма;
- непряма;
- змішана.

При застосуванні **прямої схеми** природна пара із свердловин направляється по трубах прямо в турбіни, з'єднані з електричними генераторами. Пара і сконденсована вода поступають далі на теплофікацію та для інших застосувань, іноді в хімічне виробництво.

При застосуванні **непрямої схеми** проводиться попередня очистка пари від агресивних газів.

При застосуванні **змішаної схеми** природна неочищена пара із свердловин направляється по трубах прямо в турбіни, а потім проводиться очистка сконденсованої води від газів.

Геотермальні електростанції мають ряд особливостей:

- ◆ наявність постійного надлишку енергоресурсів, що при належній готовності обладнання забезпечує використання повної встановленої потужності ГеоТЕС;

- ◆ достатньо проста автоматизація;

- ◆ наслідки можливих аварій обмежуються зоною станції;

- ◆ питомі капіталовкладення та собівартість електроенергії нижчі, ніж на станціях на основі інших відновлюваних джерел енергії.

Гео ТЕС можна розділити на три основні типи:

1) станції, що працюють на родовищах сухої пари;

2) станції з випаровувачем, що працюють на родовищах із гарячою водою під тиском (іноді з насосом на дні свердловини для забезпечення прийнятого об'єму поступаючого енергоносія);

3) станції з бінарним циклом, у яких геотермальна теплота передається вторинній рідині (наприклад, фреону або ізобутану) і відбувається класичний цикл Ренкіна (такі ГеоТЕС працюють на родовищах із високомінералізованою гарячою водою).

Питомі капітальні вкладення на ГеоТЕС із підземним циркуляційним циклом знижуються в 1,72 рази, а приведені затрати – в 1,9-2,2 рази; при цьому на 1 кіловат встановленої потужності забезпечується економія 1,5 т у.п. за рік.

Техніко-економічний аналіз показує, що при сучасній технології вилучення внутрішньоземного тепла економічно обґрунтованими є системи з глибиною свердловини до 3 км; тепловий потенціал 90% геотермальних вод на вказаних глибинах не перевищує 100°C. При цьому за рахунок геотермального теплопостачання може бути заощаджено органічного палива більше, ніж за рахунок виробництва електроенергії.

Досвід експлуатації геотермальних станцій підтверджує їх високу економічну ефективність у порівнянні з традиційними типами електростанцій. Так, питомі затрати на побудову геотермальних станцій у США в середньому на 38% нижчі, ніж на спорудження АЕС, і на 50% нижчі, ніж на будівництво вугільних ТЕС; вартість електричної енергії на 25-30% нижча, ніж на традиційних електростанціях.

З точки зору екології активне промислове освоєння геотермальних джерел енергії може давати деякий негативний ефект. У геотермальній воді є багато домішок, які в невеликій кількості не представляють загрози (солі різних металів, сірководень), є також шкідливі речовини – миш'як, бор, виділяється вуглекислий газ, метан, аміак. Хоча ці показники значно менші, ніж відповідні показники при експлуатації традиційних енергетичних систем, їх все-таки потрібно приймати до уваги. Крім того, виведення на поверхню значних об'ємів води може погіршувати стан ґрунтів та ґрунтових вод в зоні експлуатації. Застосування нових ефективних технологій може значно знизити негативний вплив на оточуюче середовище, при цьому можна отримувати додатковий економічний ефект за рахунок видобування цінних компонентів.

Головні напрями теплоенергетичного використання геотермальних ресурсів можна визначити таким чином:

А. Виробництво електроенергії:

- на ГеоТЕС з одноконтурними схемами ступінчастого розширення високопотенційного геотермального теплоносія, або ті, які реалізують т.з. "трикутний" термодинамічний цикл із застосуванням гідропарових турбін;
- на ГеоТЕС із двоконтурними, в тому числі, бінарними схемами;
- на комбінованих паливно-геотермальних теплових електростанціях.

Б. Системи геотермального тепlopостачання (опалення та гарячого водopостачання – ГВП комунально-побутових та промислових об'єктів):

- власне геотермальні;
- комбіновані (з піковим догрівачем, або теплонасосними установками (ТНУ) різних типів).

В. Теплотехнологічні процеси на підприємствах промислового та агропромислового комплексу:

- сушіння матеріалів і продуктів;
- виробництво холоду і теплоти за допомогою тепловикористовуючих абсорбційних термотрансформаторів;
- теплова обробка матеріалів і продукції з метою виробництва і зберігання харчової продукції;
- забезпечення умов для вирощування рослинної продукції в теплично-парникових господарствах.

Напрями теплоенергетичного використання геотермальних ресурсів у залежності від їх температурного рівня показані в таблиці 14.1. Велика різноманітність можливих схем пояснюється тим, що її носій (геотермальний флюїд) має велику кількість параметрів і фізико-хімічних властивостей, оскільки в залежності від природних умов у широких межах змінюються його температура, тиск, дебіт, мінералізація, газонасиченість, а також хімічний склад розчинених у ньому газів і мінеральних речовин.

Таблиця 14.1. Напрями теплоенергетичного використання геотермальних ресурсів у залежності від їх температурного рівня

Галузі теплоенергетичного використання	Технології та засоби використання									
	Температура, °С									
	20	40	60	80	100	120	140	200	350	
Бальнеологія		█ – Споживання лікувальних мін. вод	█ – Плавальні басейни							
Теплопостачання – системи опалення та ГВП, кондиціонування повітря	█ – Теплові насоси	█ – Панельне опалення	█ – Системи низькотемпературного опалення (фанкойли)	█ – Сніготанення	█ – Гаряче водопостачання	█ – Радіаторне опалення	█ – Кондиціонування повітря			
Агропромисловий комплекс	█ – Підігрів ґрунту	█ – Риборозведення	█ – Теплиці	█ – Харчові технології	█ – Виробництво кормів	█ – Сушіння рослинної продукції				
Промисловість			█ – Обробка вовни	█ – Обробка будівельних матеріалів	█ – Нафто- і газовидобуток	█ – Сушіння матеріалів	█ – Виробництво паперу			
Виробництво електроенергії							█ – Двоконтурні (бінарні) схеми			
								█ – Традиційні схеми ГеоТЕС		

Класифікація можливих схем геотермальних енергетичних установок представлена на рис. 14.1.

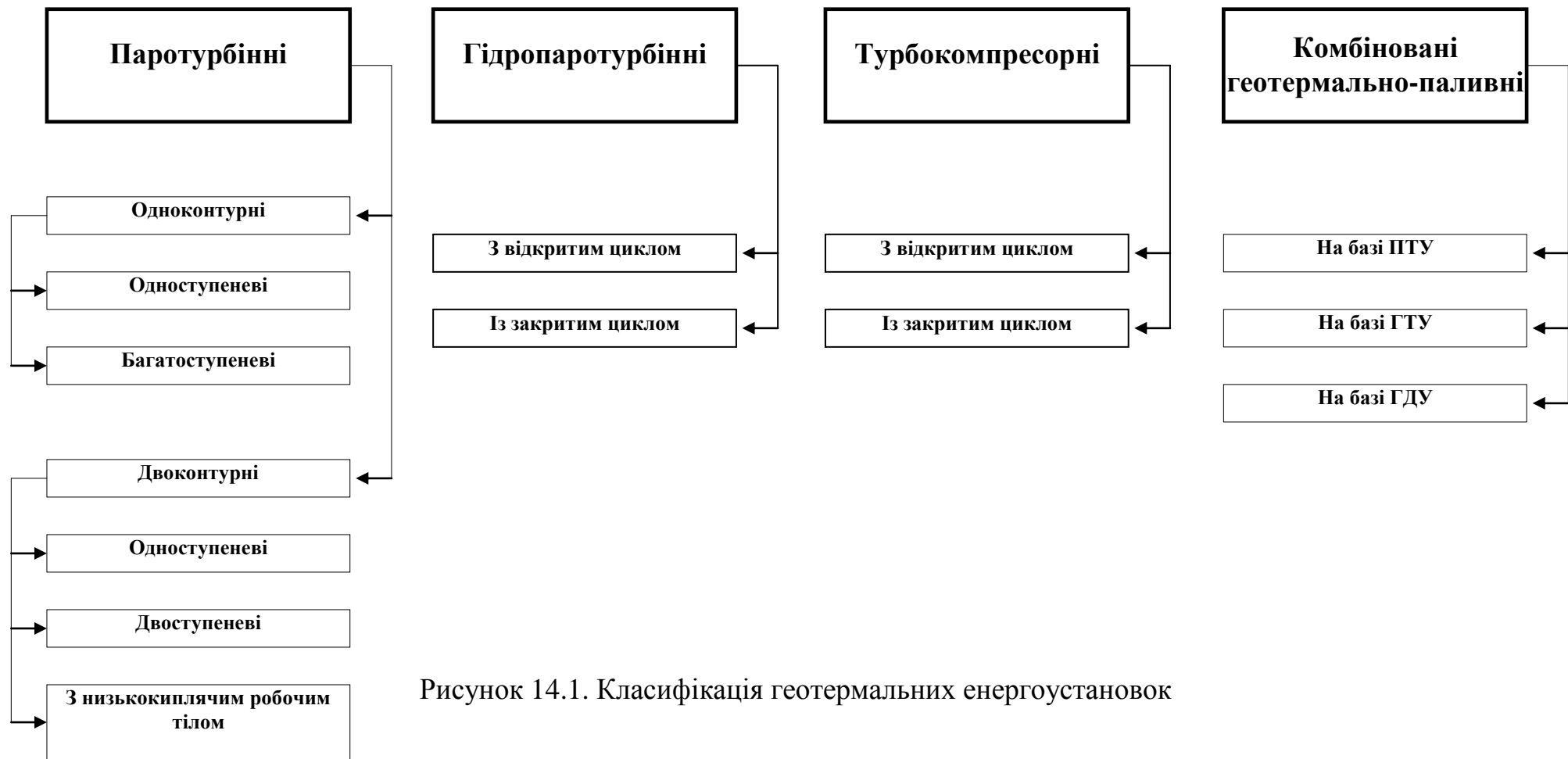


Рисунок 14.1. Класифікація геотермальних енергоустановок

Схеми установок для виробництва електроенергії в геотермальних перетворювачах можна розділити на 4 основні групи:

- а) паротурбінні;
- б) гідропаротурбінні;
- в) турбокомпресорні;
- г) комбіновані (паливно-геотермальні).

У класі паротурбінних геотермальних установок найбільш перспективними для реалізації в Україні є:

- 1) установки зі східчастим розширенням, що можуть бути застосовані для використання помірно мінералізованого, слабогазонасиченого і некорозійно-активного геотермального теплоносія при температурах понад 400 К (123°C);
- 2) двоконтурні установки з низькокиплячим робочим тілом – для теплоносія з температурою 370-400 К (100-130°C); можливе застосування високомінералізованих, газонасичених термальних вод.

У класі комбінованих паливно-геотермальних енергетичних установок найбільш перспективними для реалізації в Україні є:

- 1) ГеоТЕС на базі газотурбінних установок (ГТУ), що можуть бути змонтовані на газово-геотермальних родовищах (наприклад, Руські Комарівці в Закарпатті), або на родовищах геотермального теплоносія з високою газонасиченістю горючим природним газом.
- 2) ГеоТЕС на базі газодизельгенераторних установок (ГДГУ) – для аналогічних умов видобутку термальної води разом з горючим природним газом (наприклад, Гадяцьке родовище Полтавської області).

Технологічні типи та схеми геотермальних станцій. У комплексі технічних рішень розробки геотермальних родовищ першочергове значення має обґрунтований вибір типу геотермальної системи, що визначає принципи та особливості вживаної технології.

В даний час не існує загальновизнаної класифікації варіантів геотермальних технологій. Перша спроба в 1974 р. виділити основні типи геотермальних систем була не дуже вдалою і певною мірою вже застаріла. Виділені типи геотермальних систем повинні вказувати на технічну здійсненність і відносну економічність їх створення і експлуатації в різних природних умовах, а підлеглість класифікуючих ознак – на ступінь їх важливості для ефективного освоєння геотермальних ресурсів.

Освоєння геотермальної енергії можливе на основі різних технологій, за якими все різноманіття геотермальних систем поділяється на три основних види:

- А. Добування теплоносіїв із надр.
- Б. Перетворення теплоти в інші види енергії в надрах.
- В. Комплексне освоєння геотермальних і мінеральних ресурсів.

У класифікації геотермальних систем першого роду А прийнято наступну супідрядність відмінних ознак:

- а) природно-технологічні особливості геотермальних колекторів (групи, класи);
- б) способи підйому теплоносія за типами видобувальних свердловин (типи систем);
- в) способи кондиціонування, доставки споживачу, подальшої утилізації або скидання теплоносія (види систем).

Реальних прикладів геотермальної технології другого роду (Б) поки що немає, хоча відмічена вище "нетранспортабельність" видобутих із надр теплоносіїв підкреслює важливість пошуків прийнятної реалізації цього технологічного принципу. Можуть бути знайдені раціональні схеми прямого перетворення геотермальної енергії в електричну з використанням напівпровідників. Не виключається, що в перспективі будуть запропоновані придатні для утилізації способи підвищення параметрів геоелектричного або геомагнітного полів за рахунок поглинання геотермальної енергії на досить великих глибинах, недоступних бурінню.

Технологічні рішення третього роду (В) також мають поки що абсолютно підлегле значення. Однак потрібно підкреслити, що йдеться не про простий географічний збіг ділянок добування і не про використання одних і тих же геофізичних даних або свердловин для вивчення запасів мінеральної сировини і геотермальної енергії. До геотермальної технології цього роду можна віднести лише такі комплексні системи, в яких процеси добування енергії і видобутку корисних копалин пов'язані між собою технологічно.

Очевидно, що в даний час і в найближчому майбутньому в основі освоєння геотермальної енергії залишатиметься технологія видобутку із надр теплоносіїв. Складність реалізації різних варіантів геотермальних технологій дозволяє розділити їх на дві великі групи – з природними і штучними колекторами.

У геотермальних системах першої групи виділяються п'ять класів природних колекторів, що відрізняються за умовами формування і локалізацією проникності, а також за природою і рівнем напору заповнюючої пори і тріщини рідини. Ці ж умови і особливості значною мірою визначають можливі способи підйому теплоносія по добувальних свердловинах. Геотермальні фонтанні системи (ГФС), тобто самовилив природного теплоносія за рахунок надлишкового тиску $P_{\text{над}}$ (відносно гідростатичного), можливі для тріщинуватих або пластових колекторів із глибинним живленням, що визначає високий тиск і температуру теплоносіїв, які фільтруються по тектонічних розломах або в пластах, що проникають із великих глибин.

Якщо геотермальний теплоносій має високу мінералізацію, містить агресивні або токсичні домішки, то може бути доцільним перехід від простої фонтанної до складнішої двоконтурної технології із передачею геотермальної енергії чистому робочому теплоносію в занурених свердловинних теплообмінниках.

Фонтанна технологія можлива також при розкритті свердловинами глибоких артезіанських басейнів з температурою теплоносія, однаковою з

навколишнім порідним масивом, якщо надлишковий тиск може забезпечити допустимий дебіт свердловин.

Розгляд характеристик типів геотермальних систем показує, що основну частину їх теплопродукції складає енергія природних рухомих теплоносіїв, видобуток яких і є головним завданням фонтанної, двоконтурної і насосної геотермальних технологій. Проте, до кінця терміну служби таких геотермальних систем, коли тиск, дебіт і температура отриманого теплоносія почнуть помітно падати, все більш значною часткою їх теплопродукції стане енергія гарячих порід колекторів. Але навіть при насосній технології, що дозволяє витягнути найбільшу кількість теплоти гарячих порід (порівняно з ГФС і ГДКС), може бути освоєна лише невелика частка ресурсів геотермальної енергії. Тому набагато раціональнішою потрібно визнати циркуляційну технологію, різні типи якої призначені для освоєння основної частини геотермальних ресурсів – енергії гарячих гірських порід.

Для проникних пластів пористих або тріщинуватих порід, площа яких може у багато разів перевищувати відстані між нагнітальними і добувальними свердловинами, застосування геотермальних циркуляційних систем можливе лише при одночасному використанні насосів як для нагнітання, так і для відкачування нагрітого гарячими породами теплоносія, щоб уникнути надмірних витоків його за межі зони тепловідбору.

У якості основних можна вказати наступні технологічні елементи і технічні рішення:

1) проміжні теплообмінники для передачі геотермальної енергії робочому теплоносію;

2) підземні теплоакумулятори для оптимального узгодження добових і сезонних графіків добування і використання геотермальної енергії;

3) догрівальні геотермальні колектори з підвищеною температурою і невеликим об'ємом для короткочасного використання лише в "пікові" періоди;

4) теплонасосні установки для постійного або періодичного підвищення температури робочого теплоносія;

5) паливні установки або сонячні колектори з теплоакумуляторами для постійного або періодичного підвищення температури теплоносія;

6) комплекси для добування корисної мінералізації геотермального теплоносія перед або після його енергетичного використання;

7) очищення охолодженого в проміжному теплообміннику геотермального теплоносія для його подальшого бальнеологічного використання;

8) очищення відпрацьованого геотермального теплоносія, його обробка і підготовка для повторного нагнітання в колектор ГЦС;

9) очищення відпрацьованого теплоносія для використання в системах технічного водопостачання;

10) очищення відпрацьованого теплоносія для його екологічно безпечного скидання.

В даний час важко знайти галузь матеріального виробництва, для якої б принципово виключалася можливість прямого або непрямого використання

геотермальної енергії. У будь-якому випадку безпосереднє використання природних або нагрітих породами теплоносіїв, передача їх теплової енергії іншим робочим рідинам, термотрансформація, догрів або перетворення тепла в інші види енергії повинні задовольняти вимозі економічної та екологічної доцільності. Ця обов'язкова умова визначається багатьма факторами, найважливішими з яких є якісна характеристика геотермального теплоносія, його температура, можлива продуктивність і термін служби геотермоенергетичних систем, необхідна довжина магістральних теплотрас (МТ), наявність джерел водопостачання та екологічні особливості різних районів. Ці ж чинники визначають і вибір раціональної технології обробки, доставки споживачу і скидання геотермальних теплоносіїв.

При використанні природної пари або пароводяних сумішей із незначною кількістю домішок для виробництва електроенергії основним типом станцій є ГеоТЕС із конденсаційними турбінами. Для порівняно невисокого рівня температури і тиску геотермальних теплоносіїв сучасні турбіни з протитиском, як показав досвід Італії та інших країн, виявляються нераціональними. В інших схемах ГеоТЕС передбачений пароутворювач або контактний теплообмінник, де геотермальний флюїд передає свою енергію робочому тілу, пари якого поступають у турбіну. Такий варіант призначений для первинних теплоносіїв із агресивними домішками, підвищеною мінералізацією, великим вмістом неконденсуючих газів (більше 7-10%) або з явно недостатнім рівнем температури (ексергії). У першому випадку геотермальний теплоносій повинен мати температуру не нижче за 150-200°C, в якості робочого тіла використовується звичайна вода. У другому випадку робочим тілом є низькокиплячі рідини (ізобутан, хладон та ін.), а мінімальний рівень може бути знижений до 120°C і навіть до 80°C. Природно, що тепловий ККД ГеоТЕС із бінарними циклами знижується до 10-15% проти 20-30% при прямому використанні в турбінах геотермальної пари.

Для підвищення ефективності таких ГеоТЕС розроблена схема з кипінням робочого тіла безпосередньо у свердловинах видобутку, які працюють у цьому випадку за принципом газліфта з підвищеним дебітом геотермального теплоносія і деяким його охолодженням протягом руху до поверхні. Не виключається також можливість циркуляції дешевої низькокиплячої рідини через ГЦС із пароутворенням за рахунок теплообміну з гарячими породами.

На відміну від ГеоТЕС, які будуються безпосередньо на гідрогеотермальних або петрогеотермальних родовищах, для більшої частини об'єктів низькопотенційного теплопостачання особливого значення набуває можливість задоволення їх потреб у геотермальній енергії при її видобуванні на невеликій відстані. Поки геотермальне теплопостачання здійснювалося тільки за рахунок природних термальних вод, його масштаби суттєво обмежувалися саме умовою територіального збігу джерела і споживача тепла.

У геотермальному теплопостачанні використовуються води з мінералізацією до 35 г/л. При використанні звичайних радіаторних

опалювальних приладів температура термальних вод у середніх кліматичних умовах повинна бути не нижчою 90-75°C. У панельних системах опалення мінімальна температура знижується до 60-70°C (селище Термальне, Паратунське родовище, Камчатка). Отриманий у Махачкалі досвід геотермального підлогово-стельового опалення підтверджує можливість використання вод із температурою 40-50°C. У системах гарячого водопостачання застосовуються термальні води з температурою 60 і навіть 40°C при мінералізації не більше 10 г/л. Її зниження до 5 г/л дозволяє догрівати ці води у звичайних паливних котельнях.

Відкриті системи геотермального теплопостачання – це системи, в яких геотермальна вода безпосередньо подається на водозабір гарячого водопостачання. За даною схемою геотермальна вода по одноконтурній тепловій мережі подається безпосередньо до споживача. Додаткова нерівномірність споживання гарячої води регулюється за допомогою бака-акумулятора. Недоліком даної схеми є відсутність циркуляційного насоса, що призводить до охолодження води в період її відбору. Ця схема рекомендується до застосування тільки при малих відстанях між джерелом води та споживачем.

Для відносно довгих трас рекомендується схема з двоконтурною розподільчою мережею.

Підживлення здійснюється за одноконтурною транзитною мережею в залежності від споживання. Додаткова нерівномірність споживання гарячої води регулюється за допомогою бака-акумулятора.

Геотермальна вода паралельно подається на опалення та гаряче водопостачання. Після опалювальних систем вода скидається біля термозабору. Транзитна тепла мережа має двоконтурну прокладку.

Закриті системи геотермального теплопостачання – це системи, в яких на водозабір подається негеотермальна вода, що нагрілась за рахунок геотермальної теплоти. Застосування даної схеми доцільне при розташуванні місця скидання геотермальних вод поблизу споживача. Геотермальний теплоносій за одноконтурною транзитною тепловою мережею подається в теплообмінник центрального геотермального теплового пункту (ЦТП), після якого скидається. Негеотермальний теплоносій питної якості циркулює за двоконтурною розподільчою мережею, нагрівається в теплообміннику ЦТП і подається на водорозбір. Підживлення здійснюється від водогону. При застосуванні даної схеми слід враховувати небезпеку інтенсивності корозії та солевідкладень.

Розташування місця скидання поблизу споживача, а також відсутність корозійної активності та солевідкладень дають можливість створення системи з одноконтурною транзитною тепловою мережею для транспортування геотермальної води до ЦТП, що розташований поряд зі споживачем. Після ЦТП геотермальна вода скидається. Розподільча мережа після ЦТП, в залежності від якості та температури геотермального теплоносія, може бути чотиритрубною із залежним під'єднанням опалення, чотиритрубною із незалежним під'єднанням опалення або з двоконтурною розподільчою мережею та незалежним під'єднанням опалення. Дана схема застосовується у випадку

наявності зворотного закачування води або можливості її скидання. Геотермальна вода подається в ЦТПГ, що розташований поряд із термосвердловиною, віддає свою теплоту через теплообмінник негеотермальному теплоносію, транспортується до споживача і зворотно за двотрубною розподільчою мережею, що має транзитну ділянку. В цій схемі позитивним є невелика довжина трубопроводів теплової мережі геотермальної ділянки системи.

Геотермальні енергоустановки. Найбільш розповсюдженими на даний час є паротурбінні геотермальні електростанції (ГеоТЕС). Практично всі діючі геотермальні електростанції працюють за паротурбінним циклом. Паротурбінні установки в залежності від кондицій геотермального теплоносія (в основному, концентрації і складу розчинених у ньому речовин) можуть бути одноконтурними і двоконтурними.

Одноконтурні паротурбінні геотермальні енергоустановки. У тому випадку, коли мінералізація і газонасиченість термальної води незначні, а хімічний склад розчинених у ній солей і газів не є корозійно-активним, і їх вплив не супроводжується солевідкладенням на поверхнях трубопроводів, арматури, проточних частинах турбін і насосів, а також теплообмінного обладнання, застосовуються одноконтурні схеми.

Двоконтурні паротурбінні геотермальні енергоустановки. Використання теплоти геотермального теплоносія для вироблення електроенергії при наявності в ньому великої кількості мінеральних домішок (понад 35 г/л), а також розчинених у ній агресивних газів, що не конденсуються, (понад 1000 мг/л) в одноконтурних схемах викликає великі ускладнення.

Проблеми використання високомінералізованого газонасиченого геотермального теплоносія для вироблення електроенергії можуть бути вирішені при застосуванні двоконтурних схем паротурбінних ГеоТЕС, де термальна вода є високотемпературним теплоносієм, а нагрів, випаровування і перегрів робочого тіла термодинамічного циклу відбувається в теплообмінниках поверхневого типу. У зв'язку з неминучими втратами температурного потенціалу в теплообмінниках ефективність перетворення геотермальної енергії в роботу в двоконтурних геотермальних установках трохи знижується. Однак використання високомінералізованого, газонасиченого корозійноактивного теплоносія для виробництва електроенергії часто буває неможливим без застосування двоконтурних схем паротурбінних ГеоТЕС.

Розглянуті схеми перетворення геотермальної енергії мають прийнятні показники термодинамічної ефективності тільки при досить високій температурі вихідного теплоносія (не менше 400-420 К). Значна частина розвіданих у даний час геотермальних родовищ України мають порівняно невисоку температуру (310-390 К або 90-120°C), високу мінералізацію і газонасиченість. При таких кондиціях геотермального теплоносія його використання для виробництва електроенергії технічно здійснено із застосуванням у другому контурі

низькокиплячих робочих тіл. У порівнянні з пароводяними циклами, цикли із низькокиплячими робочими тілами мають наступні переваги:

1) можливість одержання електроенергії при більш низьких температурах геотермального джерела;

2) відсутність корозії проточної частини турбін природним теплоносієм (на відміну від одноконтурних схем);

3) процеси розширення пари в турбіні відбуваються в області перегрітої пари і, внаслідок цього, відсутній ерозійний знос проточної частини останніх ступенів турбін;

4) високий робочий тиск у контурі робочого тіла, що приводить до зниження масогабаритних показників обладнання установки – трубопроводів, арматури, турбоагрегатів.

Основними недоліками двоконтурних схем із низькокиплячими робочими тілами є:

1) невисокий наявний та спрацьований теплоперепад або питома робота циклу, що в 30-50 разів менше аналогічного показника пароводяних циклів;

2) необхідність великих поверхонь теплообміну економайзера і парогенератора внаслідок порівняно невисоких коефіцієнтів теплопередачі від теплоносія до низькокиплячого робочого тіла (переважно це вуглецеві гази і фреони);

3) великі витрати на власні потреби, обумовлені необхідністю забезпечення циркуляції робочого тіла в другому контурі, геотермального теплоносія в теплообмінниках і охолодженої води в конденсаторі. Такі витрати складають до 30% від питомої роботи циклу.

В даний час у світі експлуатуються або знаходяться в стадії розробки десятки ГеоТЕС, що реалізують схеми із використанням проміжних робочих тіл для вироблення електроенергії.

Основні техніко-економічні та екологічні показники геотермальної енергетики

У галузі геотермальної теплоенергетики при використанні термальних вод для теплофікаційних потреб знайшли практичне застосування наступні схеми:

- схема прямого використання термальної води;
- з піковими котельнями;
- з додатковим підвищенням температурного рівня геотермальних вод;
- комбіновані схеми.

Порівняння технологічних схем використання термальних вод проводять за значенням перепаду температури вод на виході системи та коефіцієнтом використання теплової потужності свердловини.

Схема прямого використання застосовується при співпаданні температури води із свердловини з технологічно необхідною. При цьому способі найбільш ефективними вважаються:

- схема двоступінчастого паралельно-послідовного під'єднання установок гарячого водопостачання і опалення;

- схема послідовного під'єднання систем панельного та повітряного опалення і систем гарячого водопостачання.

Для подолання недоліків попередніх схем застосовують комбінацію геотермальної свердловини, теплонасосної установки та пікової котельні.

Показники схем геотермального теплопостачання наведені у таблиці 14.2.

Таблиця 14.2. Показники схем геотермального теплопостачання

Тип схеми	Необхідна технологічна температура води, °С	Температура води на виході системи, °С	Коефіцієнт використання теплової потужності свердловини
Пряме використання термальної води	90...50	30...40	0,1...0,2
З піковою котельнею	50...70	30...40	0,2...0,4
З тепловою помпою	30	10...30	0,2...0,4
Комбінована схема	50...70	10...30	0,3...0,6

Основними виробниками та постачальниками основного і допоміжного обладнання для ГеоТЕС є концерн "Міцубісі" (Японія), а також фірми "Франко Този", "Аскольдо" (Італія). Техніко-економічні параметри ГеоТЕС змінюються в широких межах і в значній мірі залежать від геологічних характеристик родовищ, однак обмежені величиною 2500-3000 дол./кВт; в цьому випадку собівартість отриманої електроенергії складає не менше 0,2-0,25 дол./кВт·год. Більшість введених в дію ГеоТЕС значно дешевші (1200-2000 дол./кВт), собівартість електроенергії, що отримується на ГеоТЕС, наближається до собівартості електроенергії, отриманої на вугільних ТЕС.

Довгостроковий прогноз динаміки ключових техніко-економічних показників геотермальної енергетики у світі надано в таблиці 14.3.

Таблиця 14.3. Прогнозні показники розвитку світової геотермальної енергетики

Показники	Роки					
	2007	2015	2020	2030	2040	2050
Геотермальні КЕС						
Встановлена потужність, ГВт	10	19	36	71	114	114
Капітальні витрати, дол. США/кВт	12446	10875	9184	7250	6042	5196
Експлуатаційні витрати, дол. США/кВт·год	645	557	428	375	351	332
Геотермальні ТЕЦ						
Встановлена потужність, ГВт	1	3	13	37	83	134
Капітальні витрати, дол. США/кВт	12668	11117	9425	7492	6283	5438
Експлуатаційні витрати, дол. США/кВт·год	647	483	351	294	256	233

Досвід експлуатації дослідно-демонстраційних установок, що на даний час створені і функціонують в Україні, дозволив отримати узагальнені техніко-економічні параметри геотермальних установок (таблиця 14.4).

Таблиця 14.4. Узагальнені техніко-економічні параметри геотермальних енергогенеруючих установок

Перелік показників	Геотермальна теплогенеруюча установка, що створена на основі існуючих свердловин	Геотермальна теплогенеруюча установка, що створена на основі нових, спеціально пробурених свердловин	Геотермальна електростанція **	Геотермальна енергогенеруюча установка, що використовує газовміщуючі води **
Технічні показники:				
1. Потужність, МВт	6	6	120	1 _{теп} /0,09 _{ел.}
2. Виробництво енергії, МВт·год/рік	18 148	18 148	712 000	4000 _{теп} /360 _{ел.}
3. Температура геотермальних вод, °С	80	80	185	75
4. Глибина свердловин, м	1 800	1 800	4 000	1 800
Економічні показники:				
1. Капітальні витрати, тис. дол. США	430	1 014	198 000	485,7
2. Експлуатаційні витрати, тис. дол. США/рік	90	203	12 125	8,3
3. Собівартість енергії, дол. США/МВт	4,95	11,2	17	—
4. Питомі витрати, дол. США/кВт	71,6	285	1 650	485,7 ***
5. Чистий прибуток*, тис. дол. США/рік	191	112	21 416,5	59,766 ***
6. Питомий чистий річний прибуток, тис. дол. США/МВт	31,8	18,7	178,5	59,766 ***
7. Термін окупності, роки	2,3	9	9,2	8,1
8. Економія палива, тис. т у.п./рік	2,62	2,62	341	0,750
9. Питома економія палива, т у.п./рік на 1 МВт	437	437	2 842	750

* розрахований при ціні за 1 МВт·год теплоти 20 дол. США, електроенергії 60 дол. США, податок на прибуток 30%, ціна на теплоту – діюча в Україні на теперішній час, ціна на електроенергію прийнята за умов, що першу геотермальну електростанцію в Україні буде введено в експлуатацію не раніше 2015 року, коли згідно експертних оцінок ціна за 1 кВт·год електроенергії становитиме близько 0,06 дол. США. Ціна за електроенергію, що генерується за рахунок газовміщуючих вод прийнята рівною 38 дол. США за 1 МВт·год.

** створюються на основі нових спеціально пробурених свердловин.

*** питомі витрати та питомий чистий прибуток обчислені на енергокомплекс потужністю: тепловою 1 МВт, електричною 0,09 МВт.

Лекція 15

Енергія водних ресурсів

Енергія рік, морських хвиль, припливів та відпливів. Класифікація, енергетичні показники та перспективи сучасного використання гідроенергії. Розподіл енергетичного гідропотенціалу в світі та в Україні.

Енергія води, або гідроенергія, відноситься до перетвореної енергії Сонця, оскільки рух води в природі обумовлений впливом сонячного випромінювання.

Енергія рік, морських хвиль, припливів та відпливів.

Величезна кількість енергії зосереджена в морях і океанах, які займають біля 71% поверхні Землі. В них міститься енергія таких видів:

- енергія припливів та відпливів;
- енергія хвиль;
- енергія живильних речовин, солей та інших мінералів;
- енергія течій;
- енергія, що добувається за рахунок різниці температур води моря та океану на поверхні та в глибині.

Енергія рік. Енергія річкової падаючої води, що обертає водяне колесо, служила безпосередньо для розмелу зерна, розпилювання деревини і виробництва тканин. Люди навчились використовувати цю енергію раніше за всі інші. Коли настала доба електрики, водяне колесо заново відродилося, але тепер вже у вигляді водяної турбіни. Вода, яку в старі часи використовували для виконання механічної роботи, і зараз є ефективним джерелом енергії – в основному для перетворення в електроенергію. У вісімдесятих роках позаминулого століття почалося виробництво електроенергії з падаючої води.

Найбільш поширеним видом отримання електроенергії з води на сьогоднішній день є використання ГЕС – гідроелектростанцій. Використовуючи перепад висоти, на ріці встановлюються турбіни, які обертають потоки води, що падають із штучних річкових морів на нижчий рівень русла ріки.

Гідроелектростанції мають багато переваг: постійно відновлюваний запас енергії, простота в користуванні, відносна відсутність забруднення оточуючого середовища. Однак сучасні ГЕС потребують значних водних ресурсів для того, щоб змусити потужні турбіни обертатися, необхідна побудова великих гребель, що призводить до затоплення значних площ землі, часто родючої. Будівництво гребель вимагає від інженерів дуже точних розрахунків, адже будь-яка помилка може призвести до екологічної катастрофи. Навіть при точних розрахунках будівництво греблі стає важливим екологічним фактором на великих площах – при відборі енергії зменшується швидкість течії, а це може викликати заболочування та “цвітіння” води у заплавах, що несе за собою непоправні наслідки для оточуючого середовища.

Таким чином, повний перехід на видобування енергії лише з річкових потоків може бути не менш небезпечним, ніж використання паливних ресурсів. Ефективним може бути часткове енергокористування річками у тих місцях, де

постійні розливи річок стають справжніми стихійними лихами. У таких регіонах небезпечні розливи річок перетворюються за допомогою гребель на корисні джерела енергії і де до будівництва гребель ведення сільськогосподарської діяльності було майже неможливим.

Енергія припливів та відпливів. Факторами, що діють на виникнення припливів є положення Сонця та Місяця відносно Землі а також її обертання. Велике значення має і вплив конфігурації океанських акваторій та берегів, які часто створюють унікальні умови припливів.

У припливах і відпливах, що змінюють один одного двічі на день, зосереджена величезна енергія. Припливи - це результат гравітаційного притягання великих мас води океанів з боку Місяця і, у меншому ступені, Сонця. При обертанні Землі частина води океану піднімається і якийсь час утримується в цьому положенні гравітаційним притяганням. Коли «горб» підйому води досягає суші, як це повинно відбуватися внаслідок обертання Землі, настає приплив. Подальше обертання Землі послабляє вплив Місяця на цю частину океану, і приплив спадає. Припливи і відпливи повторюються двічі на добу, хоча їхній точний час змінюється в залежності від сезону і положення Місяця.

На сьогоднішній час, з урахуванням технічних можливостей людства, потужності морських припливів в усьому світі оцінюються у 15 млрд. кВт.

Перетворення енергії припливів та відпливів у механічну енергію використовувалось ще до початку XI століття в припливних млинах, які будувались в устях рік, що впадали в океан. З цією метою створювались резервуари при перегороженні рік дамбами, в яких установлювались запірні ворота чи стулки. Коли починався приплив, стулки відкривалися в середину і вода заповнювала резервуар. Спадаючи під час відпливу, вода сама зачиняла стулки. Якщо було потрібно, вода подавалася через вузькі зливальні ворота на лопаті водяних коліс. Такі млини давали прибуток. Збереглися відомості про один з них, який знаходився в Дуврському порту, а його інтенсивна робота навіть створювала перешкоди для плавання в гавані.

В перших припливних млинах використовувалася лише потенціальна енергія, яку має вода, зібрана в резервуарі. Пізніше, коли було винайдено ефективно працюючі насоси, з'явилася можливість скористатися і іншим видом енергії припливів - кінетичною, тобто енергією рухомої води.

вперше в значній кількості енергію руху припливів стали добувати приблизно в другій половині XVI ст.

Перші експериментальні припливні електростанції (ПЕС), були побудовані ще в 70-х роках XX століття. Принцип роботи припливних електростанцій схожий з роботою вітрогенератора, лише замість вітру рушієм турбін є течія. Особливість таких пристроїв — висока передбаченість режиму роботи, адже на відміну від капризного вітру припливи та відливи постійні. Це дуже важливо для інтеграції таких систем в місцеві мережі, що зазнають значних добових перепадів рівня енергоспоживання. Необхідно відзначити, що до літа 2009 року подібні електростанції практично не мали комерційної спрямованості.

Компанія «Marine Current Technologies» підключила до національних енергомереж Північної Ірландії першу в світі комерційну припливну електростанцію «SeaGen» потужністю 1,2 мегавата. Установа складається з двох підводних турбін, що видобувають електрику з потужних припливно-відливних течій затоки Стренгфорд Лоу. За словами інженерів проекту, після того, як «SeaGen» запрацює на повне навантаження, її потужність складе 1,2 МВт. В даний час установка працює в тестовому режимі, видаючи всього 150 кВт, повноцінний запуск планується до кінця року. Ротори турбін «SeaGen» мають 16 метрів у діаметрі та оптимальну швидкість обертання 14 обертів на хвилину. Ротори закріплені на горизонтальній балці, що встановлена на чотирьохточковій опорі. Опора може змінювати висоту над морським дном, піднімаючи установку для ремонту та обслуговування. Компанія «Marine Current Technologies» не збирається зупинятися на досягнутому і планує спорудити 10,5-мегаватну припливну електростанцію на узбережжі Північного Уельсу в кооперації з однією з німецьких компаній.

Енергія хвиль. Основною позитивною якістю енергії припливів є те, що вона легко враховується завдяки сталості їх фаз. Однак велика тривалість останніх і малий потенціал енергії припливів зумовлюють необхідність у створенні містких акумуляторів цієї енергії. Використання енергії припливів у малопотужних установках взагалі неекономічне.

У цьому аспекті кращою є величезна енергія морських і океанських хвиль, які здатні переміщати великі маси сторонніх предметів. Відзначено також випадок, коли хвилі викинули камінь масою 69,5 кг на покрівлю маяка, що знаходилася на висоті 40 м над рівнем моря (Тілламук Рок поблизу узбережжя американського штату Орегон). У Франції (м. Шербур) хвилі перекинули валун масою 2700 кг через дамбу заввишки 6 м. Максимальна висота хвиль, зареєстрована в Тихому океані, досягала 35 м.

За підрахунками фахівців з Європейської асоціації енергії океану, метровий відрізок хвилі «несе» від 40 до 100 кВт енергії, що придатна до практичного використання. Енергія хвиль виділяється безпосередньо з поверхні хвиль або із змін тиску під поверхнею.

За одержаними недавно оцінками, енергія морських і океанських хвиль становить приблизно 30 % усієї енергії, використовуваної в світі. Проте її перетворення й корисне використання затрималися. Лише в другій половині ХХ ст. було подано на розгляд ефективні проекти.

Енергія хвиль може вироблятися скрізь. Найкращі місця для розміщення таких електростанцій — західне побережжя Шотландії, північ Канади, південна Африка, Австралія, північно-західне і північно-східне узбережжя США. Енергія хвиль може бути перетворена в електрику як за допомогою берегових установок, так і за допомогою установок у морі недалеко від берега. Останні, зазвичай, розташовуються на глибині, що перевищує 40 метрів. Найбільш ефективні установки використовують гойдаючий рух хвиль для активізації насоса, який генерує електроенергію. Спеціальні мореплавні платформи створюють електроенергію, проводячи хвилі через внутрішні турбіни. Також

для здобуття електроенергії з хвиль будуються берегові системи, які виробляють енергію, ламаючи хвилі.

Енергія морських та океанських течій. Ще одним джерелом електроенергії може слугувати кінетична енергія морських течій. Найбільш потужні течії океану — потенційне джерело енергії. Морські та океанські течії спричиняються обертанням Землі, а також вітрами, що мають незмінний напрям. Вода морських та океанських течій відрізняється від решти багатьма параметрами (температурою, швидкістю, вмістом солей та ін.), причому настільки сильно, що може бути виявлена неозброєним оком. Вода течій практично не змішується з іншою, тому їх русло має чітко обкреслені межі, утворюючи ріки в океанах. Найбільш потужною течією є Гольфстрім. Вона бере початок у Мексиканській затоці, закінчується в Арктиці й несе в 50 разів більше води ніж усі ріки світу, при швидкості близько 7 км/год. За оцінкою спеціалістів енергія Гольфстріму біля берегів Флориди еквівалентна енергії, що виробляють 25 електростанцій потужністю 1000 МВт кожна.

Енергія морських та океанських течій почала освоюватись тільки в останні роки. В наш час ефективними вважаються дві схеми енергоустановок. Перша з них – це підводна турбіна типу підводного млина, закріплена на якорі. Друга установка з підводними парашутами, яка називається низько швидкісним водяним перетворювачем. Вона складається з двох елементів – колеса на осі, закріпленого на судні чи плавучій платформі, та витягнутої петлі з парашутів, які безперервно обертаються навколо колеса, мов конвейерна лінія. Парашути розкриваються при зустрічному потоці води і закриваються, коли повертаються на петлі в протилежний бік. Під дією течії води петля приводиться в рух і обертає колесо, яке передає обертання турбогенератору, що виробляє електричний струм.

Сучасний рівень техніки дозволяє видобувати енергію з течій при швидкості потоку більше 1 м/с. При цьому потужність від 1 м² поперечного перерізу потоку складає близько 1 кВт. Перспективним представляється використання таких потужних течій, як Гольфстрім та Куросіо, що несуть відповідно 83 та 55 млн. куб. м/с води з швидкістю до 2 м/с, та течії Флориди — 30 млн. куб. м/с зі швидкістю до 1,8 м/с. Сьогодні для океанічної енергетики також представляють інтерес течії в протоках Гібралтар, Ла-Манш, а також на Курильських островах. Зараз існує безліч проектів по видобутку енергії за допомогою океанічних течій, одна з яких — програма «Coriolis», яка передбачає встановлення в протоці Флорида в 30 км на схід від міста Майамі декількох сотень турбін, кожна з яких буде забезпечена двома робочими колесами діаметром 168 м.

Класифікація, енергетичні показники та перспективи сучасного використання гідроенергії

Гідроелектроенергетика є достатньо відомим і технологічно освоєним способом виробництва електроенергії, що має досить гарантований енергоресурс та найменшу собівартість виробництва електроенергії серед традиційних видів її виробництва.

Порівняно з тепловими та атомними електростанціями та іншими

енергетичними об'єктами, гідроелектростанції (ГЕС) мають унікальні маневрові і мобільні властивості з керованості, надійності та експлуатаційного ресурсу (розрахунковий ресурс 50 років).

На кінець ХХ сторіччя загальносвітове річне споживання електроенергії, що складало 14100 млрд. кВт.год, за рахунок основних енерготехнологій покривалося наступним чином - ТЕС 63,5 %, АЕС 17% і ГЕС 19% (2600 млрд. кВт.год). На протязі останніх 50-ти років спостерігається стійкий щорічний 2-2,5 % приріст потужностей на ГЕС.

Світовим лідером в розвитку малої гідроенергетики є Китай, де з 1950 р. по 1996 р. загальна потужність малих ГЕС збільшилась з 5,9 до 19200 МВт. В Китаї на найближче десятиліття планується будівництво більше 40000 малих ГЕС із щорічним введенням в експлуатацію до 1000 МВт. В Індії на кінець 1998 р. встановлена потужність малих ГЕС (одиночною потужністю до 3 МВт) становила 173 МВт і в стадії будівництва знаходяться ГЕС загальною потужністю 188 МВт; визначені місця для будівництва ще біля 4000 станцій загальною проектною потужністю 8370 МВт. Ефективним є застосування малих ГЕС в ряді європейських країн, в тому числі в Австрії, Фінляндії, Норвегії, Швеції та інших країнах.

Існує декілька сценарних прогнозів розвитку світової гідроенергетики. Деякі з них вважаються песимістичними, тому що не враховують можливих змін порівняльної конкурентоспроможності джерел енергії, а лише ґрунтуються на багаторічному досвіді розвитку гідроенергетики. На основі зарубіжної інформації, в тому числі останнього Світового енергетичного Конгресу (Буенос-Айрес, 2001 р.), передбачається, що до 2020 р. світове щорічне виробництво енергії на ГЕС (не враховуючи ГАЕС) зросте до 3900 млрд. кВт.год. За другим сценарієм до 2050 р. першочерговий економічно-доцільний потенціал в процесі розвитку гідроенергетики може бути використаний на 5500 млрд. кВт.год.

Оптимістичний прогноз виробництва електроенергії на ГЕС до 2050 р., що враховує введення у вартість виробництва електроенергії матеріалізованих збитків навколишньому середовищу, передбачає 10000 млрд. кВт.год на рік. А мала гідроенергетика, яка є найбільш освоєним місцевим джерелом енергії, буде продовжувати розвиватися і до 2020 р. подвоїться в порівнянні з 2000 р. (90-95 млрд. кВт.год в 2000 р.). В країнах, які розвиваються, прогнозується тенденція до зниження одиничних потужностей ГЕС (50-100 МВт); в країнах Європи ця тенденція спостерігається вже давно (за останні 10 років середня потужність на споруджуваних ГЕС склала 33 МВт).

В світовій практиці зниження потужностей на ГЕС не привело до значного підвищення капіталовкладень при їх спорудженні. Зросла конкуренція в гідроенергомашинобудуванні, де накопичено величезний досвід, спостерігається перевищення виробничих потужностей над попитом. Створена розвинута нормативна база, у тому числі для кооперації і тендерних процедур. Нові тенденції сприяли типізації рішень при проектуванні і виготовленні великих серій обладнання і оптових цін.

В умовах дефіциту органічного палива, скорочення атомного

енергобудівництва, проблем в теплоелектроенергетиці, економічний потенціал гідроенергетики зростає, але він не може перевищити екологічно припустимого. Цю важливу задачу необхідно вирішувати постійно і поетапно.

Промислові гідроелектричні станції - це вискоелективні джерела електроенергії. В більшості випадків гідроелектростанції є об'єктами комплексного призначення, що забезпечують потреби електроенергетики і інших галузей народного господарства: меліорації земель, водного транспорту, водопостачання, рибного господарства і ін.

Гідроелектрична станція - це комплекс споруд і устаткування, за допомогою яких енергія водотоку перетворюється в електричну енергію. ГЕС складається з гідротехнічних споруд, що забезпечують концентрацію потоку води і створення необхідного напору, та енергетичного устаткування, що перетворює енергію потоку води в електричну.

За напором ГЕС поділяють на високонапірні (більше 80 м), середньонапірні (від 25 до 80 м) і низьконапірні (до 25 м).

Прийнято називати сукупність гідротехнічних споруд, енергетичне і механічне устаткування гідроенергетичною установкою (ГЕУ).

Розрізняють наступні основні типи гідроенергетичних установок:

- гідроелектростанції (ГЕС);
- насосні станції (НС);
- гідроакумулюючі електростанції (ГАЕС);
- припливні електростанції (ПЕС).

Основними спорудами ГЕС на рівнинній річці є дамба, що створює водосховище і зосереджений перепад рівнів, тобто натиск, і будівля ГЕС, в якій розміщуються гідравлічні турбіни, генератори, електричне і механічне устаткування. У разі потреби будуються водоскидні і судноплавні споруди, рибопропускні споруди і т.п.

Гідроелектростанції, як джерело електричної енергії, мають істотні переваги перед тепловими і атомними електростанціями. Вони краще пристосовані для автоматизації і вимагають меншої кількості експлуатаційного персоналу. Показові наступні середні значення питомої чисельності персоналу станцій різного вигляду на 1 млн. кВт встановленої потужності: для ГЕС – 300, для ТЕС - 1400, для АЕС – 1800 чол. Але це тільки на самій станції, а ще потрібно додати трудовитрати на видобуток і транспортування палива, в результаті необхідна питома чисельність персоналу на 1 млн. кВт для ТЕС (АЕС) в середньому складає 2500 чол.

Насосна станція призначена для перекачування води з низьких відміток на високі і транспортування води у віддалені пункти. На насосній станції встановлюються насосні агрегати, що складаються з насоса і двигуна. Насосна станція є споживачем електроенергії. Вони використовуються для водопостачання теплових і атомних станцій, комунально-побутового і промислового водопостачання, в іригаційних системах, судноплавних каналах і т.п.

Гідроакумулююча електростанція призначена для перерозподілу в часі енергії і потужності в енергосистемі. У години знижених навантажень ГАЕС

працює як насосна станція. За рахунок споживаної енергії вона перекачує воду з нижнього б'єфу у верхній і створює запаси гідроенергії за рахунок підвищення рівня верхнього б'єфу.

В часи максимального навантаження ГАЕС працює як гідроелектростанція. Вода з верхнього б'єфу пропускається через турбіни в нижній б'єф, і ГАЕС виробляє і видає електроенергію в енергосистему. В процесі роботи ГАЕС споживає дешеву електроенергію, а видає дорожчу в період піку навантаження (за рахунок різниці тарифів). Заповнюючи провали навантаження в енергосистемі, дозволяє працювати агрегатам атомних і теплових станцій в найбільш економічному і безпечному режимі, різко знижуючи при цьому витрату палива на виробництво 1 кВт • ч електроенергії в енергосистемі.

Гідроелектричні станції також розділяються в залежності від принципу використання природних ресурсів, і відповідно створення концентрації води. Тут можна виділити наступні ГЕС:

- **руслові і пригреблеві ГЕС** – це найпоширеніші види гідроелектричних станцій. Натиск води в них створюється за допомогою установки мостом, повністю перегородка річку, або що піднімає рівень води в ній на необхідну позначку. Такі гідроелектростанції будують на багатоводних рівнинних річках, а також на гірських річках, у місцях, де русло річки вузке, стиснуте;

- **греблеві ГЕС** будуються при більших напорах води. У цьому випадку річка повністю перегороджується греблею, а сама будівля ГЕС розташовується за греблею, у нижній її частині. Вода, в цьому випадку, підводиться до турбін через спеціальні напірні тунелі, а не безпосередньо, як у руслових ГЕС;

- **дериваційні гідроелектростанції** будують у тих місцях, де великий ухил річки. Необхідна концентрація води в ГЕС такого типу створюється за допомогою деривації. Вода відводиться з річкового русла через спеціальні водовідведення. Водоводи спрямлені, і їхній ухил значно менший, ніж середній ухил річки. У підсумку вода підводиться безпосередньо до будівлі ГЕС. Дериваційні ГЕС можуть бути різного виду - безнапірні або з напірної деривації. У випадку напірної деривації, прокладається водовід з великим подовжнім ухилом. В іншому випадку на початку деривації на річці створюється вища гребля, і створюється водосховище — така схема ще називається змішаною деривації, тому що використовуються обидва методи створення необхідної концентрації води;

- **гідроакумулюючі електростанції** здатні акумулювати вироблювану електроенергію, і пускати її в хід у моменти пікових навантажень. Принцип роботи таких електростанцій наступний: в певні моменти (часи не пікового навантаження), агрегати ГАЕС працюють як насоси, і закачують воду в спеціально обладнані верхні басейни. Коли виникає потреба, вода з них поступає в напірний трубопровід і, відповідно, приводить в дію додаткові турбіни.

У гідроелектричних станціях, в залежності від їхнього призначення, також можуть входити додаткові споруди, такі як шлюзи або суднопід'ємники, що сприяють навігації по водоймі, рибопропускні, водозабірні споруди, що використовуються для іригації і багато іншого.

Цінність гідроелектричної станції полягає в тому, що для виробництва електричної енергії вони використовують відновлюване джерело енергії. З огляду на те, що потреби в додатковому паливі для ГЕС немає, кінцева вартість одержуваної електроенергії значно нижче, ніж при використанні інших видів електростанцій.

Головною перевагою гідроенергетики є дешевизна генерованої на ГЕС електроенергії. Відсутність паливної складової в процесі отримання електроенергії при впровадженні невеликих ГЕС дає позитивний економічний та екологічний ефект. Необхідно відмітити, що ГЕС великої потужності, при спорудженні яких з землекористування вилучаються значні площі продуктивних земель, негативно впливають на стан в економічній, екологічній та соціальній сферах регіонів, де вони впроваджуються.

Згідно міжнародної класифікації (норматив ООН) до обладнання великої гідроенергетики відносять станції, нижня межа потужності гідроенергетичного обладнання яких становить 30 МВт, до малої гідроенергетики – станції, верхня межа потужності гідроенергетичного обладнання становить 30 МВт.

Велика гідроенергетика в Україні займає одне з провідних місць в енергетичному господарстві країни. Побудова Дніпрогесу свого часу створила енергетичну базу для важкої промисловості, забезпечила умови для електрифікації сільського господарства, відкрило наскрізне судноплавство Дніпром. У 1959 р. споруджено Кременчуцьку ГЕС (потужністю 625 тис. кВт), у 1963 р. почала діяти ще одна гідроелектростанція — Дніпродзержинська (потужністю 325 тис. кВт).

На початку ХХІ ст. в енергетичному комплексі України гідроелектростанції посідають третє місце після теплових та атомних. Сумарна встановлена потужність великих ГЕС України нині становить 8,8 % в структурі генеруючих енергоджерел. Середньорічний виробіток електроенергії гідроелектростанціями дорівнює 10,8 млрд. кВт.год. Встановлено, що економічні та технічні можливості використання гідроенергоресурсів України дорівнюють близько 20 млрд. кВт.год, а нині використовується не більше 50%. Основний використовуваний потенціал зосереджений на ГЕС Дніпровського каскаду (потужність – 3,8 ГВт, виробіток – 9,9 ГВт.год): Дніпровська ГЕС, Київська ГАЕС (гідроакумуюча), Ташлицька ГАЕС.

В Об'єднаній енергосистемі (ОЕС) України встановлена потужність великих ГЕС складає: Дніпровський каскад 3940 МВт (з урахуванням закінчених реконструкцій), Дністровська ГЕС 702 МВт та Дністровська буферна до 10 МВт (наявна потужність через обмеженість по напору, буде становити 41 МВт).

Сезонно наявна потужність Великих ГЕС може бути в 1,5-2,5 рази нижча. Тому розвиток ГЕС вкрай необхідний. Подальший розвиток гідроенергетики потребує реконструкції і технічного вдосконалення гідровузлів. Заміну фізично

застарілого обладнання слід здійснювати на сучасному рівні (з використанням засобів автоматизації та комп'ютеризації). Більш того, він повинен визначатися не тільки проблемою покриття пікових навантажень, а й питанням заміщення дефіциту органічного палива, екологічними проблемами, а також особливостями ОЕС України, як потенційного транспортера та експортера електроенергії. Остання, для нас нова, ще не усвідомлена задача, яка вимагає корінного підвищення режимної керованості до рівня енергетики Західних країн, що без розвитку гідроенергетики практично неможливо.

Основою вітчизняного гідроенергомашинобудування є крупні виробники – “Турбоатом” та “Електротяжмаш”. В процесі реконструкції ГЕС Дніпровського каскаду отриманий новий досвід створення більш економічних, мобільних та автоматизованих в експлуатації гідромашин і гідрогенераторів, досвід кооперації при виробництві. В процесі реконструкції Дніпровських ГЕС також отриманий цінний досвід співробітництва українських організацій з відомими закордонними фірмами щодо засобів регулювання і керування, діагностики, систем збудження та інш.

Екологічна безпека гідроенергетичних об'єктів. Екологічні проблеми, супутні розвитку гідроенергетики, постійно привертала до себе увагу. Практикою гідроенергетичного будівництва накопичено немало прикладів, коли прогнози впливу об'єктів гідроенергетики на навколишнє середовище виявлялися вельми точними. Проте, запобігання негативній дії цих об'єктів ще не ставилося за мету екологічного прогнозу.

Саме початок масового будівництва гідроелектростанцій і збільшення масштабів дії на природу примусило шукати способи рішення наростаючих екологічних проблем. До цього періоду відносяться роботи, в яких зроблені спроби систематизації впливу ГЕС на навколишнє середовище. Ці проблеми знайшли широке віддзеркалення на XI і XII конгресах Міжнародної комісії з великих дамб, були проаналізовані і узагальнені. Надалі питання екології докладно розглядалися на всіх подальших конгресах. Дані публікації стали поштовхом до цілої серії цікавих і глибоких робіт з екологічних проблем гідроенергетики.

До кінця 80-х років проведені дослідження дозволили підготувати комплекс нормативно-методичних документів з питань охорони навколишнього середовища для еколого-економічного обґрунтування гідроенергетичних і водогосподарських об'єктів.

Загострення екологічної ситуації, як в світі, так і в нашій країні послужило приводом для відновлення дискусії з проблем екології в гідроенергетиці. Не могла залишитися осторонь від цього Міжнародна комісія по великих дамбах. На 16 Конгресі (1988, Сан-Франциско (США) було ухвалено рішення підтримати пропозицію Міжнародної ініціативної групи з охорони природи і екологічним проблемам гідроенергетичного будівництва про проведення Міжнародного десятиліття зі зменшення збитку природі і створено спеціальний комітет.

Якщо проблема будівництва крупних гідроенергетичних об'єктів дещо втратила гостроту у зв'язку з складною економічною ситуацією, то вже існуюче

затоплення земель в даний час є одним з найбільш обговорюваних питань. Дійсно, на території колишнього СРСР затоплено близько 6,2 млн. га земель.

Ефективним способом зменшення затоплення територій є збільшення кількості ГЕС в каскаді із зменшенням на кожному ступені напору, і, отже, дзеркала водосховищ. Не зважаючи на зниження енергетичних показників і зменшення регулюючих можливостей зростання вартості, низьконапірні гідровузли, що забезпечують мінімальні затоплення земель, лежать в основі всіх сучасних розробок.

Ще одна екологічна проблема гідроенергетики, яка завжди в центрі уваги фахівців і громадськості, пов'язана з оцінкою якості водного середовища. Відразу відзначимо, забруднення води, що має місце, як правило, не викликане технологічними процесами виробництва електроенергії на ГЕС, оскільки там практично відсутні джерела забруднення. Об'єми забруднень, що поступають із стічними водами ГЕС, складають дуже малу частку в загальній масі забруднень народногосподарського комплексу. Цим гідроенергетика вигідно відрізняється від інших підприємств паливно-енергетичного комплексу.

Основними причинами забруднення води є низька якість санітарно-технічних робіт при створенні водосховищ, а також скидання неочищених стоків у водні об'єкти. Звичайно, певний вплив на якість води надає сам факт існування водосховищ, оскільки змінюються гідрологічний, газовий режими водних об'єктів, склад співтовариств організмів і т.д. Зокрема, низька проточність деяких водосховищ сприяє цвітінню води. В той же час досвід експлуатації водосховищ показав, що внаслідок збільшення часу перебування води у водоймищі загальний ефект самоочищення в них в більшості випадків вище, ніж в річках. Водосховища істотно згладжують амплітуду коливання показників якості води, різко знижують їх пікові значення.

Якщо питання про позитивний або негативний вплив водосховищ на якість води дотепер залишається дискусійним, то негативний вплив скидання неочищених стоків, є безперечним. Великі об'єми води і високий ефект самоочищення у водосховищах, на жаль, спонукають до будівництва підприємств без належного очищення стоків, що перетворює водосховища на величезні відстійники стічних вод. Вирішення проблеми якості води в цьому випадку є очевидним – різке скорочення скидання забруднень.

Проте, окрім забруднення об'єктивним показником якості є стан живих організмів, що мешкають у воді. Найтісніше пов'язані з водними масами планктонні організми.

При транзиті через зарегульовані водотоки з каскадами водосховищ планктонні співтовариства (ценози) зазнають складні зміни, обумовлені почерговим попаданням планктонних організмів то в озерні умови (верхній б'єф), то в річкові (нижній б'єф). В умовах верхнього б'єфу формується планктобіоценоз озерного типу, а в умовах нижнього - річкового. Ці планктоценози відрізняються об'ємами продукованої органічної речовини, щільністю і біомасою організмів, видовим складом і іншими показниками. Як правило, організми співтовариств озерного типу не пристосовані до життя в річці і навпаки. У річкових умовах течія навіть середньої сили надає згубну дію

на озерні види організмів. Очевидно, на структуру і динаміку планктону впливають і самі гідротехнічні споруди, оскільки при подоланні гідроагрегатів планктон піддається руйнуванню.

Питання втрат планктону, вельми дискусійне на початку 90-х років, зараз прояснилось. Ступінь дії самого водопровідного тракту гідроагрегату виявився порівняно невеликий. Травмованих осіб після проходження робочого колеса турбіни налічується в середньому 13 %. Та все ж, розглядаючи дію ГЕС на навколишнє середовище, слід звернути увагу на відому життєзберігаючу функцію ГЕС. Так, вироблення кожного млрд. кВт.год електроенергії на ГЕС замість ТЕС приводить до зменшення смертності населення на 100-226 люд./рік.

Сучасна ситуація в гідроенергетиці вимагає проведення об'єктивного аналізу дії гідроенергетичних об'єктів на навколишнє середовище. Є велика кількість розробок, інформації щодо обліку окремих чинників взаємодії ГЕС з природним середовищем. Виникла гостра потреба у виробленні концепції, що дозволяє визначити в цілях екологічної безпеки загальний підхід при проектуванні ГЕС. Проблема екологічної безпеки, що висувається на даному етапі суспільного соціально-економічного розвитку як пріоритетна, обумовлена потребами суспільства в новому вигляді соціальних благ - в сприятливому середовищі існування людини. Для гідроенергетики це набуває особливої гостроти внаслідок великої залежності життєвих інтересів населення від стану водних і земельних ресурсів.

Розробка концепції екологічної безпеки в гідроенергетиці неможлива без чіткого визначення самого поняття екологічної безпеки. Різноманіття чинників, що впливають на екологічну безпеку, стало причиною багатоваріантності визначення цього поняття, що часто зустрічається в науковій літературі. Як найбільш характерні приклади розглянемо деякі визначення, що ілюструють різноманітність точок зору з даного питання. Наприклад, деякі автори пропонують наступне формулювання: "поняття, що характеризує вірогідність збереження якісних і кількісних характеристик життєвого середовища, які забезпечують оптимальні значення просторово-часових циклів відтворення процесів життєдіяльності від мікро до глобального рівня".

Дещо розширюється це поняття в атомній енергетиці: "екологічна безпека АЕС" (як і будь-якого енергетичного, промислового, сільськогосподарського і іншого об'єкту) припускає такий стан навколишнього середовища, при якому в природних комплексах підтримується стан, близький до гомеостазу, і не створюються умови, протипоказані для людини".

Виникає необхідність пошуку ключової ланки, характерної для більшості з наявної великої кількості формулювань. Таку єдину ланку швидше можна виявити не у визначеннях, а в передбачуваних концепціях екологічної безпеки.

На сучасному етапі суспільного розвитку можна виділити наступні основні напрями забезпечення екологічної безпеки навколишнього середовища: збереження здоров'я населення і біологічної різноманітності співтовариств природних видів в біосфері. Не дивлячись на істотні відмінності цих показників, обумовлені специфікою областей їх застосування, вони не тільки не мають глибоких суперечностей, але і можуть з успіхом доповнювати один

одного. Саме там, де відбулося порушення природного середовища, що створює загрозу здоров'ю людини, доцільно користуватися критерієм збереження здоров'я населення. У тих випадках, коли до сфери виробництва залучаються біологічні ресурси непорушених природних територій необхідно користуватися критерієм “біорізноманітності” (збереження різноманітності співтовариств природних видів). Це положення можна продемонструвати на прикладі енергетики, в розвитку якої часто бачать основну причину негативних змін навколишнього середовища, що відбуваються.

Не викликає сумніву, що збереження здоров'я населення є найважливішим критерієм розвитку суспільства. Рівень здоров'я населення багато в чому визначається станом природного середовища, а також соціально-економічними можливостями держави. Раніше збереження здоров'я безпосередньо зв'язувалося з умовою дотримання стандартів якості середовища. Виробництво, зокрема енергетика, орієнтувалося на забезпечення норм гранично-допустимих концентрацій (ГДК), гранично-допустимих викидів (ПДВ), гранично-допустимих скидань (ГДС) і емісій забруднень. В даний час визнається практично всіма, що нормування якості середовища створює лише передумови для охорони здоров'я, але не відображає реального впливу середовища на людину. Тому все велику популярність в розвинених країнах завойовує висунута в другій половині 80-х років в США концепція “ризик”. Її основна ідея полягає в тому, що еталоном “чистоти” стає відсутність захворювань, викликаних екологічними порушеннями, а не нормований рівень вмісту шкідливих речовин в навколишньому середовищі.

Проте, широке застосування концепції „ризик” на практиці, зокрема, в енергетиці обмежено через відсутність методик числення у вартісному виразі і “користь”, і, особливо, “шкоди”. Для можливо точнішої оцінки “ризик” (“шкоди”) необхідне використання імовірнісних багатofакторних моделей екологічно небезпечних ситуацій, що виникають при взаємодії енергетичних об'єктів з природою, а також багатокритерійних моделей збитку, але в цьому напрямі зроблені лише перші кроки.

Розвиток суспільства не стоїть на місці і вже висувається складніше завдання управління “ризиком”, тобто пошук шляхів зменшення “ризик” стає головним елементом політики забезпечення екологічної безпеки.

Не можна забувати, що людина і результати його діяльності – це тільки одна, хоч і найбільш важлива, ланка біосфери, а без благополуччя біосфери неможливе благополуччя людини. Таким інтегральним показником благополуччя є “біорізноманітність” - чинник, що забезпечує стійкість екосистем і біосфери в цілому і що становить основу загальної екологічної безпеки.

Апріорі енергетичний об'єкт можна вважати екологічно безпечним, якщо при його створенні і експлуатації з мінімальними втратами зберігається видова різноманітність екосистем.

Розподіл енергетичного гідропотенціалу в світі та в Україні.

Потенційні гідроенергетичні ресурси становлять більше 2200 ТВт. Дані про потенційні гідроенергетичні ресурси різних регіонів світу та обсяги їх використання приведені в таблиці 15.2.

Таблиця 15.2. Загальний гідропотенціал гідроенергії в світі

Регіон	Потенційні гідроенергетичні ресурси, ГВт	Частка від світового потенційного виробництва енергії, %	Частка гідроенергетичних ресурсів, що використовується, %	Невикористана частка гідроенергетичних ресурсів, %
Азія*	630	28	10	90
Південна Америка	440	20	17	83
Африка	350	16	5	95
Північна Америка	350	16	46	54
Країни СНД	240	11	21	79
Європа*	150	7	65	35
Австралія та Океанія	40	2	20	80
Всього по світу	2200	100	21	79

Примітка. * - не враховуючи країн СНД, серед країн що розвиваються, невикористана частка загальних гідроенергетичних ресурсів досягає 90%.

Енергетичний потенціал гідроенергії в світі раніше був оцінений 8100 млрд. кВт.год, встановлена потужність всіх гідроелектростанцій – 669000 МВт, енергія, що виробляється на гідроелектростанціях становить 2691 млрд. кВт.год, тобто технічно-доступний потенціал використовується на 33%. Малі, міні та мікро-ГЕС використовують приблизно 10% від загального потенціалу гідроенергії.

Світовий економічно-доцільний та екологічно припустимий гідроенергетичний потенціал малих водотоків оцінюється в 240-300 млрд. кВт.год.

Річкова мережа України розподіляється по основних водозаборах:

- ◆ басейн р. Вісли - охоплює річки північного заходу республіки;
- ◆ басейн р. Дунаю, до якого належать річки басейнів Тиси і Прута, а також кілька річок, що впадають в Дунай або в Придунайські озера нижче гирла Прута;
- ◆ басейн р. Дністра - включає річки східних схилів Українських Карпат, а також річки Подільської височини;
- ◆ водозабір р. Південного Бугу - охоплює річки Подільської та Придніпровської височини;
- ◆ басейн р. Дніпра - перетинає Україну з півночі на південь і охоплює річки багатьох геоморфологічних областей;
- ◆ між Дунаєм і Дністром є близько 70 річок, що течуть в Причорноморській низовині і впадають у лимани Чорноморського узбережжя або у море;

- ◆ водозабір Сіверського Донця, правобережні притоки р. Дону;
- ◆ річки, що впадають в Азовське море та його лимани і затоки.

Загальний гідроенергетичний потенціал України знаходиться на рівні 37,5 млрд.кВт.год (13,5 млн. т у.п.), технічно-можливі ресурси гідроенергії оцінюються в 27,7 млрд.кВт.год (10 млн. т у.п.).

Енергетичні показники гідроенергетики, можливі обсяги заміщення традиційних паливно-енергетичних ресурсів та співвідношення між показниками потенціалу "великої" і "малої" гідроенергетики показані в таблиці 15.3.

Таблиця 15.3. Гідроенергетичний потенціал України.

Напрямок освоєння ВДЕ	Річний гідроенергетичний потенціал			
	Теоретично-можливий		Технічно-досяжний	
	млрд. кВт. год	млн. т у.п.	млрд. кВт. год	млн. т у.п.
Гідроенергетика великих рік	25,0	9,0	19,4	7,0

Потенціал великої гідроенергетики в Україні становить біля двох третин загального гідроенергетичного потенціалу країни.

Теоретично за рахунок використання всього потенціалу великих рік України щорічно можна отримувати 25 млрд. кВт.год електроенергії, що еквівалентно 9 млн. т у.п. Технічно-досяжний річний потенціал великої гідроенергетики України становить біля 78% від теоретично-можливого – 19,4 млрд. кВт.год електроенергії, що еквівалентно 7 млн. т у.п.

Слід відмітити, що для малих, середніх і верхоріч великих річок оцінка технічно-досяжного і економічно-доцільного потенціалу обґрунтована винятково реальними геодезичними і гідрологічними даними для можливих створів.

Економічно-доцільний потенціал потребує більш детального обґрунтування. В умовах паливних та екологічних проблем в Україні, а також при врахуванні світового досвіду, він наближається до технічно-досяжного. Так, в розвинених країнах сьогодні масово почалися процеси утилізації енергії технічних систем водопостачання та водовідведення, спорудження енергооб'єктів на іригаційних каналах, масове впровадження мікроГЕС.

Лекція 16

Мала гідроенергетика

Традиції використання енергії малих водотоків в Україні. Сучасні методи, технології та обладнання малої гідроенергетики. Основні техніко-економічні та екологічні показники галузі. Стан та перспективи подальшого розвитку малої гідроенергетики в Україні.

Традиції використання енергії малих водотоків в Україні

Бурхливий розвиток малої гідроенергетики в Україні почався в 20-30-і роки минулого століття. У 1924 році експлуатувалося 84 малих ГЕС загальною потужністю 4000 кВт, а в 1929 році їх кількість виросла до 150 (8400 кВт). У західних областях України налічувалося кілька сотень малих ГЕС. На окремих річках стояли десятки водяних млинів, оснащених малими генераторами потужністю 5-15 кВт. Відомі проекти польського "водгоспу" щодо перетворення млинів у мікроГЕС. Устаткування водяних двигунів, їх розташування на водотоках, дамби і греблі, вся система малої гідроенергетики була чітко продумана. Вона органічно вписувалася у навколишню природу з урахуванням екологічних вимог. Станом на 1950 рік в Україні експлуатувалося 956 малих ГЕС.

Нові більш потужні станції проектувалися і споруджувалися в 50-і роки. На Закарпатті було побудовано близько трьох десятків невеликих ліспромгоспних, колгоспних і міжколгоспних малих ГЕС. На основі Корсунь-Шевченківської (1650 кВт), Стеблівської (2800 кВт) і Дібненської МГЕС (560 кВт) була створена і функціонувала перша в Україні місцева сільська енергосистема, до складу якої входила також Юрківська теплоелектростанція (2000 кВт). Були побудовані Ладижинська і Глибочицька малі ГЕС потужністю 7500 кВт кожна.

У зв'язку із зростанням централізації енергопостачання, а також низькими цінами на паливо та електроенергію для відомств і підприємств, на балансі яких знаходилися малі ГЕС, почалася їх консервація і стихійний демонтаж. Певною мірою було втрачено досвід проектування, виробництва устаткування і спорудження об'єктів малої гідроенергетики. У той же час будувалися іригаційні системи, зокрема досить потужні, без урахування можливості спорудження на них гідроенергооб'єктів. У процесі гідромеліоративного будівництва в Україні на 100 водоймищах передбачалося збудувати малі ГЕС, проте не було побудовано жодної.

З 2000 року в Україні почався процес реконструкції малих ГЕС приватними підприємствами.

Сучасні методи, технології та обладнання малої гідроенергетики

Закон України від 20.02.2003р. №555-IV "Про альтернативні джерела енергії" дає нові можливості для залучення в паливно-енергетичний баланс країни гідроенергетичного ресурсу малих річок, який характеризується цілим рядом переваг у порівнянні з іншими відновлюваними джерелами енергії:

- великі наявні об'єми реконструкції і будівництва малих ГЕС;

- значний термін служби і висока надійність експлуатації;
- низькі амортизаційні витрати;
- можливість повної автоматизації процесу експлуатації;
- високий коефіцієнт використання встановленої потужності;
- висока маневреність і коефіцієнт готовності;
- значна передбаченість і забезпеченість режимів роботи;
- мінімальний вплив на навколишнє середовище;
- висока стійкість до стихійних явищ (урагани, люті морози, снігопади);
- мінімальний вплив на ландшафт і незначне відчуження земельних ділянок;
- додаткові можливості для рибного господарювання, зрошування, водопостачання, боротьби з повеннями.

В Україні за потужністю малі гідроелектростанції умовно поділяються таким чином:

–мікроГЕС – потужністю до 100 кВт (0,1 МВт). Вони призначені для енергозабезпечення окремих підприємств, віддалених селищ. Радіус дії цих станцій до 1 (інколи 2-5) км. Розподіл енергії здійснюється напругою до 10 кВ, найбільш вживаною є напруга 0,2-0,4 кВ. Будівельна частина відрізняється простотою конструкції, гідромеханічне обладнання складається з однієї або двох турбін;

–мініГЕС – від 100 до 1000 кВт (0,1-1 МВт). Призначені для групи споживачів, що розташовані в радіусі 20-25 км, або для енергопостачання відносно великого підприємства. Розподіл електроенергії проводиться напругою до 10 кВ. Гідромеханічне обладнання складається з двох-трьох турбін. Працюють найчастіше паралельно із центральною енергосистемою;

–малі ГЕС – від 1000 до 10000 кВт (1-10 МВт). Призначені для енергозабезпечення споживачів у радіусі до 50-60 км. Розподіл електроенергії здійснюється напругою до 10-35 кВ. Працюють паралельно з центральною енергосистемою.

За величиною використання напору малі ГЕС класифікуються наступним чином:

- низьконапірні (мікроГЕС – до 15м, мініГЕС – до 20м, малі – до 25м);
- середньонапірні (мікроГЕС – 15-50м, мініГЕС – 20-100м, малі – 25-130м);
- виськонапірні (мікроГЕС – більше 25 м, мініГЕС – більше 100м, малі – більше 130м).

За способом створення напору гідроелектростанції споруджуються за наступними схемами:

- пригребельні;
- дериваційні;
- гребельно-дериваційні (змішані).

Необхідно відмітити, що впровадження малих ГЕС практично не створює негативного ефекту, тоді як ГЕС великої потужності, при спорудженні яких із землекористування вилучаються значні площі продуктивних земель, можуть

негативно впливати на стан в економічній, екологічній та соціальній сферах регіонів, де вони впроваджуються.

В Україні промисловий випуск обладнання для малої гідроенергетики налагоджено на Харківському заводі "Турбоатом". Стандартизоване обладнання малих ГЕС виробляється у широкому діапазоні параметрів:

- потужність – від 2 до 15000 кВт;
- діаметр робочого колеса турбіни – від 190 до 3000 мм;
- частота обертання – від 50 до 2000 об/хв;
- напір – від 1 до 1000 м;
- витрати води – від 0,01 до 0,75 м³/с.

Комплексні поставки гідроенергетичного обладнання середньої потужності (50-600 кВт) для встановлення на малих ГЕС виконує також фірма "МІНІГІДРО", м. Харків.

Серйозна увага приділяється підвищенню економічної ефективності малих ГЕС за рахунок спрощення їх проектування, будівництва та експлуатації, типізації проектних рішень, стандартизації обладнання і повної автоматизації роботи ГЕС.

До основних напрямів розвитку малої гідроенергетики України відносяться: технічне переоснащення окремих станцій (із заміною основного гідросилового устаткування та без неї) та відновлення напірного фронту; відновлення споруд, не діючих як енергооб'єкти ГЕС з метою їх використання в енергогосподарстві; будівництво нових малих ГЕС та мікроГЕС нових типів на створюваних та діючих водогосподарських об'єктах. Розрахунки підтверджують відносно високі питомі економічні показники мікроГЕС: наприклад, вартість 1 кВт встановленої потужності мікроГЕС у 1,5-2 рази нижча аналогічних показників вітроелектростанцій та фотоустановок.

Основні показники гідротурбінного обладнання, необхідного для виконання програми відтворення недіючих, реконструкції діючих та будівництва нових малих ГЕС України наведені в таблиці 16.1.

Таблиця 16.1. Показники гідротурбінного обладнання

Типи малих ГЕС	Напір, м	Одинична потужність гідроагрегатів, кВт
Низьконапірні	3 - 8	5 - 1000
Середньонапірні	8 - 25	200 - 10000
Високонапірні	> 25	500 - 20000

В Україні розробка конструкторської документації і виготовлення гідротурбінного обладнання зосереджені на НПО "Турбоатом" – головному підприємстві з постачання сучасних вискоефективних малих та великих гідротурбін як для вітчизняних, так і для закордонних ГЕС. НПО "Турбоатом" випускає турбіни всього діапазону показників, представлених у таблиці 16.1.

Напірні малі ГЕС. Малі гідроелектростанції, що використовують потенціальну енергію малих річок за рахунок напору, який створюється

перепадом висот вільного рівня ріки, по засобу створення напору поділяються на гребельні, дериваційні, змішані (гребельно-дериваційні) і малі ГЕС при готовому напірному фронті (на перепадах каналів у системах водопостачання).

Гребельні ГЕС – це найбільш розповсюджені схеми використання енергії малих річок. Їх експлуатація достатньо ефективна в усіх районах України, за винятком гірських, а в окремих випадках вони можуть ефективно використовуватись і в гірських районах. Ці схеми характеризуються можливістю виходу підпірного рівня на заплави, що призводить до підтоплення заправ, але, з іншого боку, це дає можливість більш повного використання натурних стоків навіть при значному коливанні витрат води протягом року за рахунок створення водосховища.

Дериваційні та змішані (гребельно-дериваційні) системи використовуються в практиці будівництва малих ГЕС головним чином у гірських районах. Схеми дериваційних станцій можуть бути наступними: деривація впродовж і деривація на випрямлення русла річки. Випрямляючи деривацією окремі закрути річки, можна досягти значного напору навіть на ріках з невеликим уклоном. У змішаних (гребельно-дериваційних) схемах можна створювати регулюючі водосховища, застосування яких у верхів'ях річок або на притоках забезпечить регулювання стоку води, у тому числі в повені.

Малі ГЕС при готовому напірному фронті. У цьому випадку беруться до уваги схеми малих ГЕС, що споруджуються у створах із готовим напірним фронтом. Такими створами можуть служити водосховища неенергетичного призначення, перепади каналів різноманітного призначення, трубопроводи систем водопостачання та водовідведення (промислового, сільськогосподарського та комунально-житлового). Доцільним є спорудження малих ГЕС на каналах, що будуються замість перепадної споруди. Таким чином, існує велика різноманітність можливих схем споруди на малих ГЕС.

МікроГЕС. На даний час до категорії мікроГЕС відносять гідроелектричні станції потужністю менше 100 кВт, при цьому потужність одного гідроагрегата, як правило, до 50 кВт. Аналіз технічних можливостей енергетичного використання стоку багатьох малих рік (рівнинних річок потужністю до 1,7 тис. кВт та гірських до 2 тис. кВт) показав, що і ця частина гідроенергетичного потенціалу України технічно може бути освоєна при застосуванні мікроГЕС. Вони можуть служити не тільки джерелом електроенергії, але й прямим приводом різноманітних машин. Найбільш широкого застосування мікроГЕС можуть досягти в забезпеченні електроенергією стаціонарних сільських споживачів, гірничодобувних об'єктів, станцій та постів гідрометеослужби, туристичних та інших рекреаційних комплексів, мисливських та лісозаготівельних господарств, військових і багатьох інших об'єктів.

Таким чином, в Україні, особливо в гірських районах, обладнання для мікроГЕС може мати широке коло замовників і споживачів. Велику зацікавленість у придбанні мікроГЕС для малих річок виявляють у Росії (Далекий Схід, Північ, Алтайський край, Урал), Кавказьких республіках,

Середній Азії, Казахстані, а також у Туреччині, Монголії, Кубі, Індії, В'єтнамі, Бразилії та ряді інших країн.

Ефективною є експлуатація мікроГЕС для супутнього виробництва електроенергії при спорудженні їх у складі різних гідротехнічних об'єктів (на водоскидах, системах водопостачання, на каналах). Особливу перспективу мають об'єкти зі значною перевагою енергопостачання в літній період, оскільки велика кількість малих річок взимку майже не мають стоку, а сезонне регулювання суттєво знижує економічну ефективність мікроГЕС. У деяких випадках доцільно використовувати мікроГЕС у комплексі з вітроустановками, геліоустановками та іншими джерелами енергії. Створення таких енергокомплексів є одним із перспективних напрямів сучасних розробок.

Вільнопотокові ГЕС. Основний елемент вільнопотокових ГЕС – це турбіни, найбільш поширеними з яких є:

- вільнопотокові турбіни, що використовують силу лобового опору потоку води;
- вільнопотокові турбіни, що використовують гідродинамічну підйомну силу.

За принципом роботи вільнопотокова турбіна являє собою своєрідний "підводний вітряк", що використовує енергію течії ріки. В США, Японії, Бразилії, Швеції ведуться розробки величезних вільнопотокових турбін, що використовують кінетичну енергію океанських течій.

Робочий момент на вільнопотоковій турбіні, що використовує силу лобового опору потоку води, виникає завдяки лобовому тиску води на лопаті; за таким же принципом працювало багато старих водяних млинів. Подібні схеми мають суттєві недоліки, які полягають у тому, що вільнопотокові турбіни мають дуже малу швидкість обертання і низький ККД, що ледве досягає 0,1. Коефіцієнт корисної дії водяної вільнопотокової турбіни, що використовує гідродинамічну підйомну силу із застосуванням насадки, досягає 0,5 і 0,75.

Існує велика кількість розробок: гірляндні вільнопотокові турбіни, лопаті яких закріплені на гнучкому валу, в деяких схемах лопаті виконані у вигляді малих роторів Савоніуса та у вигляді ротора Дар'є.

Однак, незважаючи на велику кількість проектів, до цього часу ще немає інформації про побудову чи дослідну експлуатацію вільнопотокових турбін на малих річках. У США біля Нью-Йорка працює 100-кіловатна вільнопотокова турбіна, що перетворює енергію океанської течії.

Основною перевагою вільнопотокових турбін є те, що вони не потребують будівництва греблі і не підтоплюють береги, їх можна розташовувати послідовно вздовж малої річки. Тому, враховуючи вищесказане, можна припустити, що для малих швидких річок України (особливо у Карпатах і в Криму) використання вільнопотокових мікроГЕС має певні перспективи, однак при цьому необхідно враховувати різні швидкості потоку води.

Турбіни малих гідроелектростанцій. Всі турбіни, що використовуються на малих гідроелектростанціях, за характером віддачі енергії поділяються на:

–**активні**, в яких робота здійснюється за рахунок відхилення вільного струменя на лопатках турбіни, при однаковому тиску на всіх її елементах. За

числом робочих коліс вони поділяються на одно- та двоколісні, а за числом сопел на кожному колесі – на одно- та багатосоплові.

–**реактивні** (напірні), в яких робота здійснюється під надлишком тиску, що утворюється силою реакції води. Тиск води при вході на робоче колесо більший, ніж на виході.

На практиці застосовують два основних типи **активних турбін**:

–ковшові (турбіни Пельтона);

–двократні (турбіни Банкі).

Реактивні турбіни виконуються за різними конструкціями і поділяються:

–**за положенням валу** – на вертикальні та горизонтальні;

–**за підводом води** – на відкриті (турбіна розташовується у відкритій камері; вода підводиться відкритим каналом), закриті (розташовується в металевому кожусі; вода підводиться закритим трубопроводом), комбіновані (турбіна розташовується в закритій бетонній камері; вода підводиться відкритим каналом);

–за числом коліс – на одно- та двоколісні на одному валі.

В конструкцію реактивних турбін входять три основні частини:

–направляючий апарат;

–робоче колесо;

–відсмоктувальна труба.

Направляючий апарат призначений для регулювання подачі води в робоче колесо турбіни і складається з двох кілець, між якими розташовані поворотні лопатки. Робочі колеса реактивних турбін розрізняють за формою. Водяний потік, просуваючись уздовж лопаті, діє на неї силою струменя і обертає вал, до якого вони кріпляться.

Для підвищення ККД шляхом підтримки пониженого тиску за робочим колесом використовуються всмоктувальні труби, які за формою поділяються:

–прямі вертикальні конічні;

–вертикальні конічні з верхнім коліном;

–розтрубні вертикальні;

–похилені колінчасті з верхнім коліном;

–вигнуті з нижнім поворотом.

Електрообладнання малих гідроелектростанцій. Система електрообладнання малих гідроелектростанцій умовно поділяється на силовий блок (генератор, підвищуючий трансформатор), блок автоматичного керування та захисту робочого обладнання, блок сигналізації.

Автоматизація малих гідроелектростанцій. Автоматичні пристрої малих гідроелектростанцій повинні забезпечити:

–дистанційний або автоматичний пуск агрегату;

–синхронізацію генератора та під'єднання його до мережі (при потребі);

–завантаження агрегатів (набирання та зміна потужності);

–підтримання встановленого рівня швидкості обертання та напруги;

- контроль роботи основних вузлів агрегату та подача попереджувальних сигналів про порушення роботи вузлів станції (діагностика);
- дистанційну зупинку агрегатів;
- аварійну зупинку обладнання;
- гальмування агрегатів після від'єднання від мережі у зв'язку з їх зупинкою;
- попередження самовільного запуску агрегатів.

Основні схеми та склад споруд малих гідроелектростанцій. Мала гідроелектрична станція – комплекс гідротехнічних споруд, що обладнані гідромеханічним та електричним устаткуванням, призначений для перетворення енергії водяного потоку в електричну.

Схеми пригребельних гідроелектростанцій. Пригребельні малі гідроелектростанції в основному розташовують на рівнинних річках, що мають невеликі уклони, малі швидкості течії та ясно виражені заплави. Напір у них створюється греблею, а будівля гідроелектростанцій розташовується в нижньому б'єфі безпосередньо біля греблі.

В залежності від місцевих умов розрізняють пригребельно-заплавні малі гідроелектростанції та пригребельно-руслові малі гідроелектростанції.

У пригребельно-заплавних малих гідроелектростанцій вода затоплює, крім основного русла, ще й заплаву до її корінних берегів. Напір коливається в межах 2,5...20 м. Це дає можливість регулювати стік ріки різними способами. Крім того, вони менше зазнають впливу коливання напору під час проходження весняних паводків, що дозволяє протягом всього року забезпечити безперебійну подачу електроенергії споживачам.

До недоліків даних гідроелектростанцій відносяться:

- затоплення заплавних земель;
- великі обсяги будівельних гідротехнічних робіт та капіталовкладень.

Комплекс гідроспоруд пригребельно-заплавних станцій складається із:

- греблі – водонапірна споруда, що за характером роботи, яка виконується, поділяється на глуху (тільки створює напір води) та водозливну (крім підпору, здійснює скидання надлишків води з водоймища);
- будівлі гідроелектростанції – споруда, де розташовується гідромеханічне (турбінне обладнання) та електричне (генераторне обладнання) устаткування;
- водоприймальної споруди – здійснюється подавання води з водоймища до турбін;
- водовідвідного каналу – відводиться відпрацьована вода від будівлі гідроелектростанції до основного русла ріки нижче греблі.

У випадках, коли річка використовується для транспортування, рибництва або зрошення, створюються додаткові гідроспоруди у вигляді шлюзів, водозабірних споруд і рибоходів.

Глуха гребля не споруджується у випадку, коли заплава ріки вузька, а витрати надлишку води відносно великі. В даному разі створ являє собою одну водозливну греблю.

Пригребельно-руслові малі гідроелектростанції розташовуються на рівнинних ріках із широкими заплавами та високими берегами русла. Напір створюється греблею не вище відміток бровок обох берегів ріки. У даному випадку вода не повинна затоплювати заплавні землі, що є основною перевагою пригребельно-руслових гідроелектростанцій. Такі гідроелектростанції будують при умові уклону поверхні води менше 0,0005 і при ширині заплави 150÷250 м. Вони низьконапірні – не вище 5 м.

Гідроспоруди пригребельно-руслових електростанцій складаються із:

–водозливної греблі;

–будівлі гідроелектростанції з водоприймальною спорудою (об'єднані) – розташовуються в лінії створу.

Водовідвідний канал відсутній, тому що будівля станції безпосередньо розташована в руслі ріки і витримує натиск води.

Створ під руслову гідроелектростанцію вибирається на прямолінійній ділянці ріки з більш-менш сталим гідравлічним режимом, щоб уникнути звуження русла, що призведе до розливання берегів і поглиблення дна безпосередньо за створом зведених споруд.

Водоскидні споруди розраховують на руслову витрату, тому що під час проходження паводка (максимальні витрати) отвори греблі іноді можуть повністю відкриватись, горизонти при цьому зрівнюються, напір зникає і гідроелектростанція зупиняється.

Схеми дериваційних гідроелектростанцій. Характерною особливістю дериваційних станцій є те, що напір у них створюється не греблею, а конструкційно-технологічним обладнанням, що здійснює підведення води до станційного вузла та відведення води від нього водоводами. Дериваційні гідроелектростанції є високонапірними – до 200 м.

Водяний потік підводиться до станції за допомогою каналів, лотків, штолень, тунелів або трубопроводів. Вибір типу підведення залежить від геодезичних та геологічних умов. Величина мінімального уклону та втрат напору в дериваційних водоводах досягається за рахунок гладкості внутрішньої поверхні їх стінок, правильної форми поперечного перерізу та прямолінійності ділянок деривації. Необхідно мати на увазі, що чим більший уклін, тим вигіднішою є дериваційна схема.

Дериваційна схема гідроелектростанції складається із споруд:

–**головного вузла**, до якого входять:

а) невисока гребля (забезпечує нормальне надходження необхідної витрати води у водоприймач, проходження паводкових вод і змивання наносів у зоні забору води у водоприймач);

б) водоприймач (розширена частина дериваційного каналу, що прилягає до греблі і подає воду з верхнього б'єфу безпосередньо в канал. Поріг водоприймача облаштовується захисною решіткою від сміття та льоду і відсічним затвором, що припиняє надходження води в канал);

в) відстійник (декілька камер з вхідними та вихідними затворами та промивними отворами, призначений для осадження та подальшого видалення небезпечних для турбіни фракційних наносів);

– **деривації** (забезпечують підведення води від головного вузла до станційного комплексу, а також відведення спрацьованої води до русла ріки). До складу деривації входять також допоміжні споруди – акведуки, мости, труби під каналом для пропуску води під час злив, комунікації, що перетинають транспортні лінії;

– **стаціонарного вузла**, до якого входять:

а) водонапірний басейн (при відкритій деривації) або зрівняльний резервуар (при закритій деривації) для розподілу потоків, що подаються до турбін;

б) турбінні напірні трубопроводи;

в) будівля гідроелектростанції з водовідвідним каналом.

Схеми гребельно-дериваційних (змішаних) гідроелектростанцій

Змішана схема побудови станції застосовується у місцевостях з ухиломи, що коливаються в межах 0,005...0,01. Напір створюється одночасним використанням греблі та дериваційних споруд. Гідроелектростанції, що побудовані за даною схемою, несуть у собі переваги і недоліки попередніх схем. При відсутності затоплення земель, з меншими питомими витратами на одиницю встановленої потужності, у них ускладнена система регулювання стоку, важкі умови експлуатації в зимовий період (шуга, лід).

Основні техніко-економічні та екологічні показники галузі

Досвід деяких країн показав, що освоєння гідропотенціалу малих річок за допомогою малих ГЕС і мікроГЕС допоможе вирішити проблему поліпшення енергопостачання численних дрібних автономних споживачів, віддалених від електромереж. Найбільш ефективними є малі ГЕС, що створюються на вже існуючих гідротехнічних спорудах. За даними фірми "Елліс-Чалмерс" (США) питомі капіталовкладення для ГЕС, що заново споруджуються, дорівнюють 1100-1400 дол./кВт (потужність до 10 МВт) та 6800-8700 дол./кВт (потужність до 1 МВт). В той же час, для малих ГЕС, що добудовуються до складу діючих гідровузлів, питомі капітальні вкладення зменшуються до 500-2000 дол./кВт. Будівництво малої ГЕС потужністю 1 МВт коштує 0,5-2 млн доларів. Прибуток від неї досягає 300000 дол./рік, а терміни окупності капітальних вкладень становитимуть 2-6 років.

На даний час устаткування для малих ГЕС виробляють численні фірми США, Японії, Швеції, Швейцарії, Франції, Австрії, Великобританії. Розпочато виробництво такого обладнання і в країнах Східної Європи.

Гідроелектростанції та їх обладнання мають значний експлуатаційний ресурс, що пояснюється умовами їх експлуатації – рівномірний режим роботи при відсутності екстремальних температурних та інших навантажень. Внаслідок цього вартість електроенергії, що виробляється на малих ГЕС, досить низька, тому багато з них мають високий економічний ефект.

Експлуатаційний ресурс обладнання складає до 50 років, а гідроспоруд – 100 років. Для гідроенергетики характерне комплексне використання гідроресурсів: виробництво електроенергії, захист від повеней, водопостачання населених пунктів та промислових підприємств, іригація, ріборозведення.

Малі ГЕС вважаються інвестиційно привабливими об'єктами для установ кредитування. Їх ефективність підтверджена значним досвідом проектування, спорудження і експлуатації. Наприклад, банківськими установами Німеччини спорудження малих ГЕС кредитується на 50-70% від загальних витрат під 6,25-6,75% річних протягом 10-20 років із затримкою виплати кредитів до 2-3 років на термін будівництва. Ці умови дозволили практично використовувати основний гідроенергопотенціал Німеччини. Законодавчо визначені правила приєднання малих ГЕС до розподільних електричних мереж різних форм власності. Вони кількісно нормують допустимі коливання при регулюванні напруги, вимоги до комутаційного устаткування, до синхронізації та до пристроїв компенсації реактивної потужності, допуски асиметрії, характеристики гармонійних складових напруги і струму, умови автоматизації, роботу устаткування в автономних режимах при аваріях в електричних мережах тощо. В країнах ЄС існують жорсткі правила паралельної роботи енергооб'єктів резервування, системної надійності, керованості та якості електроенергії.

За існуючої в Україні правової бази взаємовідносин малих ГЕС з централізованою електромережею та енергоринком, тарифи «за транспортування» електроенергії в межах облenerго знаходяться на рівні 6-9 коп/кВт·год, що практично подвоює собівартість виробництва електроенергії. Але електроенергія, вироблена малою ГЕС споживається поблизу, підвищує надійність електрзабезпечення споживачів та призводить до зниження втрат електроенергії в мережах. Більш того, малі ГЕС можуть споруджуватися в енергодефіцитних регіонах, де відсутні потужні енергоджерела і куди транспортується електроенергія з великими втратами. Тарифи на «транспортування» для об'єктів малої електроенергетики в межах облenerго не відтворюють і не оцінюють реальні фізичні процеси в електромережах.

Стан та перспективи подальшого розвитку малої гідроенергетики в Україні.

Станом на кінець 2009 року в Україні знаходиться в експлуатації 78 малих гідроелектростанцій потужністю близько 110 МВт, які щорічно виробляють 300-390 млн кВт·год електроенергії залежно від водності сезону. Вони характеризуються достатньо гарантованим відновлюваним енергоресурсом, відповідають комплексу екологічних вимог щодо збереження біологічних, геоморфологічних та гідрохімічних процесів у руслі і долині річки. Крім того, мала гідроенергетика сприяє і надає можливості для вирішення інших важливих господарських задач, таких як водопостачання, рибне господарювання, задач керованого захисту прилеглих територій від повеней, переведення цих земель із категорії негарантованого землеробства у гарантоване завдяки зрошуванню.

Розвиток малої гідроенергетики в Україні сприятиме децентралізації загальної енергетичної системи, чим зніметься ряд проблем в енергопостачанні віддалених і важкодоступних районів сільської місцевості, при цьому вирішуватиметься цілий комплекс проблем в економічній, екологічній і соціальній сферах життєдіяльності та господарювання в сільській місцевості. Малі ГЕС можуть стати істотною складовою енергозабезпечення для регіонів Західної України.

Одним із найбільш важливих факторів, що визначають ефективність малої гідроенергетики у певному районі, є наявність інформації щодо ринку споживання електроенергії. Оскільки малі гідроелектричні станції мають досить обмежений радіус економічно ефективної передачі електроенергії до споживача, можуть виникати ситуації, коли для даного джерела гідроенергетичного потенціалу недостатньо споживачів електричної енергії у межах економічно доцільної відстані передачі енергії. У цих умовах виникає необхідність обліку можливостей існування децентралізованого енергопостачання, різних форм власності та джерел фінансування.

Українські підприємства мають необхідний виробничий потенціал і досвід для випуску устаткування малої гідроенергетики: гідротурбін, генераторів, трансформаторів, гідромеханічного та іншого обладнання. За умови сприятливої тарифної політики, законодавчо-нормативної бази щодо оренди і приватизації малих гідроелектростанцій з метою забезпечення інвестиційної привабливості, зокрема створення механізмів участі в міжнародних енергетичних проектах, проектах спільного впровадження і вуглецевих кредитів в економічній системі Кіотського протоколу, мала гідроенергетика може розвиватися практично без вкладання державних коштів, тобто за рахунок внутрішніх і зовнішніх інвестицій.

Орієнтирами щодо конкурентоспроможності вітчизняних виробників можуть бути наступні питомі світові вартісні показники: синхронні горизонтальні генератори 100 дол./кВт, вертикальні – до 130 дол./кВт; асинхронні генератори – 80 дол./кВт; гідротурбіни горизонтальні – 250-300 дол./кВт, вертикальні – 320-350 дол./кВт. Слід відмітити, що в світі, у тому числі в СНД, накопичено величезний досвід виробництва конкурентоспроможного обладнання для малої гідроенергетики.

Для вирішення проблем розвитку малої гідроенергетики Україна має достатній науково-технічний потенціал в галузі проектування гідроелектростанцій, дослідження гідроенергетичного потенціалу малих річок, водогосподарчих та екологічних питань при будівництві гідроелектростанцій.

Запропоновані об'єми відродження малої гідроенергетики орієнтовані на поетапну реконструкцію діючих МГЕС, першочергову відбудову законсервованих із збереженими гідроспорадами та спорудження нових МГЕС, у тому числі на існуючих водоймищах. Пропозиції враховують розпочаті реконструкції, необхідність першочергових робіт на водоймищах, що використовуються для водозабезпечення міст, пропозиції Мінпаливенерго, Укрводгоспу, результати проектних робіт Укргідропроєкту, обстежень об'єктів, зацікавленість відомств, обленерго, підприємств, а також "Програми державної

підтримки розвитку нетрадиційних та відновлюваних джерел енергії та малої гідро- і теплоенергетики".

Енергетичні показники базуються на конкретних даних по відомих об'єктах та створах. Крім того, враховувалась можливість залучення набутого досвіду для спорудження першочергових МГЕС на існуючих водоймищах, магістральних каналах та для утилізації енергії технічних систем водозабезпечення та водовідведення.

Основними напрямками освоєння енергії малих водотоків є:

- спорудження каскадів нових малих ГЕС на річках;
- відновлення виведених з ладу малих ГЕС загальною потужністю 31 МВт;
- реконструкція 72 малих ГЕС та 7 мікроГЕС загальною потужністю 110,7 МВт, що знаходяться в експлуатації;
- оснащення існуючих водосховищ водогосподарчого призначення гідроелектричними агрегатами;
- утилізація енергії стоків технічних систем водопостачання та водовідведення;
- застосування МГЕС у нових створах на річках Західної України, які одночасно будуть виконувати функцію боротьби з повеннями.

Всі малі ГЕС розміщені в районах централізованого енергопостачання і розподілені по території України нерівномірно, у відповідності з наявністю гідроресурсів, більша частина малих ГЕС побудована в центральній та західній частинах України. З розвитком промислового та сільськогосподарського виробництва прилеглих районів деякі станції прийняли додаткові функції, пов'язані з водопостачанням об'єктів, зрошенням, риборозведенням. Зокрема, водосховища більшості малих ГЕС стали головним джерелом водопостачання ряду великих міст: Сабаровська МГЕС (р. Південний Буг) – м. Вінниця, Низовська МГЕС (р. Псьол) – м. Суми, Корсунь-Шевченківська МГЕС (р. Рось) – м. Корсунь-Шевченківський.

Потенціал енергії малих рік України досить значний – теоретично-можливий гідроенергетичний потенціал малих річок України становить біля 12,5 млрд кВт·год (4,6 млн т у.п.), що складає 32% загального гідропотенціалу всіх річок України, технічно-досяжний – 8,3 млрд кВт·год (3 млн т у.п.). Слід відмітити, що оцінка теоретично-можливого і технічно-досяжного потенціалу обґрунтована винятково реальними геодезичними та гідрологічними даними для можливих створів малих водотоків України. Економічно-доцільний енергетичний потенціал малих водотоків України потребує більш детального обґрунтування. В умовах паливних та екологічних проблем в Україні, а також при врахуванні світового досвіду, він наближається до технічно-досяжного. Так, у розвинених країнах сьогодні масово почалися також процеси утилізації енергетичного потенціалу технічних систем водопостачання та водовідведення, спорудження енергооб'єктів на іригаційних каналах, масове впровадження мікроГЕС; такий напрям освоєння потенціалу малої гідроенергетики є перспективним і для України.

Першочерговий впроваджувальний потенціал малої гідроенергетики відповідає переважно наявності та перспективі серійного освоєння обладнання, найменшим капітальним затратам і термінам окупності, а також максимальним екологічним обмеженням.

Потенційні економічно-доцільні можливості малої гідроенергетики в Україні на найближчу перспективу оцінюються наступним чином:

- реконструкція та відновлення малих ГЕС загальною потужністю 135 МВт з річним обсягом виробництва електроенергії 440 млн кВт·год;
- будівництво нових малих ГЕС на р. Тиса та її притоках загальною потужністю 400 МВт (1410 млн кВт·год/рік);
- будівництво нових малих ГЕС на р. Дністер та її притоках загальною потужністю 560 МВт (1780 млн кВт·год/рік);
- будівництво нових децентралізованих малих ГЕС на малих водотоках, загальна потужність – 45 МВт, річний обсяг виробництва електроенергії – 120 млн кВт·год.

Програмою державної підтримки розвитку нетрадиційних та відновлюваних джерел енергії та малої гідро- і теплоенергетики був запропонований першочерговий впроваджувальний потенціал в обсязі біля 600 МВт, який відповідає перспективі освоєння серійного виробництва гідроенергетичного обладнання, найменшим капітальним затратам і термінам окупності:

- реконструкція гідроелектростанцій, що експлуатуються – 107 МВт;
- відновлення малих ГЕС – 31 МВт;
- спорудження малих ГЕС на існуючих водоймищах та іригаційних каналах – 12 МВт;
- використання енергії водотоків технічних і комунальних систем водопостачання та водовідведення – 8 МВт;
- спорудження малих ГЕС на нових створах річок у західних регіонах України – 460 МВт.

В умовах економічних проблем в Україні цей першочерговий потенціал залишається найбільш реальним на найближчі роки. Запропоновані обсяги відродження малої гідроенергетики орієнтовані в першу чергу на поетапну реконструкцію діючих малих ГЕС, першочергову відбудову законсервованих малих ГЕС із збереженими гідроспорудами та спорудження нових малих ГЕС, у тому числі на існуючих малих водотоках різного призначення.

При розгляді перспектив запровадження обладнання малої гідроенергетики важливим є врахування територіального розподілу ресурсів малих річок та проблем енергозабезпечення конкретних регіонів.

Прогнозні базові показники освоєння енергетичного потенціалу малих водотоків України до 2030 року наведені в таблиці 16.2.

Таблиця 16.2. Прогнозні базові показники виробництва електроенергії малими ГЕС в Україні на період до 2030 року

№	Прогнозні показники розвитку малої гідроенергетики	Одиниці виміру	Рівень розвитку малої гідроенергетики по роках				Всього
			2015	2020	2025	2030	
1.	Енергетичні показники						
1.1	Встановлена потужність	МВт	75	400	1000	2000	2000
1.2	Річне виробництво електроенергії	млн кВт·год/рік	307,5	1640	4100	8200	54537,2
1.3	Річна економія умовного палива	млн т у.п./рік	0,11	0,61	1,52	3,03	20,18
1.4	Обсяги заміщення природного газу	млн м ³	98,08	523,1	1307	2616	17395,8
2.	Економічні показники						
2.1	Питомі капіталовкладення	тис. грн./кВт	20	22	22	24,7	23,275
2.2	Обсяги фінансування	млн грн.	1500	7150	13200	24700	46550
3.	Екологічні показники						
3.1	Обсяги зменшення викидів діоксиду вуглецю	тис. т	204,8	1092	2731	5462	36320,7

Освоєння гідропотенціалу малих річок за допомогою малих ГЕС і мікроГЕС допоможе вирішити проблему поліпшення енергопостачання численних дрібних автономних споживачів. Найбільш ефективними є малі ГЕС, що будуються на вже існуючих гідротехнічних спорудах. Серйозна увага приділяється підвищенню економічної ефективності малих ГЕС за рахунок спрощення їх проектування, будівництва та експлуатації, типізації проектних рішень, стандартизації обладнання і повної автоматизації роботи ГЕС. Енергетичні установки використовують, як правило, потенціальну або кінетичну енергію річок.

Розвиток малої гідроенергетики в Україні забезпечить створення могутньої енергетичної бази для інтенсивного розвитку сільського господарства, при цьому вирішуватиметься цілий комплекс проблем в економічній, екологічній та соціальній сферах життєдіяльності та господарювання в сільській місцевості, в тому числі в районних центрах. Малі ГЕС, міні- та мікроГЕС можуть стати потужною основою енергозабезпечення для всіх регіонів Західної України, а для деяких районів Закарпатської та Чернівецької областей – джерелом повного самостійного енергозабезпечення.

Лекція 17

Енергетичні ресурси, основні напрями освоєння енергії довкілля

Теплова енергія ґрунту та ґрунтових вод, теплова енергія комунально-побутових стоків, методи утилізації. Енергетичні ресурси довкілля та перспективи використання в Україні.

Розрахунок енергетичного потенціалу довкілля, ефективність та перспективи використання теплових насосів для утилізації енергії довкілля в Україні.

До природних джерел теплоти довкілля належать атмосферне повітря, води річок, морів, верхнього шару ґрунту та ґрунтові води, до вторинних джерел теплоти довкілля відносяться поверхневі стічні води.

Біля поверхні Землі температура ґрунту та гірських порід визначається балансом теплової енергії, що надходить від Сонця, та тепловим випромінюванням земної поверхні. Роль термостабілізатора відіграє атмосфера Землі. Глибина проникнення добових коливань температури ґрунту становить від 35 до 100 см залежно від його властивостей та географічних умов. У середніх широтах глибина проникнення річних коливань температури складає 8-24 м. Вікові зміни температури поширюються до глибин більше 50 м і можуть зберігатися тисячі років. Теплова енергія, що надійшла від Сонця, акумулюється в шарі ґрунту та гірських порід на глибинах до нейтрального шару. Шар ґрунту між глибиною промерзання та нейтральним шаром може розглядатися як природний сезонний акумулятор теплової енергії, причому енергія, відведена у зимовий період, буде відновлюватися в теплий період року. Це стосується і ґрунтових вод, що насичують шар ґрунту та осадових порід.

Навколишнє середовище представляє інтерес як джерело енергії тоді, коли його температурний рівень трохи відрізняється від температури, потрібної споживачу, що, наприклад, характерно для повітряного опалювання приміщень. Залежно від пори року необхідна температура повітря в приміщенні і джерела енергії з навколишнього середовища звичайно відрізняються не більше ніж на 10-15°, а у виняткових випадках - до 35°.

Енергетичний рівень навколишнього середовища залежить від місця і часу. Вміст енергії в оточуючому нас просторі визначається головним чином сонячною радіацією, а також геотермальною енергією і енергією обертання у взаємозв'язку з гравітацією і в незначному ступені енергією тепла, що відходить, в результаті перетворення енергії твердого і ядерного палива. Частина сонячної енергії, що потрапляє на землю, в результаті біологічних процесів перетвориться в хімічно зв'язану енергію, яка потім поступово в процесі згорання виділяється у вигляді теплоти в навколишнє середовище. Як поглинач потоку енергії, що випромінюється навколишнім середовищем, виступає холодний космічний простір, що не відображає енергію.

Джерелом енергії з навколишнього простору (енергоносіями) служать ґрунт, ґрунтові і поверхневі води, повітря, рослини і споруди. Температурне поле навколишнього середовища неоднорідне по місцю і часу як зовні, так і усередині джерел енергії. Таке неоднорідне температурне поле, що виникає

через диференційований розподіл сонячної радіації на поверхні землі, залежить не тільки від географічних, але також від різних атмосферних умов, особливо від хмарності і атмосферних розрядів. Затіненість, викликана рослинами і спорудами, атмосферні течії і різні перешкоди розповсюдженню теплового потоку підвищують неоднорідність температурного поля. Залежно від наявності перешкод на розповсюдження теплоти в більшій або меншій мірі впливають річні і добові коливання опромінювання і випромінювання поверхні землі. Також нерівномірно поступає в навколишнє середовище відпрацьована теплота процесів перетворення енергії, що особливо помітно в промислових зонах, містах і на електростанціях.

За допомогою теплових насосів можна використовувати енергію навколишнього простору, що існує повсюди, перш за все в цілях опалювання приміщень. Проте ефективне використання теплових насосів передбачає облік доцільних умов експлуатації, пов'язаних з температурним полем джерел енергії. Застосування теплових насосів завжди вимагає не тільки витрат енергії на привід, але і додаткових джерел теплоти. Особливий інтерес представляють джерела теплоти для теплових насосів в тих випадках, коли дані джерела не можуть використовуватися звичайними способами, тобто температура яких є нижчою 45 °С. До таких джерел теплоти відносяться відпрацьована теплота і енергія навколишнього простору.

Навколишнє повітря досить чутливе до добових і річних температурних коливань, інші ж джерела енергії залежно від опору її розповсюдженню можуть значно слабкіше реагувати на ці чинники або взагалі не відчувати їх впливу. Таким чином, температурний рівень енергії навколишнього середовища залежить від різних зовнішніх умов, що впливають один на одного. При застосуванні теплових насосів не прагнуть до безпосереднього використання енергії навколишнього середовища, що є малоефективним джерелом, а прагнуть використовувати джерела з високим температурним рівнем, щоб досягти високого коефіцієнту перетворення завдяки невеликій різниці температур між джерелом тепла і теплоносієм установки.

Енергія глобального простору і, відповідно, місцевого навколишнього середовища створюється в основному двома потоками енергії: сонячною радіацією і відпрацьованою теплотою. Температурний рівень цих двох потоків при вході в простір перевищує температуру місцевого навколишнього середовища, тому рекомендують використовувати ці два потоки енергії з температурним рівнем, що перевищує температуру місцевого навколишнього середовища, для роботи теплових насосів перш ніж їх температура порівняється з навколишнім середовищем.

Оскільки потреба в теплоті за часом не завжди відповідає кількості теплоти, що є в навколишньому середовищі і доставляється від високотемпературних джерел теплоти, доцільно для зменшення невідповідності застосовувати низькотемпературні акумулятори. Використання таких акумуляторів дозволяє при відносно невеликих втратах теплоти створити високотемпературне теплове джерело, яке можна використовувати з високим коефіцієнтом перетворення в необхідний момент і забезпечити періодичний

режим експлуатації під час пікових навантажень.

Виходячи з вищевикладеного, для поліпшення умов використання енергії навколишнього середовища із застосуванням теплових насосів рекомендується:

- використовувати місцеві високотемпературні джерела енергії наприклад, ґрунтові і поверхневі води, ґрунт на певній глибині;
- використовувати зовнішні високотемпературні потоки енергії перед вирівнюванням їх температури з температурою навколишнього середовища (наприклад, сонячну радіацію за допомогою колекторів і абсорберів, відпрацьовану теплоту за допомогою теплообмінників);

акумулювати і періодично використовувати високотемпературні джерела навколишнього середовища в низькотемпературних акумуляторах (наприклад, ґрунтових акумуляторів, акумуляторів скидної води).

Теплова енергія ґрунту та ґрунтових вод. Теплова енергія ґрунту та ґрунтових вод в Україні може використовуватися для обігріву та вентиляції приміщень. Відбір теплової енергії від ґрунту може здійснюватися за допомогою ґрунтових теплообмінників різних типів. Температура теплоносія в ґрунтовому теплообміннику становить від мінус 5-7 до плюс 10-12°C. За допомогою теплових насосів ця енергія може використовуватися для виробництва теплоносія з температурою до 40-70°C. Досвід провідних країн свідчить, що енергію ґрунту найчастіше використовують в теплонасосних установках потужністю до 70 – 100 кВт, які обслуговують окремі невеликі будинки, головним чином садибні житлові будинки. В умовах України це можуть бути садибні будинки міст та сіл.

В поселеннях для влаштування ґрунтових теплообмінників можуть використовуватись земельні ділянки не зайняті дорогами та забудовою. Теоретичні ресурси теплової енергії ґрунту та ґрунтових вод розраховані виходячи з того, що на садибі площею 0,04 - 0,06 га розташований будинок площею забудови 50 – 120 м² та допоміжні будівлі площею 75% від розміру житлового будинку. В Україні експлуатується 9,3 млн. садибних будинків з загальною площею 515,8 млн. м². Для їх тепlopостачання можна було б влаштувати ґрунтові теплообмінники з теоретичним запасом теплової енергії 525855 млн. кВт.год. на рік. Це і є теоретичні ресурси теплової енергії ґрунту та ґрунтових вод, що значно перевищують потреби енергії для опалення садибних житлових будинків.

В Україні при теперішніх економічних умовах використовувати теплові насоси для опалення садибних будинків економічно доцільно лише при заміщенні використання відносно дорогого рідкого пального палива або електроенергії. Крім того в негазифікованих поселеннях для заможних сімей, котрі прагнуть створити комфортні умови проживання в своєму домі, доцільним і вигідним може стати використання теплових насосів замість опалювальних котлів, які споживають вугілля, торф або їх брикети. При існуючому співвідношенні цін на паливо та електроенергію заміщення котлів зі споживанням природного газу або дров на електроприводні теплові насоси є економічно недоцільним.

Теплова енергія комунально-побутових стоків. Основними джерелами низькопотенціальної скидної теплоти техногенного походження є вентиляційні викиди та охолоджуюча вода технологічного та енергетичного обладнання підприємств, промислові та комунально-побутові стоки. Досвід провідних країн свідчить, що найбільш ефективним є використання теплової енергії стічних вод за допомогою теплових насосів. В Україні каналізаційні системи централізованого відведення комунально-побутових стоків функціонують в 427 містах, 515 селищах міського типу, 856 селах. Питомий обсяг комунально-побутових стоків становить від 0,15 до 0,4 куб. м на одного жителя за добу. Цей показник значною мірою залежить від доступності води та соціально-економічних умов в окремих регіонах. Завдяки масовому встановленню лічильників та впровадженню заходів щодо раціоналізації споживання гарячої і холодної води відбувається поступове скорочення обсягів комунально-побутових стоків. В Україні загальний річний об'єм комунально-побутових стоків становить близько 3740 млн. м³. Температура стоків становить 12 - 20 °С залежно від сезону.

Життєдіяльність населення України супроводжується щорічним скидом більше 5000 ПДж теплової енергії в оточуюче середовище. Повторне використання всієї цієї енергії неможливе. Утилізація за допомогою теплових насосів можлива лише у випадках, коли концентрований скид низькопотенціальної енергії знаходиться поряд із споживачем теплової енергії невисокої температури (35...95 °С).

Основними джерелами низькопотенціальної скидної теплоти техногенного походження є вентиляційні викиди та охолоджуюча вода технологічного та енергетичного обладнання підприємств, промислові та комунально-побутові стоки. Досвід провідних країн свідчить, що найбільш ефективним є використання теплової енергії стічних вод за допомогою теплових насосів. В Україні каналізаційні системи централізованого відведення комунально-побутових стоків функціонують в 427 містах, 515 селищах міського типу, 856 селах. Питомий обсяг комунально-побутових стоків становить від 0,15 до 0,4 куб. м на одного жителя за добу. Цей показник значною мірою залежить від доступності води та соціально-економічних умов в окремих регіонах. Завдяки масовому встановленню лічильників та впровадженню заходів щодо раціоналізації споживання гарячої і холодної води відбувається поступове скорочення обсягів комунально-побутових стоків. В Україні загальний річний об'єм комунально-побутових стоків становить близько 3740 млн. м³. Температура стоків становить 12 - 20 °С залежно від сезону.

Потужні теплонасосні станції теплопостачання можуть розміщатися біля відвідних каналів очищених комунально-побутових вод. Крім того можливе створення окремих теплонасосних установок для утилізації теплоти умовно чистих стоків басейнів, спортивних комплексів, пральних комбінатів.

Напрями та стан використання енергії довкілля. Енергія сонячного випромінювання, тепло надр Землі та енергія спожитих паливно-енергетичних

ресурсів після виконання корисної роботи розсіюється у навколишньому природному середовищі у вигляді низькопотенціальної теплоти. Температурний рівень цієї теплоти не перевищує 20-30°C, що робить неможливим її пряме повторне використання для задоволення існуючих потреб. Підвищення температурного рівня низькопотенціальної теплоти може здійснюватись за допомогою теплових насосів (ТН) за рахунок використання механічної (електричної) енергії, при цьому на 1 кВт·год затраченої електроенергії може вироблятися у 3,5-4,5 рази більше теплоти з параметрами, достатніми для теплопостачання.

Джерелами низькопотенціальної теплоти, що забезпечують енергетично ефективну та економічно доцільну роботу теплонасосних установок, можуть бути:

- ґрунтова вода, яка зберігає протягом року постійну температуру на рівні плюс 8-12°C;
- підземний ґрунт на глибині від 2 до 50 м при температурі плюс 10-14°C;
- морська вода з мінімальною температурою в зимовий період плюс 5-8°C;
- технічна вода систем охолодження ТЕС, АЕС, промислових та інших енергоустановок;
- стічні води очисних споруд населених пунктів та ін.;
- атмосферне повітря.

Теплова енергія ґрунту і ґрунтових вод може використовуватися для обігріву та вентиляції приміщень. Відбір теплової енергії від ґрунту можна здійснювати за допомогою ґрунтових теплообмінників різних типів. Температура теплоносія в ґрунтовому теплообміннику становить від мінус 5-7 до плюс 10-12°C. За допомогою теплових насосів ця енергія може використовуватися для виробництва теплоносія з температурою до 40-70°C. Досвід провідних країн свідчить, що енергію ґрунту найчастіше використовують у теплонасосних установках потужністю до 70-100 кВт, які обслуговують окремі невеликі будівлі, головним чином садибні житлові будинки. В умовах України це можуть бути індивідуальні садибні будинки міст і сіл.

Застосування теплових насосів є найбільш перспективним у комбінованих схемах спільно з іншими технологіями використання відновлюваних джерел енергії (сонячні, вітрові, біоенергетичні) та в локальних системах. Так, ґрунтові теплові насоси тепловою потужністю до 16 кВт (ККД до 6%) застосовуються для опалювання будівель і кондиціонування.

Теплонасосна система теплохолодопостачання, що працює з використанням низькопотенціальних ресурсів теплоти довкілля, є однією з найбільш енергетично ефективних технологій теплопостачання. Переваги теплонасосних установок порівняно з традиційними системами пов'язані не тільки зі значними скороченнями витрат первинних енергоносіїв та екологічною чистотою, але й з можливістю підвищення ступеня автономності систем життєзабезпечення будівель. Теплонасосні системи встановлюються в громадських будівлях, приватних будинках і на промислових об'єктах. Застосування теплових насосів для опалення показало, що навіть газові

котельні не в змозі економічно конкурувати з тепловими насосами, які, до того ж, вигідніші з погляду екології. В результаті теплонасосні установки стали стрімко витіснити інші способи теплопостачання.

Швидкими темпами розвиваються системи теплопостачання житлових і громадських будівель із джерелом низькопотенційної та високопотенційної теплоти (ДНТ, ДВТ) типу ґрунт-вода. Розроблені високоефективні технології і технічні засоби відбору теплоти ґрунту. Діє ефективна система штрафів (за викид CO_2 при спалюванні палива) і заохочень за використання ДНТ для теплопостачання.

У Швеції з початку 80-х років розвиток теплонасосних установок відбувається дуже інтенсивно. У цій країні характерне використання крупних установок тепловою потужністю більше 30 МВт. Джерелом низькопотенційної теплоти є в основному очищені стічні води, морська вода і скидна вода промислових підприємств. Серед цих теплонасосних установок найбільші розташовані в містах Мальме (40 МВт), Упсала (39 МВт) і Еребру (42 МВт). У Швеції 70% потреб у теплі забезпечується тепловими насосами. У Стокгольмі 30% всього опалення міста забезпечується геотермальними тепловими насосами загальною потужністю 320 МВт за рахунок використання в якості ДНТ води Балтійського моря. Ця установка, що розташована на баржах біля берега, охолоджує взимку морську воду від 4 до 2°C. Собівартість теплоти від цієї установки на 20% нижча за собівартість теплоти від котельних.

У Німеччині в експлуатації знаходяться сотні тисяч теплонасосних установок, які використовуються у водяних, а також у повітряних системах опалення і кондиціонування. Переважають теплові насоси з електроприводом. Крім того, застосовують сотні теплонасосних установок великої потужності з приводом від дизельних і газових двигунів. Джерелами теплоти служить повітря (зовнішнє і витяжне), ґрунт, вода та ін. Великі теплові насосні установки працюють, як правило, в системах централізованого теплопостачання. Побудовано декілька десятків абсорбційних теплових насосів тепловою потужністю до 4 МВт. У даний час в Німеччині виділяється найкрупніша серед розвинених країн державна дотація з бюджету: за 1 кВт теплової потужності введеного в експлуатацію теплового насоса виплачується 400 марок. І це при тому, що за виробництвом економічних індивідуальних котлів на рідкому і газоподібному паливі для централізованого та індивідуального теплопостачання Німеччина займає одне з перших місць у світі. На сьогодні в Німеччині щорічно встановлюють 10 000 теплових насосів.

У Швейцарії перші теплонасосні установки були побудовані ще в 30-х роках. Зараз в експлуатації знаходяться десятки тисяч теплонасосних установок в основному невеликої теплової потужності. Побудовані великі установки для роботи в системах централізованого теплопостачання. Найбільшою з них є установка в місті Лозанні тепловою потужністю 7,0 МВт з електроприводом. Швейцарською національною програмою енергозбереження передбачається за три найближчі роки втричі збільшити виробництво теплоти тепловими насосами. Для реалізації цієї програми виділяються значні дотації.

У Японії щорічно виробляється близько 3 млн теплових насосів різної потужності. У Росії 0,1% потреб у теплі забезпечується тепловими насосами.

Загальний об'єм продажу ТН, що випускаються у світі, складає 125 млрд доларів США, що перевищує світовий об'єм продажів озброєння в 3 рази.

Структура діючого парку теплових насосів за тепловими потужностями в різних країнах дуже розрізняється. Якщо для Японії середня потужність теплового насоса не перевищує 10 кВт, то в Швеції вона наближається до 100 кВт.

Теплова потужність світового парку теплових насосів за мінімальною оцінкою складає 250 тис. МВт, річне виробництво теплоти – 1 млрд Гкал, що відповідає заміщенню органічного палива в об'ємі до 80 млн тонн умовного палива. Світовий досвід показує, що енергетичні та екологічні проблеми приводять до необхідності широкого застосування теплових насосів.

За прогнозами Світового Енергетичного Комітету до 2020 року частка геотермальних теплових насосів у теплопостачанні (комунальному і виробничому) в розвинених країнах складе 75%. Цей прогноз успішно підтверджується. В даний час у світі працює близько 20 млн теплових помп різної потужності – від декількох кіловат до сотень мегават.

Використання тепла верхніх шарів землі із застосуванням геотермальних технологій і теплових насосних установок для підвищення температурного потенціалу геотермального теплоносія дозволяє забезпечити теплом окремі будівлі і значно розширити економію палива за рахунок геотермальних джерел. Застосування теплових насосів дозволяє використовувати в якості теплоджерела верхні шари землі, а також поверхневі, ґрунтові та підземні води.

Досвід експлуатації мільйонів теплонасосних установок у різних країнах світу підтверджує, що на сьогоднішній день вони є альтернативою енерговитратним теплогенераторам, що традиційно використовуються у децентралізованих системах тепло- і холодопостачання житлово-комунального сектора. За допомогою теплових насосів можна використовувати енергію навколишнього простору, що існує повсюди, перш за все в цілях опалювання приміщень. Проте ефективне використання теплових насосів передбачає облік доцільних умов експлуатації, пов'язаних з температурним полем джерел енергії.

Енергетичні ресурси довкілля України

Енергетичні ресурси довкілля України включають у себе використання теплової енергії повітря, ґрунту та ґрунтових вод, а також низькопотенціальної теплової енергії стічних вод.

При визначенні кількісних показників споживання низькотемпературних теплових ресурсів у геокліматичних умовах різних регіонів України необхідно враховувати, що інтенсивна експлуатація може привести до зниження температури ґрунтового масиву та їх швидкого виснаження. Необхідно підтримувати такий рівень використання енергії довкілля, який дозволив би експлуатувати джерело енергетичних ресурсів без шкоди для навколишнього середовища. Для кожного регіону України існує певна максимальна

інтенсивність видобування геотермальної енергії, яку можна підтримувати тривалий час.

Для розрахунку теоретично-можливих ресурсів низькопотенціальної теплової енергії ґрунту та ґрунтових вод приймається, що ґрунтові теплообмінники закладаються в шарі ґрунту від глибини промерзання ґрунту (1,2 м) до глибини залягання нейтрального шару (18 м); в опалювальний період ґрунтовий теплообмінник буде охолоджувати ґрунт на глибині промерзання від 20°C до 0°C, а в літній період ґрунт прогрівається знову до 20°C. Зміна середньої температури ґрунту у ґрунтовому теплообміннику за опалювальний сезон становитиме 10°C. Можливість заморожування ґрунту та ґрунтових вод не враховується.

У поселеннях для влаштування ґрунтових теплообмінників можуть використовуватися земельні ділянки, не зайняті дорогами та забудовою. Теоретичні ресурси теплової енергії ґрунту та ґрунтових вод розраховані виходячи з того, що на садибі площею 0,04-0,06 га розташований будинок площею забудови 50-120 м² та допоміжні будівлі площею 75% від розміру житлового будинку. В Україні експлуатується 9,3 млн садибних будинків із загальною площею 515,8 млн м². Для їх теплопостачання можна було б влаштувати ґрунтові теплообмінники з теоретичним запасом теплової енергії біля 64,5 тис. т у.п. на рік. Це і є теоретично-можливі ресурси теплової енергії ґрунту та ґрунтових вод, що значно перевищують потреби енергії для опалення садибних житлових будинків.

Глибина занурення систем видобування теплових ресурсів верхніх шарів ґрунту, тобто ґрунтових теплообмінників чи свердловин, як правило, повинна бути нижча рівня кореневої системи рослин. Теплофізичні властивості ґрунтів приймаються для окремих областей, виходячи з переважаючого типу ґрунтів та підстилаючих порід з урахуванням можливого зволоження в геологічних та кліматичних умовах відповідних областей.

Загальний річний технічно-досяжний енергетичний потенціал енергії доквілля в Україні є еквівалентним 18 млн т у.п., а його використання дозволяє заощадити біля 15,6 млрд м³ природного газу. Енергетичний потенціал верхнього шару ґрунту розрахований з урахуванням глибини свердловин 100 м, щільності будівництва, щільності населеного пункту і теплофізичних властивостей підземних шарів землі. Енергетичний потенціал повітря розрахований із врахуванням площі відповідного міста, теплофізичних властивостей повітря, перепаду температур та середньої швидкості повітря для певної місцевості.

Ефективність та перспективи використання теплових насосів для утилізації енергії доквілля в Україні

В Україні на даний час експлуатуються теплонасосні системи теплопостачання, які укомплектовані імпортованими тепловими насосами або вітчизняними холодильними установками, що експлуатуються в режимі теплового насосу.

Сферами використання теплових насосів можуть бути: створення в енергетиці теплонасосних станцій потужністю 20-100 МВт для теплопостачання міст, теплонасосних станцій та об'єктних теплонасосних установок потужністю від 1 до 20 МВт в комунальному господарстві, систем обігріву та гарячого водопостачання окремих будинків в населених пунктах, технологічний нагрів та гаряче водопостачання в промисловості і сільському господарстві, комбіноване виробництво холоду та теплової енергії в переробній промисловості та сільському господарстві.

Аналіз зарубіжного досвіду, попереднє опрацювання схем використання теплових насосів в різних галузях економіки України та проведені оцінки їх енергетичної, економічної та екологічної ефективності свідчать, що такі системи можуть бути дієвим засобом зменшення імпорту енергоносіїв (природного газу, нафти і нафтопродуктів). В умовах обмежених ресурсів природного газу використання побутових теплових насосів для обігріву будинків може розглядатися як альтернатива газифікації.

Враховуючи наявний науково-технічний і виробничий потенціал України та актуальність проблеми зменшення споживання палива в місцевих системах теплопостачання, основними завданнями щодо широкого використання теплових насосів слід вважати такі:

- завершення розробки та освоєння виробництва теплових насосів виробничого та побутового призначення;

- розробку нормативних документів щодо використання теплових насосів в системах теплопостачання;

- створення демонстраційних систем теплопостачання в комунальному господарстві та енергетиці;

- створення теплонасосних систем теплозабезпечення технологічних процесів в промисловості;

- створення економічних умов, що стимулюють використання теплових насосів.

Підприємства та організації України мають достатній потенціал для науково-технічного забезпечення створення та організації виробництва теплових насосів. Провідними в цій сфері є ВАТ "Нікмас" ("ВНДІКомпресормаш") м. Суми, АТ "Рефма" м. Мелітополь, Одеська державна академія холоду, Інститут технічної теплофізики НАН України м. Київ, ЦНДП "Тайфун" м. Миколаїв, НДІ "Кондиціонер" м. Харків.

Практичний досвід створення систем теплопостачання з використанням теплових насосів мають Кримська філія ДержНДІПКТИ "Енергоперспектива", інститути КиївЗНДІЕП, ПІНЕІ Академії будівництва України, Інститут технічної теплофізики НАН України, ДНДІ НЕЕ, УНДІ МЕСГ, НВП "Інсолар" та інші організації.

Крім існуючих підприємств холодильного машинобудування Україна має достатні потужності високотехнологічних виробництв, придатних для організації випуску теплових насосів не тільки для внутрішніх потреб, але й для експорту. Підприємства військово-промислового комплексу можуть освоїти

виробництво необхідного спеціального устаткування та засобів автоматизації для теплових насосів та теплонасосних систем теплопостачання.

В найближчі роки перспективним є розробка та освоєння виробництва побутових теплонасосних установок класу “повітря-вода” для нагріву 0,3-1 м³ гарячої води за добу. Потреба в таких установках оцінюється у 2-3 млн. штук. Для оснащення систем опалення односімейних житлових будинків необхідна розробка та освоєння виробництва побутових теплових насосів тепловою потужністю від 3 до 30 кВт класів “повітря-вода”, “вода-вода”, “вода-повітря”, потреба в яких оцінюється у 500-800 тис. штук. В південних областях України, де необхідне кондиціонування приміщень, можуть одержати розповсюдження опалювально-охолоджуючі теплові насоси – реверсивні кондиціонери потужністю 1-20 кВт.

Для теплопостачання невеликих підприємств, баз відпочинку, санаторіїв, лікарень, шкіл, адміністративних будинків у негазифікованих районах України будуть використовуватись теплонасосні установки тепловою потужністю від 20 до 110 кВт, які можуть бути створені на основі базових елементів холодильної техніки, що випускаються промисловістю України. Потреба в таких установках становить до 100 тис. штук. Для забезпечення ефективного використання теплових насосів необхідно відпрацювати допоміжне обладнання, розробити раціональні режими експлуатації теплових насосів і традиційних теплогенеруючих установок, що будуть знаходитися у резерві.

На даний час використання теплових насосів для виробничих потреб може бути економічно доцільним при комбінованому виробництві холоду та теплової енергії на підприємствах переробної промисловості, сільського господарства. Для цього доцільне створення та організація виробництва компресійних та абсорбційних теплонасосних установок холодопродуктивністю від 6 до 2000 кВт з використанням їх для одночасного охолодження або технологічного кондиціонування і нагріву води для виробничих та санітарно-технічних потреб.

В умовах обмежених фінансових можливостей підприємств для забезпечення прискореного впровадження систем комбінованого виробництва холоду та теплоти необхідно розробити більш доступний комплекс заходів для переведення існуючих холодильних установок на роботу за теплонасосним циклом або з частковою утилізацією теплоти від системи охолодження.

В економічних умовах України створення об'єктів з використанням теплових насосів було обмеженим тому, що їх впровадження було не вигідним в порівнянні з котельнями, особливо при споживанні природного газу за дотаційними цінами. На найближчу перспективу найбільш вірогідною сферою, що може забезпечити окупність вкладень, є використання теплових насосів в місцевих системах теплопостачання для витіснення споживання рідкого котельно-пічного палива та зменшення використання електроенергії в системах електроопалення.

Таким чином, в Україні є значні ресурси низькопотенціальної теплоти довкілля природного та техногенного походження; економічно-доцільні ресурси якої становлять 23860 МВт. Сферами використання теплових насосів

можуть бути: створення в енергетиці теплонасосних станцій потужністю 20-100 МВт для теплопостачання міст, теплонасосних станцій та об'єктних теплонасосних установок потужністю від 1 до 20 МВт в комунальному господарстві, систем обігріву та гарячого водопостачання окремих будинків в населених пунктах, технологічний нагрів та гаряче водопостачання в промисловості і сільському господарстві, комбіноване виробництво холоду та теплової енергії в переробній промисловості та сільському господарстві.

Лекція 18

Методи та засоби освоєння енергії довкілля. Теплові насоси

Методи та засоби освоєння енергії довкілля. Основні техніко-економічні показники теплових насосів та області їх застосування. Рівень ефективності та перспективи використання теплових насосів для утилізації енергії довкілля в Україні.

Методи та засоби освоєння енергії довкілля

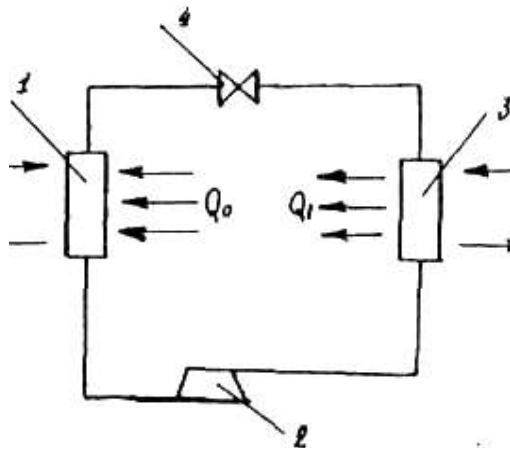
Основні техніко-економічні показники теплових насосів та області їх застосування

Принцип дії теплового насоса відомий більше 100 років. Винахід теплового насоса належить лордові Кельвіну. Термодинамічний тепловий насос (ТН) ідентичний холодильній машині. Принципова відмінність теплового насоса від холодильника полягає в тому, що холодильник призначений для охолодження, а тепловий насос – для нагрівання газу, води та інших теплоносіїв. Принцип дії теплового насоса впливає з робіт та опису циклу Карно, опублікованого в 1824 р. Практичну теплонасосну систему створив лорд Кельвін у 1852 р. Він показав, як можна холодильну машину ефективно використовувати для опалення. Запропонований Кельвіном тепловий насос використовує повітря як робоче тіло. Навколишнє повітря засмоктується в циліндр, розширюється і завдяки цьому охолоджується, а потім проходить через теплообмінник, де нагрівається зовнішнім повітрям. Після стискання до атмосферного тиску повітря, нагріте до температури вище навколишньої, з циліндра надходить у приміщення для його обігрівання.

Теплові насоси одержали швидкий розвиток лише в 20-30-і роки ХХ століття, коли в Англії в 1930 р. була створена перша теплонасосна установка Холдейна, що використовувала тепло навколишнього повітря для опалення і гарячого водопостачання будинків.

Перша велика теплонасосна установка в Європі була введена в дію в м. Цюріх у 1938-1939 р., в якій використовувалося тепло річкової води, ротаційний компресор і холодоагент. Вона забезпечувала опалення ратуші водою із температурою 60°C при потужності 175 кВт і була оснащена системою акумулювання тепла з електронагрівачем для покриття пікового навантаження. У літні місяці установка працювала на охолодження.

Теплові насоси за допомогою механічної або електричної енергії трансформують теплову енергію низького потенціалу в теплову енергію більш високих параметрів. Принципова схема теплового насоса наведена на рис. 18.1.



1 – випарник; 2 – компресор; 3 – конденсатор; 4 – дросельний вентиль.

Рисунок 18.1. Принципова схема теплового насоса

У випарнику (1) низькотемпературний теплоносії (фреон) має тиск, при якому температура кипіння його нижча за температуру навколишнього середовища – води або повітря. Цей тиск підтримується за допомогою компресора (2). Під час пароутворення теплоносії забирає тепло Q_0 від середовища, яке має більшу температуру (грунту, води або повітря), і поступає в компресор, де пари фреону стискаються і нагнітаються у конденсатор (3). При цьому витрачається робота A_1 . Під час стискання температура і тиск теплоносія підвищуються, після чого тепло Q_1 передається середовищу, яке має вищу температуру, ніж вода або повітря.

Тепло передається вторинному теплоносію, який циркулює через конденсатор, де завдяки відведенню тепла при високому тиску теплоносії конденсується. Конденсат високого тиску проходить через дросельний вентиль (4), де відбувається часткове утворення пари і зниження температури та тиску до їх значення у випарнику.

Такі цикли у теплонасосній установці постійно відтворюються. Ефективність ТНУ характеризується відношенням тепла Q_1 , отриманого при температурі T , до затраченої механічної роботи A_1 , яке прийнято називати коефіцієнтом перетворення $K_n = Q_1/A_1$. Він завжди більший від одиниці, оскільки в процесі виконується рівність: $Q_1 = Q_0 + A_1$.

Тепловий насос здійснює передачу внутрішньої енергії від енергоносія з низькою температурою до енергоносія з вищою температурою. Оскільки за другим основним законом термодинаміки тепла енергія без яких-небудь зовнішніх дій може переходити тільки з високого температурного рівня на нижчий, для здійснення теплонасосного циклу необхідно використовувати приводну енергію. Тому процес передачі енергії в напрямі, протилежному природному температурному натиску, здійснюється в круговому циклі.

Енергоносії, що поставляють теплову енергію з низькою температурою для здійснення теплонасосного циклу, називають джерелами теплоти. Вони віддають теплову енергію шляхом теплопередачі, конвекції і випромінювання. Енергоносії, що сприймають у теплонасосному циклі теплову енергію підвищеного потенціалу, називають приймачами тепла. Вони сприймають

теплову енергію шляхом теплопередачі, конвекції і випромінювання. Енергоносій, що служить джерелом теплоти, поступає у випарник, де випаровується рідкий холодоагент. Теплота випаровування, необхідна для цього, відбирається від джерела тепла, оскільки випаровування холодоагенту відбувається при низькій температурі.

У круговому циклі пари холодоагенту, що випарувався, всмоктуються компресором і стискаються до високого тиску. При стисненні їх температура підвищується, що створює можливість віддачі теплової енергії теплоприймачу. Пари холодоагенту при підвищеному тиску поступають у конденсатор, через який протікає енергоносій, що служить приймачем тепла. Його температура нижча за температуру парів холодоагенту при підвищеному тиску. При конденсації парів виділяється тепла енергія, що сприймається тепло приймачем. З конденсатора рідкий холодоагент через регулюючий вентиль (дросельний клапан) поступає назад у випарник, і круговий цикл замикається. У регулюючому вентилі високий тиск, при якому знаходиться холодоагент на виході з конденсатора, знижується до тиску у випарнику. Одночасно знижується його температура.

Таким чином, за допомогою теплового насоса можлива передача теплової енергії від джерела теплоти з низькою температурою до приймача теплоти з високою температурою при підводі ззовні механічної енергії для приводу компресора (приводної енергії). Схема холодильної машини і теплового насоса відрізняється тільки призначенням. Теплопродуктивність (теплова потужність) теплового насоса складається із двох складових: теплоти, одержаної випарником від джерела теплоти, і приводної потужності, за допомогою якої одержана тепла енергія піднімається на більш високий температурний рівень.

Одиничні потужності теплових насосів становлять від декількох Вт до декількох МВт; привід компресорів здійснюється як електродвигунами, так і тепловими двигунами внутрішнього згорання.

Класифікація теплових насосів. Теплові насоси класифікують за наступними ознаками:

- за принципом роботи;
- за джерелами низькопотенціального тепла;
- за сполученням використовуваного низькопотенціального тепла із нагрітим у теплових насосах середовищем;
- за видами затрачуваної енергії.

За принципом роботи теплові насоси поділяються на:

- парокompресійні теплові насоси;
- теплові насоси абсорбційного типу;
- гібридні теплові насоси;
- термоелектричні теплові насоси.

За джерелами низькопотенціального тепла теплові насоси поділяються на такі, що працюють від:

- зовнішнього повітря;
- поверхневих вод (ріка, море, озеро);
- підземних вод;

- ґрунтів;
- сонячної енергії;
- низькопотенціального тепла штучного походження (скидні води, тепло вентиляційних систем, нагріті води або інші рідини технологічного процесу та ін.).

За сполученням використовуваного низькопотенціального тепла із середовищем, що нагрівається в теплових насосах, розрізняють наступні варіанти:

- повітря-повітря;
- повітря-вода;
- ґрунт-вода;
- ґрунт-повітря;
- вода-повітря;
- вода-вода.

За видами затрачуваної енергії розрізняють теплові насоси, що використовують електроенергію (найчастіше), паливо того або іншого виду, вторинні джерела енергії.

У світовій практиці для перетворення низькопотенціальної теплоти найбільше поширення одержали парокомпресійні теплові насоси з електричним приводом і сорбційні – з тепловим приводом.

У тепловому абсорбційному насосі механічний компресор замінений термічним у вигляді додаткового циркуляційного контуру розчину з генератором (кип'ятильником) і абсорбером. Замість електричної приводної енергії, яка підводиться до компресійних теплових насосів із електроприводом, до генератора підводять теплову енергію. Для обох процесів використовуються за допомогою випарника джерела енергії у вигляді відпрацьованої теплоти або енергії навколишнього середовища.

Конструкції теплових насосів.

Парокомпресійні теплові насоси. Конструкція парокомпресійного теплового насоса включає два теплообмінні апарати – випарник, у якому відбувається випаровування рідкого холодильного агенту за рахунок підведення теплоти при невисокому тиску від середовища з низьким потенціалом, і конденсатор, у якому відбувається конденсація пароподібного холодильного агенту при підвищеному тиску за рахунок віддачі теплоти теплоприймачу. Оскільки випарник і конденсатор мають різний тиск холодильного агенту, то для відсмоктування з випарника передбачається використання компресора, призначеного для стискання парів холодильного агенту до тиску конденсації. Зниження тиску конденсату, який надходить із конденсатора у випарник, забезпечує дросельний вентиль, при проходженні через який тиск і температура холодильного агенту знижуються з частковим випаровуванням холодильного агенту без підведення теплоти ззовні. Компресійний паро-рідинний тепловий насос складається з чотирьох основних елементів: компресора, конденсатора, випарника й терморегулюючого вентиля. Контур теплового насоса заповнений легкокиплячим холодильним агентом, для якого температура навколишнього середовища є настільки високою, що у випарнику починається

кипіння рідкого холодоагенту. Привід компресора здійснюється за рахунок стороннього джерела енергії, яким найчастіше є електрична енергія.

Теплові насоси абсорбційного типу. Одним із основних недоліків теплових насосів парокомпресійного типу є значна споживча потужність компресора; при цьому немає суттєвої різниці у використанні як приводу компресора електричного двигуна чи двигуна внутрішнього згорання. Зменшення впливу цього недоліка має місце в тепловому насосі абсорбційного типу.

Основна відмінність абсорбційного теплового насоса від парокомпресійного полягає у відсутності компресора, замість чого використовується термокомпресор, який складається з рідинного насоса, дросельного вентиля і двох теплообмінних апаратів – абсорбера та генератора. Абсорбер виконує функції всмоктувального трубопроводу, відсмоктуючи холодильний агент із випарника теплового насоса і підтримуючи у випарнику низький тиск. В абсорбері, який охолоджується зовнішнім теплоносієм, відбувається поглинання холодильного агента (аміак NH_3) абсорбентом (водою) і перекачування утвореного насиченого водно-аміачного розчину насосом до генератора. Генератор, у який подається теплота від зовнішнього джерела, виконує функції нагнітального трубопроводу компресора, де відбувається випарювання холодильного агента з абсорбенту і постійне підживлення конденсатора теплового насоса холодильним агентом при високому тиску.

Гібридні (компресійно-резорбційні) теплові насоси. Компресійно-резорбційні теплові насоси – це гібридні теплові насоси, в яких використовуються переваги парокомпресійних та абсорбційних насосів і які є найбільш перспективними для децентралізованого теплопостачання. Під поняттям резорбції розуміється процес абсорбції при високому тиску.

У випарнику компресійно-резорбційного теплового насоса при низькому тиску і підведенні низькопотенційної теплоти Q_e відбувається випарювання аміаку із насиченого водно-аміачного розчину. Низький тиск у випарювачі підтримується за рахунок постійного відсмоктування із нього парів аміаку компресором, до якого підводиться енергія W_k . Двокомпонентна пара із дуже високою концентрацією аміаку (до 99%) стискається компресором і нагнітається під тиском у конденсатор-резорбер. Випарений у випарнику слабкий водно-аміачний розчин нагнітається насосом у резорбер через теплообмінник, де нагрівається зустрічним потоком насиченого міцного розчину. При резорбції парів аміаку в резорбері виділяється теплота $Q_{рез}$. Насичений міцний розчин із резорбера охолоджується в теплообміннику, дроселюється і надходить у випарник.

Термоелектричні теплові насоси. Для теплових насосів також можна застосовувати термоелектричний метод, використовуючи відкритий у 1834 р. ефект Пельтьє, який полягає в тому, що в місцях з'єднання двох різних електричних провідників при проходженні постійного струму виникає термопара, причому залежно від напрямку струму відбувається нагрів або охолодження. Фізичний процес роботи термоелектричного теплового насоса обґрунтував Іоффе, виходячи з передумови, що вільні електрони в провідниках

із різних матеріалів мають різну енергію при однаковій температурі. При проходженні струму електрони із високою енергією переходять з одного провідника в інший, де енергія електронів нижча. Частина власної підвищеної енергії передається на наявні електрони, у зв'язку з чим підвищується температура в місцях спайки. Зворотній процес протікає у холодному з'єднанні. Сам по собі ефект Пельтьє є зворотнім процесом. Термопари можуть різними способами об'єднуватися в термоелектричні батареї. Для виготовлення таких батарей потрібна складна технологія, при цьому важливо витримати паралельність у плані, щоб досягти високої теплопровідності з'єднань із будівельними конструкціями, що виконують роль теплопередавачів.

Таким чином, тепловий насос в одній частині виділяє, а в іншій – поглинає теплоту за рахунок електричної енергії. Якщо змінити напрям струму, то насос працюватиме у зворотному режимі, тобто частини, в яких відбувається виділення і поглинання теплоти, поміняються місцями. Такі теплові насоси можна успішно використовувати для терморегуляції житлових та інших приміщень. Взимку насоси нагрівають повітря в приміщенні та охолоджують його на вулиці, а влітку, навпаки, охолоджують повітря в приміщенні та нагрівають на вулиці.

Термоелектричні теплові насоси мають наступні переваги:

- відсутні механічні рухомі деталі;
- немає зносу;
- теоретично не потрібний догляд;
- тривалі терміни служби;
- простота переходу із режиму нагріву на режим охолодження шляхом перемикання полюсів;
- безшумність у роботі.

Разом із тим, термоелектричні теплові насоси мають досить серйозні недоліки:

- значно нижчий коефіцієнт перетворення, ніж у компресійних теплових насосів;
- висока вартість матеріалу напівпровідників;
- необхідність застосування дорогих випрямлячів;
- висока теплопровідність у відключеному положенні.

Напрями використання теплових насосів. Теплові насоси дозволяють одночасно вирішувати такі проблеми, як енергозбереження, зменшення ендогенного впливу на довкілля, економія енергетичних ресурсів і поліпшення умов роботи теплоенергетичних виробництв.

Джерелами низькопотенційної теплоти, які забезпечують енергетично ефективну та економічно доцільну роботу теплонасосних установок, можуть бути:

- ґрунтова вода, яка зберігає протягом року постійну температуру на рівні плюс 8 - плюс 12°C;
- підземний ґрунт на глибині від 2 до 50 м при температурі плюс 10 – плюс 14°C;
- морська вода з мінімальною температурою в зимовий період плюс 5 – плюс 8°C;

- зовнішнє повітря з температурою в зимовий період до мінус 3 – мінус 5°C;

- технічна вода систем охолодження установок;
- скидні промислові низькотемпературні стоки і повітряні викиди підприємств;

- стічна вода очисних споруд населених пунктів;

- теплота молока на молочно-тваринних фермах тощо.

До переваг теплових насосів можна віднести:

- зменшення витрат на транспортування палива;

- зниження капіталовкладень у теплові мережі;

- зниження витрат на експлуатацію теплових мереж;

- можливість повної автоматизації систем теплопостачання.

Однією з найважливіших особливостей теплонасосних установок є їх універсальність відносно виду використаної енергії (електричної, теплової). Це дозволяє оптимізувати паливний баланс енергетичного джерела шляхом заміщення більш дефіцитних енергоресурсів менш дефіцитними.

Ще однією перевагою теплонасосних установок є широкий діапазон потужностей (від частки кіловат до десятків тисяч кіловат), який перекриває потужності будь-яких існуючих теплових джерел, у тому числі малих і середніх ТЕЦ.

Установку теплового насоса необхідно розглядати як комплексне рішення завдання з енергозбереження. З одного боку, це установка в будинку енергозберігаючої системи, з іншого – це зниження тепловтрат будинку до рівня, при якому для опалення будинку досить 50 Вт/м². Тільки за таких умов проект у цілому вважається енергозберігаючим і в більшості країн забезпечується підтримкою державного фінансування. Тому таке стимулювання приводить до активного застосування теплових насосів. Якщо джерелом тепла служить термальна вода або охолоджувальна вода промислових печей, конденсаторів турбін та інших виробничих агрегатів, то енергетичний ефект роботи теплового насоса збільшується.

Використання теплонасосних установок перспективне в комбінованих схемах у сполученні з іншими технологіями використання відновлюваних джерел енергії (сонячної, вітрової, біоенергії), оскільки дозволяє оптимізувати параметри поєднаних систем і досягати найвищих економічних показників. Використання теплонасосних установок робить значний внесок в економію невідновлюваних енергоресурсів з допомогою технологій альтернативної енергетики.

Теплонасосні установки використовуються в різних галузях: опалення, гаряче водопостачання, кондиціонування повітря, одночасне охолодження одних об'єктів та нагрівання інших тощо.

До впровадження опалювальних установок з тепловими насосами необхідний інший підхід, ніж до звичайних опалювальних систем, де існуюча енергія перетворюється в необхідну корисну енергію. Теплові насоси повинні бути включені в потоки енергії як усередині, так і поза будівлею. Через це збільшується число необхідних складових частин.

Для ефективного реалізації теплонасосного циклу разом із тепловими насосами необхідно використовувати периферійне устаткування, тобто всі агрегати,

які необхідні, щоб підключити до джерел енергії та забезпечити довготривале, економічне і технологічне з'єднання з теплоспоживачами. Призначення периферійного устаткування теплових насосів полягає у забезпеченні технологічних умов його підключення до загальної системи. Тому разом зі звичайними теплообмінниками доводиться застосовувати спеціальне обладнання як з боку джерела теплоти, так і з боку теплоспоживача. Важливим елементом периферійного устаткування теплових насосів є обчислювальна техніка.

Можливості джерел утворення теплоти і потреби теплоспоживачів не завжди збігаються за часом. Тому для забезпечення економічної експлуатації теплонасосних установок необхідно використовувати акумулятори, які вирівнюють попит і виробництво теплоти у часі. Теплові акумулятори відносяться до периферійного устаткування теплонасосних установок і служать для тимчасового підключення джерел і споживачів теплоти, що сприяє підвищенню економічності системи.

Всі агрегати поєднуються самими різними способами в єдину опалювальну систему з тепловими насосами або в холодильно-нагрівальну систему. Лише при взаємозв'язаному режимі експлуатації всіх агрегатів за допомогою відповідної системи управління, що використовує оптимізаційні пристрої на базі мікроелектроніки, можна одержати таку економію первинної енергії, яка не тільки дасть народногосподарський ефект, але й забезпечить економічність роботи підприємства.

Установка для використання теплового джерела – це агрегат для відбору теплоти від джерела і транспортування теплоносія до холодної сторони теплового насоса; установка реалізації теплоти складається з агрегату для транспортування теплоносія від гарячої сторони теплового насоса до споживачів тепла (теплообмінник системи опалювання, пристрої для підготовки технічної води, підігріву води в плавальних басейнах і т. д.) і розподілу тепла між ними; до складу установки входить також різне допоміжне устаткування. Теплонасосна установка складається із агрегату, що використовує джерело тепла, і агрегату, який здійснює теплонасосний цикл. Опалювальна система з тепловим насосом складається з теплонасосної установки і установки, що реалізує тепло.

Застосування теплових насосів перспективне в комбінованих схемах у поєднанні з іншими технологіями використання відновлюваних джерел енергії (сонячні, вітрові, біоенергетичні) і в локальних системах. Так, ґрунтові теплові насоси із тепловою потужністю до 16 кВт (ККД до 6%) застосовуються для опалювання будівель і кондиціонування.

Рівень ефективності та перспективи використання теплових насосів для утилізації енергії доквілля в Україні

Застосування теплонасосних установок є доцільним у місцях, де існуючі системи теплопостачання перевантажені, а будівництво додаткових котелень неможливе. Використання теплонасосних установок може бути перспективним для утилізації теплових викидів низькопотенціальної теплоти на ТЕЦ, що досягається використанням охолоджувальної технічної води в якості джерела енергії для теплового насоса в обхід градирні.

В таблиці 18.1 приведені мінімальні значення коефіцієнтів перетворення теплових насосів, що потрібні при заміні деяких традиційних типів опалювання.

Таблиця 18.1. Мінімальні значення коефіцієнтів перетворення теплових насосів при заміні деяких традиційних типів опалювання.

Традиційний тип опалювання	Ступінь використання первинної енергії при традиційному опалюванні ξ_{P1}	Мінімальний коефіцієнт перетворення ε_{\min}
Електричне опалювання	$\xi_{P=\eta_K} \eta_{HK}=0,28 \cdot 1,0=0,28$	$\xi_{P/\eta_K}=0,28/0,28=1$
Котлоагрегат з нагрівом міським газом	$\xi_{P=\eta_G} \eta_{HK}=0,4 \cdot 0,76=0,35$	$\xi_{P/\eta_K}=0,35/0,28=1,25$
Котлоагрегат з вугільною топкою	$\eta_{HK}=\xi_{P=0,56}$	$\xi_{P/\eta_K}=0,56/0,28=2$
Сучасний котлоагрегат з вугільною топкою продуктивністю до 10 МВт	$\eta_{HK}=\xi_{P=0,65}$	$\xi_{P/\eta_K}=0,65/0,28=2,32$
Те ж, більше 10 МВт	$\eta_{HK}=\xi_{P=0,70}$	$\xi_{P/\eta_K}=0,70/0,28=2,50$

Виникає питання, чи не перевищує додаткову витрату первинної енергії на виготовлення і монтаж системи опалювання з тепловим насосом очікуваної економії енергії в порівнянні з іншим типами опалювання. З урахуванням такої постановки питання доцільно характеризувати економію енергії терміном окупності первинної енергії. Під терміном окупності первинної енергії $r_{E_{Pr}}$ розуміється число років, протягом яких сумарна економія первинної енергії при експлуатації нової змонтованої установки в порівнянні з еталонною системою досягне розмірів, достатніх для покриття додаткової витрати на її виготовлення і монтаж:

$$r_{E_{Pr}} = \Delta E_{Pr,1} / \Delta E_{Pr,N} \quad (18.1)$$

де $\Delta E_{Pr,1}$ - витрати первинної енергії на додаткові капіталовкладення,

$\Delta E_{Pr,N}$ - економія первинної енергії при експлуатації протягом року.

Витрата первинної енергії на опалювальну систему складається з витрат первинної енергії $E_{Pr,IGM}$ на виробництво основних матеріалів и витрат первинної енергії $E_{Pr,IV}$ на переробку основних матеріалів у виробках:

$$E_{Pr,IB} = E_{Pr,IGM} + E_{Pr,IV}; E_{Pr,IB} = \sum_{l=1}^n (e_{Pr,GM}^m E_{Pr,l} + e_{Pr,v}^m F_l) \quad (18.2)$$

де $e_{Pr,GM}$ - питома витрата первинної енергії на виробництво основних матеріалів, МВт.год/т; $m_{E_{Pr}}$ - маса матеріалів, т; $e_{Pr,v}$ - питома витрата

первинної енергії на переробку основних матеріалів у виробках, $M_{\text{Вт.год/т}}$, m_{F} - маса виробу, т.

Теплонасосні установки малої теплової потужності (1-15 кВт) можуть бути ефективно використані для індивідуального теплопостачання споживачів у сільській місцевості (індивідуальні будинки, котеджі, фермерські господарства тощо). У сільськогосподарському виробництві основні сфери використання теплових насосів – первинне оброблення молока і теплопостачання стійлових приміщень. Так, теплові насоси можуть підігрівати воду на фермах, використовуючи теплоту молока. Молоко з-під корови, що має температуру 37-38°C, має бути охолоджене перед відправкою на молокозавод до 4°C. Якщо охолоджувати його за допомогою теплового насоса, то вода, що виходить із насоса, матиме температуру 50-60° С, що є прийнятним для використання у виробничому процесі фермерського господарства. На молочних фермах значна частка енерговитрат (до 50 %) припадає на привід компресорів холодильних машин, призначених для охолодження свіжовидоєного молока і нагрівання води для санітарно-технологічних потреб. Поєднання потреб у теплоті й холоді створює сприятливі умови для використання теплових насосів.

Рівень ефективності використання теплових насосів значною мірою залежить від наявності джерела теплоти низького потенціалу, яке може бути вибраним для широкого застосування одноступінних теплових насосів у регіоні: теплота ґрунту, ґрунтових вод, води природних водоймищ тощо. Однак у багатьох випадках застосування теплових насосів визначається локальними умовами конкретного споживача: наявністю місцевого джерела теплоти низького потенціалу, особливостями використання виробленої теплоти, особливостями місцевого енергопостачання та ін. В такому разі теплопостачання за допомогою теплових насосів цілком може вписатися в наявну централізовану систему міста або селища.

Теплонасосна установка дозволяє отримати на 1 кВт затраченої потужності 3-7 кВт теплової потужності або 15-25 кВт потужності по охолодженню на виході. Система виключно довговічна (служить від 25 до 50 років), не потребує особливого догляду.

Сферами використання теплових насосів в Україні можуть бути: створення в енергетиці теплонасосних станцій потужністю 20-100 МВт для теплопостачання міст, теплонасосних станцій та об'єктних теплонасосних установок потужністю від 1 до 20 МВт у комунальному господарстві, систем обігріву та гарячого водопостачання окремих будинків у населених пунктах, технологічний нагрів та гаряче водопостачання в промисловості та сільському господарстві, комбіноване виробництво холоду і теплової енергії в переробній промисловості та сільському господарстві.

Оскільки потреба в теплоті за часом не завжди відповідає кількості теплоти, що є в навколишньому середовищі і доставляється від високо-температурних джерел теплоти, доцільно для зменшення невідповідності застосовувати низькотемпературні акумулятори. Використання таких акумуляторів дозволяє при відносно невеликих втратах теплоти створити

високотемпературне теплове джерело, яке можна використовувати з високим коефіцієнтом перетворення в необхідний момент і забезпечити періодичний режим експлуатації під час пікових навантажень.

Для поліпшення умов використання енергії навколишнього середовища із застосуванням теплових насосів рекомендується:

- використовувати місцеві високотемпературні джерела енергії наприклад, ґрунтові та поверхневі води, ґрунт на певній глибині;

- використовувати зовнішні високотемпературні потоки енергії перед вирівнюванням їх температури з температурою навколишнього середовища (наприклад, сонячну радіацію за допомогою колекторів і абсорберів, відпрацьовану теплоту за допомогою теплообмінників); акумулювати і періодично використовувати високотемпературні джерела енергії навколишнього середовища в низькотемпературних акумуляторах (наприклад, ґрунтових акумуляторів, акумуляторів скидної води).

В Україні немає широкого застосування теплонасосних установок. Відомі поодинокі випадки їх успішного застосування, наприклад, теплонасосна установка 1,5 МВт, що встановлена на підприємстві "Краматорськ-міжрайтепломережа", теплонасосна установка в пансіонаті "Дружба" (м. Ялта) теплопродуктивністю 2,8 МВт, теплонасосна установка в банку "Ажіо" теплопродуктивністю 250 кВт, теплонасосна установка на насосній станції "Баварія" (м. Харків) теплопродуктивністю 200 кВт, теплонасосна установка теплопродуктивністю 125 кВт в теплицях м. Донецька, а також у кафе "Три версти" в Київській області та декількох кафе та офісних приміщеннях ум. Києві, показали техніко-економічну доцільність їх використання.

В Україні при теперішніх економічних умовах використовувати теплові насоси для опалення садибних будинків економічно доцільно лише при заміщенні використання відносно дорогого рідкого палива або електроенергії. Крім того в негазифікованих поселеннях для заможних сімей, котрі прагнуть створити комфортні умови проживання в своєму домі, доцільним і вигідним може стати використання теплових насосів замість опалювальних котлів, які споживають вугілля, торф або їх брикети. При існуючому співвідношенні цін на паливо та електроенергію заміщення котлів зі споживанням природного газу або дров на електроприводні теплові насоси є економічно недоцільним.

Геотермальні ТНУ використовують тепло верхніх шарів землі у вигляді поверхневих, ґрунтових і артезіанських вод, а також тепло гірських порід і термальних вод. Ґрунтові і артезіанські води виявлені практично на всій території України, вони мають температуру більше, ніж 10°C, що дозволяє ефективно використовувати їх у ГТНУ.

На підставі аналізу вітчизняного і зарубіжного досвіду експлуатації теплонасосних установок можна зробити висновки, що застосування підземних акумуляторів тепла для роботи ГТНУ значно знижують собівартість тепла, що виробляється, і складає в середньому 90 грн. за 1 Гкал при використанні

акумуляторів теплоти. Питомі капіталовкладення становлять 4-5 тис. грн. за 1 кВт станом на 2010 рік.

Головними проблемами, що перешкоджають широкому використанню теплових насосів в Україні, є:

1) висока ціна теплових насосів європейських і американських виробників;

2) відсутність потужного вітчизняного виробника теплових насосів;

3) відсутність потужних центрів по встановленню та сервісному обслуговуванню теплових насосів;

4) температура теплоносія теплових насосів (55-60°C) не забезпечує безпосереднє їх застосування в існуючих системах опалення.

Для вирішення цих проблем пропонується наступне:

1) на першому етапі широкого впровадження теплових насосів використовувати покупні теплові насоси з одночасною розробкою будівельних проектів із застосуванням систем низькотемпературного опалення;

2) організація і налагодження вітчизняного виробництва теплових насосів і широкої мережі сервісного обслуговування;

3) підвищення ефективності роботи теплових насосів за рахунок застосування акумуляторів теплоти.

В добових акумуляторах найчастіше використовується теплота за рахунок електроенергії за нічним тарифом. Накопичення теплоти в акумуляторі відбувається з використанням теплового насоса, або безпосередньо за рахунок електроенергії. Теплота від добових акумуляторів використовується для теплоспоживання в пікові періоди електронавантаження в електричних мережах.

Сезонні акумулятори тепла використовуються в неопалювальний сезон за рахунок тепла від сонця, теплоти від електронагрівачів або теплових насосів за нічним тарифом на електроенергію, теплоти від сміттєспалювальних заводів та інших джерел.

Введення потужностей теплових насосів в Україні на перших етапах буде орієнтоване на обладнання іноземного виробництва; до 2015 р. енергетичний потенціал доквілля і стічних вод України дозволяє ввести до 4300 МВт теплонасосних установок. За період із 2016 до 2030 р., згідно з розрахунками фахівців Інституту відновлюваної енергетики НАН України, буде введено 36500 МВт теплонасосних установок. За даними, викладеними в "Енергетичній стратегії України на період до 2030 року", планується введення 51000 МВт теплонасосних установок.

Коефіцієнт перетворення теплонасосних установок у залежності від їх типу і початкової температури може складати в середньому від 2 до 4. Враховуючи енергетичний потенціал доквілля, кількість виробленої теплоти за рахунок його використання збільшується із 37510 млн кВт·год в 2015 році до 556061 млн кВт·год у 2030 році.

Кількісні показники виробництва енергії з використанням теплових насосів наведені в таблиці 18.2.

Таблиця 18.2. Прогнозні базові показники використання енергії доквілля із застосуванням теплонасосних систем в Україні до 2030 року

№ з/п	Прогнозні показники розвитку енергетики доквілля	Одиниці виміру	Рівень розвитку енергетики доквілля по роках				Всього
			2015	2020	2025	2030	
1.	Енергетичні показники						
1.1	Встановлена потужність	МВт	4300	9750	15300	36500	
1.2	Річне виробництво теплоти	млн кВт·год/рік	37510	151365	261817	556061	1006755
1.3	Річна економія палива	млн. т у.п./рік	4,61	18,62	32,2	68,43	123,8
1.4	Обсяги заміщення природного газу	млн м ³	4,02	16,21	28,1	59,4	107,7
2.	Економічні показники						
2.1	Питомі капіталовкладення	тис. грн./кВт	4	4,2	4,5	4,7	17,4
2.2	Обсяги фінансування	млн грн.	17200	22890	25875	98700	164665
3.	Екологічні показники						
3.1	Обсяги зменшення викидів CO ₂	тис. т	8,31	33,47	58	123,2	222,9

На підставі фактичних даних щодо вартості теплових насосів, які використовуються на теперішній час в Україні, питомі капіталовкладення на 2015 рік становлять 4 тис. грн./кВт. До 2030 р. вони будуть зростати до 4,7 тис. грн./кВт. Вартість використання теплових насосів розраховано виходячи з питомих показників і введеної потужності і становить у 2015 р. 17200 млн грн. До 2030 р. вона зросте до 98700 млн грн.

Використання теплонасосних установок дозволить практично вдвоє знизити витрату палива на потреби теплопостачання, знизити теплове забруднення доквілля, отримати можливість вирівнювання графіків електричного навантаження як споживачів-регуляторів. При цьому також створюються можливості подальшої експлуатації морально застарілих ТЕЦ при зменшенні в них питомих витрат палива.

Лекція 19

Системи акумулювання енергії відновлюваних джерел

Методи підвищення ефективності застосування відновлюваних джерел енергії. Системи акумулювання енергії відновлюваних джерел. Класифікація акумуляторів енергії. Електрохімічні, теплові, інерційні акумулятори та акумулятори на основі водню.

Методи підвищення ефективності застосування відновлюваних джерел енергії

Однією з причин обмеженого використання відновлюваних джерел енергії є дискретність енергетичних потоків – періодичність надходження та змінність енергетичного потенціалу, що до останнього часу спричиняло значні ускладнення в багатьох випадках їх використання і не відповідало сучасним вимогам щодо енергопостачання споживачів. Крім того, в процесі широкомасштабного впровадження обладнання відновлюваної енергетики постає проблема створення регулюючих потужностей на основі традиційних енергосистем для забезпечення стабільного енергопостачання в періоди відсутності енергії ВДЕ. Безумовно, в деяких випадках така необхідність є цілком виправданою, однак у даний час в рамках відновлюваної енергетики існує цілий ряд технічних засобів та методів вирішення проблеми, в тому числі за рахунок використання акумуляторів електричної та теплової енергії.

Високі техніко-економічні показники застосування відновлюваних джерел енергії, стабільні робочі параметри енергетичного обладнання та стабільне енергопостачання споживачів досягаються при комбінованому виробленні теплової та електричної енергії, комплексному її акумулюванні та при поєднанні ВДЕ як між собою, так і з технікою та технологіями традиційної енергетики. Створення ефективних комбінованих енергосистем з комплексним використанням різних акумуляторів енергії дозволяє підвищувати ефективність енерговикористання ВДЕ на 30-50%, поліпшує параметри виробленої енергії та забезпечує стабільність енергопостачання споживачів. Сучасні технології та обладнання, а також прийоми раціонального використання ВДЕ, основані на комплексному використанні різних видів ВДЕ і акумуляторів енергії, фактично ліквідували перешкоди щодо їх широкомасштабного впровадження.

Основними завданнями при створенні комбінованих енергосистем на основі ВДЕ є забезпечення їх надійними акумуляторами енергії та створення ефективного допоміжного обладнання для зниження флуктуацій параметрів енергосистем і підтримання необхідних робочих параметрів, а також створення обладнання для автоматичного управління режимами їх роботи.

Оптимальне співвідношення окремих елементів у комбінованих енергетичних системах (КЕС) на основі ВДЕ визначається з урахуванням багатьох факторів, що впливають на роботу таких енергосистем.

Використання відновлюваних джерел енергії в конкретних КЕС на основі ВДЕ обумовлюється наступними факторами:

- ◆ рівнем забезпечення регіону (району, міста тощо) традиційними і відновлюваними джерелами енергії з урахуванням їх потенціалу;
- ◆ кліматометеорологічними умовами;

- ◆ структурою систем енергопостачання та енерговикористання;
- ◆ вимогами до якості електричної та теплової енергії;
- ◆ типом та параметрами навантаження;
- ◆ вимогами до погодинного графіка енергопостачання;
- ◆ економічними та екологічними факторами.

Комбіновані енергетичні системи для житлових та промислових об'єктів при компоновці, відповідній даній кліматичній зоні, та при врахуванні всіх вищенаведених факторів достатньо ефективні в експлуатації по всій території України. При визначенні оптимальних складових та потужності енергетичного обладнання, що входить до складу різних КЕС, встановлено, що в середній та північній географічних зонах України недоцільно прагнути їх повної автономності – деяку частку енергопостачання (недостатню кількість енергії, виробленої енергоустановками на основі ВДЕ) більш доцільно компенсувати не збільшенням потужності енергетичного обладнання, а використанням традиційного палива. Для південних областей України, при застосуванні пасивного теплового акумулювання в літній час, можна досягти повної автономності таких об'єктів.

Науково-технічними проблемами створення та дослідження комбінованих енергосистем на основі ВДЕ в Україні займаються вже більше 25 років – у Відділенні комплексних енергетичних систем на основі ВДЕ – з 1980 по 1987 рік при Київському політехнічному інституті, з 1987 по 2003 рік – в Інституті електродинаміки НАН України, з 2004 року – в Інституті відновлюваної енергетики НАН України. Ряд науково-технічних закладів та галузевих інститутів займаються окремими проблемами акумулювання енергії НВДЕ – наприклад, проблемами створення систем зберігання водню та використання його в автотранспорті займаються в Харківському Інституті проблем машинобудування НАН України.

Найбільш ефективним впровадженням комбінованих енергосистем на основі НВДЕ на найближчу перспективу є застосування їх у сільськогосподарських комплексах, індивідуальних фермерських господарствах, індивідуальних житлових та садових будинках, у пансіонатах, дитячих таборах та на віддалених від електромережі об'єктах (житла пастухів, військові об'єкти, окремі населені пункти та ін.).

На даному етапі першочерговою задачею є створення і впровадження вже розроблених комбінованих енергосистем у різних кліматичних зонах України з використанням рекомендацій, розроблених у результаті аналізу попередніх досліджень, проведення натурних досліджень, напрацювання і отримання конкретних результатів з метою визначення оптимальних технічних показників та режимів роботи енергетичних пристроїв, що входять до складу КЕС та всього комплексу в цілому.

Системи акумулювання енергії відновлюваних джерел. Класифікація акумуляторів енергії. Електрохімічні, теплові, інерційні акумулятори

Основними функціями акумуляторів енергії в енергосистемах на основі ВДЕ є:

- ◆ забезпечення безперебійного енергопостачання споживачів за рахунок накопичення надлишкової енергії та подальшого її використання в періоди відсутності енергії або недостатнього енергозабезпечення;
- ◆ забезпечення оптимального режиму роботи джерел енергії і споживачів за рахунок вирівнювання коливань в енергосистемі;
- ◆ підвищення потенціалу енергії до необхідної якості при накопиченні низькопотенціальної енергії;
- ◆ перетворення енергії одного виду в інший, залежно від потреб споживачів.

Існує багато різновидів накопичувачів енергії. За призначенням вони поділяються на автономні та стаціонарні, за улаштуванням та видом накопичуваної енергії – на механічні, теплові, електричні та індуктивні.

За своєю природою акумулятори енергії можна розділити на два основних класи: хімічні та фізичні. Перші накопичують енергію за рахунок хімічних реакцій, другі – за рахунок фізичних явищ. Певною мірою до накопичувачів енергії можуть належати і природні енергоресурси, рослини та продукти харчування – усі вони є носіями енергії.

Акумулятори енергії за характером роботи поділяються на зворотні та незворотні. До зворотних або вторинних джерел належать накопичувачі, які здатні більше одного разу приймати і віддавати енергію. Якісні показники таких акумуляторів енергії визначаються кількістю можливих заряд-розрядних циклів. До незворотних (первинних) належать накопичувачі разового застосування, тобто вони здатні виконувати тільки один енергетичний цикл заряду-розряду.

При виборі накопичувачів енергії для конкретної енергетичної системи необхідно в однаковій мірі враховувати енергетичні та експлуатаційні показники як обладнання на основі відновлюваних джерел і споживачів енергії, так і накопичувачів енергії. До основних характеристик належать: питома потужність, питома енергія, питома вартість накопичувача енергії, термін заряду-розряду, термін служби, ККД, саморозряд, безпека, простота обслуговування, вид виробленої та споживаної енергії.

У таблиці 19.1 наведені характеристики накопичувачів енергії; найбільш реальним на даний час для вітрової та сонячної енергетики є застосування електрохімічних і теплових акумуляторів енергії, а також систем акумуляування на основі водню. Механічні (інерційні) акумулятори енергії мають високі робочі характеристики, але їх застосування поки що обмежене рядом невирішених технічних проблем – підбір матеріалів, створення високоякісних підшипників, перетворення механічної енергії в інші види, висока вартість та інше.

Таблиця 19.1. Характеристики накопичувачів енергії

Акумулятори енергії	Питома енергія				Питома потужність, Вт/кг	КД,
	Теоретична		Реалізована			
	Вт·год/кг	Вт·год/л	Вт·год/кг	Вт·год/л		
Гідроакумулятори	0,27	0,27	0,2	0,2	0,5	65-75
Стиснене повітря (ступінь стиснення 66)	100	8	65-75	5-16	100	65-75
Маховики	10-570	160-1250	30-390	20-70	$7 \cdot 10^4$	70-85
Свинцеві акумулятори	70	740	26-50	30-70	100	50
Високотемпературні акумулятори	600-900	2000	100-220	70-180	220	70-80
Акумулятори з новими електролітами	480	2000	130	36-110	130	60-75
Акумуляуючі системи з ЕХГ	$3,7 \cdot 10^3$	10^3	$1,8 \cdot 10^3$	100	100	45
Редокс-системи	836	$2 \cdot 10^3$	5-15	18-72	3	60-75
Ємнісні акумулятори	4	10	$2 \cdot 10^{-4}$	$8 \cdot 10^{-2}$	10^5-10^8	30
Індуктивні акумулятори	4	0,1-0,4	0,1-0,4	2,8	10^5	25
Магнітні акумулятори	-	$2 \cdot 10^5$	-	-	10^9	25
Надпровідні акумулятори	20	50	10^{-3}	3-11	$5 \cdot 10^6$	80-95

Серед багатьох типів акумуляторів, що можуть бути використані в різних технічних системах, для застосування у відновлюваній енергетиці обираються такі, що за своїми властивостями та характеристиками найбільш придатні до роботи з обладнанням на основі ВДЕ.

Системи акумуляування електричної енергії. Системи акумуляування електричної енергії призначені для накопичення і зберігання електричної енергії, отриманої на об'єктах відновлюваної енергетики, та позапікової енергії промислової електромережі на об'єктах традиційної енергетики з подальшим електроживленням споживачів.

У світі зараз ведуться активні наукові пошуки шляхів удосконалення вже відомих та розробки нових акумуляторів енергії.

Науково-дослідні роботи щодо покращення характеристик електрохімічних лужних акумуляторів, що використовуються для акумуляування електричної енергії відновлюваних джерел, та оптимізації режимів їх експлуатації виконувались науковцями ІВЕ НАН України спільно зі спеціалістами технічного університету м. Брно. В рамках цієї програми вирішувались наступні питання: вибір ефективних акумуляторів; оптимізація режимів заряду акумуляторів; розробка засобів та пристроїв для підтримки оптимальних режимів і умов експлуатації акумуляторів при роботі в енергосистемах з електрогенеруючим обладнанням на основі відновлюваних джерел енергії; розробка інструментів і методів експрес-аналізу стану окремих акумуляторів у ході тривалої експлуатації.

При роботі з електрогенеруючим обладнанням на основі ВДЕ системи акумуляування електричної енергії, працюючи в режимі постійного підзаряду,

вирівнюють добові коливання, що виникають у процесі експлуатації, і забезпечують стабільне живлення споживачів електроенергії. При роботі з промисловою електромережею системи акумулювання електричної енергії накопичують позапікову електроенергію в нічний час і забезпечують електроживлення споживачів у періоди відключення від неї.

Система акумулювання електричної енергії при застосуванні в комбінованих енергосистемах повинна відповідати таким вимогам:

- забезпечувати стабільне електроживлення споживачів електроенергії незалежно від періодичності роботи відновлюваних джерел енергії та в періоди відключення промислової електромережі;
- мати оптимальну енергоємність, що залежить від потреб енергосистеми в кожному конкретному випадку і забезпечується набором акумуляторів з послідовним або паралельним підключенням;
- забезпечувати необхідну робочу напругу та автоматичне регулювання режимами роботи.

Вибір марки електрохімічних акумуляторів проводиться на основі аналізу їх технічних характеристик, які повинні забезпечувати ефективну роботу систем акумулювання з енергетичним обладнанням на основі відновлюваних джерел енергії. Найбільш прийнятними для роботи в таких енергосистемах у даний час є лужні нікель-кадмієві акумулятори вітчизняного виробництва – за якісними показниками і терміном служби вони мають значні переваги в порівнянні з кислотними акумуляторами, що компенсує їх вищу вартість. Однак, у певних випадках цілком виправданим є застосування кислотних свинцевих, зокрема, герметичних акумуляторів в енергосистемах на основі відновлюваних джерел енергії.

При визначенні енергоємності акумуляторної батареї необхідно орієнтуватися на створення резервного запасу електроенергії для стабільного живлення споживачів; розрахунки проводяться або уточнюються в кожному окремому випадку. Необхідна енергоємність забезпечується набором певної кількості акумуляторів у певному їх підключенні – послідовному чи паралельному.

На даний час майже всі енергетичні системи на основі ВДЕ комплектуються свинцевими або лужними акумуляторними батареями, які випускаються промисловими підприємствами.

Два варіанти стандартної системи акумулювання електричної енергії на основі кислотних та лужних акумуляторів, розробленої для резервного живлення споживачів електроенергії на об'єктах відновлюваної та традиційної енергетики представлено нижче:

- акумуляторна батарея на основі лужних нікель-кадмієвих акумуляторів 5НК-80, що складається з п'яти послідовно з'єднаних елементів із напругою 1,2 В кожний. Блок із двох акумуляторних батарей забезпечує при розряді робочу напругу 12 В, номінальна ємність становить 80 А·год. Номінальна ємність C_{10} визначається при розряді струмом, що дорівнює $0,1C_{10}$; енергоємність – 960 Вт·год;

– акумуляторна батарея на основі кислотних свинцевих акумуляторів, що складається з шести послідовно з'єднаних елементів з напругою 2 В кожний; така батарея забезпечує при розряді робочу напругу 12 В, номінальна ємність становить 55 А·год при 20-годинному режимі розряду, енергоемність –660 Вт·год.

Для забезпечення необхідних параметрів електроенергії в схему системи акумуляування електричної енергії включається зарядний випрямляч. Визначено, що вказані вище акумуляторні батареї протягом 3-5 годин забезпечують нормальний робочий режим роботи споживачів електроенергії (телевізор, три електролампи, радіоприймач) із загальним набором потужності 200 Вт.

У результаті лабораторних досліджень електрохімічних акумуляторів визначено оптимальні режими роботи акумуляторних батарей із обладнанням відновлюваної енергетики та встановлено обмеження по верхній та нижній межі заряду та розряду акумуляторів при автоматизованому керуванні режимами роботи енергосистем. Для забезпечення оптимальних режимів експлуатації системи акумуляування електричної енергії визначено величини граничних напруг, у межах яких необхідно проводити цикли заряду-розряду електрохімічних акумуляторів: для лужних акумуляторів верхня межа – 16,5 В, нижня – 12 В; для кислотних акумуляторів верхня межа – 14,5 В, нижня – 12 В.

Системи акумуляування теплової енергії. Однією з актуальних проблем відновлюваної енергетики є проблема акумуляування теплової енергії, в першу чергу, в сонячній теплоенергетиці; теплові акумулятори також ефективно використовуються в комплексі з вітроелектричними агрегатами, фотобатарейми та в традиційній енергетиці для зняття пікових навантажень.

Теплове акумуляування – це фізичні або хімічні процеси, за допомогою яких відбувається накопичення тепла в тепловому акумуляторі енергії. Тепловими акумуляторами (ТА) називають пристрої, які забезпечують зворотні процеси накопичення, зберігання та віддачі теплової енергії відповідно до потреб споживача.

Акумуляування тепла в різних енергосистемах проводиться з метою забезпечення потреб опалення та гарячого водопостачання.

Акумуляування тепла в будь-якій водонагрівальній системі дозволяє пристосувати її до умов попиту на гарячу воду, що змінюється протягом доби. Застосування різних засобів для накопичення енергії при використанні сонячних енергетичних установок дозволяє також подолати проблему, пов'язану з нерівномірною інтенсивністю сонячної енергії протягом доби. Навіть в умовах безхмарного неба необхідну кількість енергії при відповідній температурі рідини можна отримати тільки протягом кількох годин до і після полудня. Наприклад, сонячні енергетичні установки, що призначені для опалення приміщень, підтримують температуру теплоносія на рівні 60°C лише близько трьох годин на добу. Оскільки в подібних системах періоди споживання і отримання енергії не співпадають, то очевидно, що накопичувати її необхідно в одні періоди доби, а використовувати – в інші.

Практична реалізація різних типів теплових акумуляторів пов'язана в першу чергу з визначенням їх оптимальних робочих характеристик, з вибором недорогих і ефективних конструкційних матеріалів і теплоакumuлюючих середовищ. Ефективність теплового акумулятора за інших рівних умов визначається масою та об'ємом теплоакumuлюючого матеріалу (ТАМ), необхідного для забезпечення заданих параметрів процесу.

Класифікація теплових акумуляторів проводиться за кількома головними ознаками:

- ◆ за природою акумулювання:
 - ◇ теплоємнісні (ТЄА),
 - ◇ акумулятори з фазовим переходом (АФП),
 - ◇ термохімічні акумулятори (ТХА);
- ◆ за рівнем робочих температур:
 - ◇ низькотемпературні (до 100°C) ТА,
 - ◇ середньотемпературні (від 100 до 400°C) ТА,
 - ◇ високотемпературні (вище 400°C) ТА;
- ◆ за тривалістю періоду заряду-розряду ТА:
 - ◇ короткострокові (до 3-х діб),
 - ◇ середньострокові (до 1 місяця),
 - ◇ міжсезонні (до 1 півріччя).

Вибір та конструювання теплових акумуляторів проводиться з урахуванням потреб і параметрів енергосистеми та споживача теплової енергії. Як правило, у відновлюваній енергетиці використовуються короткострокові або середньострокові низькотемпературні теплоємнісні акумулятори або акумулятори з фазовим переходом.

Широкий спектр проблем при застосуванні акумуляторів тепла і велика різноманітність методів акумулювання приводять до використання різних технічних рішень, причому для кожного конкретного випадку впровадження ТА в енергетичну систему на основі відновлюваних джерел енергії необхідно проводити детальні дослідження і розрахунки.

Акумулювання тепла за рахунок теплоємності найменш ефективне; в даному випадку досить низька теплоємність багатьох теплоакumuлюючих матеріалів (ТАМ) повинна компенсуватися використанням їх значних об'ємів; розряд акумуляторів характеризується змінною температурою. Ці акумулятори ще називаються теплоємнісні (ТЄА), тому що їх робота базується на використанні теплоємнісних характеристик різних твердих і рідких речовин.

Акумулятори, які використовують теплові ефекти зворотних фазових переходів (АФП), характеризуються більш високою густиною тепла при малому об'ємі теплоакumuлюючих матеріалів і практично постійною температурою розряду. Метод характеризується наступними недоліками: по-перше, вартість ТАМів із фазовим переходом вище вартості традиційних теплоємнісних матеріалів (каміння, вода, гравій); по-друге, теплообмін в АФП потребує наявності розвиненої поверхні теплопередачі, що значно збільшує їх вартість. Тому при виборі ТАМів повинна враховуватися не тільки їх вартість,

але й вартість пристрою АФП із урахуванням доступності хімікатів та конструкційних матеріалів.

Густина енергії в акумуляторах, які використовують зворотні хімічні реакції (так звані термохімічні акумулятори – ТХА), вища за густину енергії в АФП і значно вища, ніж в ТСА. Принцип роботи ТХА оснований на акумулюванні енергії, що поглинається і звільняється при розриві та створенні молекулярних зв'язків у повністю зворотніх хімічних реакціях. При створенні ТХА є значні труднощі, обумовлені невеликим числом дешевих хімічних сполук і виділенням у процесі хімічних реакцій газів.

Таким чином, на практиці широко використовуються теплоємнісні акумулятори та акумулятори з фазовим переходом. Їх можна рекомендувати для будь-яких процесів, як для промисловості з використанням значних об'ємів, так і в індивідуальних господарствах і технологічних процесах. Акумулятори ТХА можуть бути рекомендовані лише в певних випадках із використанням безпечних технологій.

Для створення ефективних теплових акумуляторів необхідне вирішення таких першочергових завдань:

- розроблення теплоакумулюючих матеріалів з високими питомими енергетичними характеристиками, великим ресурсом роботи і широким діапазоном робочих температур;
- вибір конструкційних матеріалів з високими теплотехнічними і корозійностійкими характеристиками;
- створення оптимальних конструкцій ТА залежно від функціонального призначення, джерела енергії та потреб споживачів.

При виборі робочих речовин для теплових акумуляторів необхідно враховувати енергетичні та експлуатаційні характеристики як джерела енергії, так і самого акумулятора. Основними робочими характеристиками ТАМів є: питома енергія, робочий діапазон температур, стабільність і безпека в роботі, низька корозійна агресивність, недефіцитність і невисока вартість. При використанні гідратів звертають увагу на їх здатність приєднувати і втрачати молекулу води при нагріванні та охолодженні.

Всі варіанти практичного застосування ТА можна розбити на наступні основні групи:

- пасивне акумулювання, тобто пряме акумулювання теплової енергії безпосередньо конструкціями будівель;
- активне акумулювання – це акумулювання теплової енергії за допомогою спеціальних пристроїв, які накопичують, зберігають і віддають енергію;
- комбіноване активне та пасивне акумулювання.

Пасивне акумулювання знаходить застосування в основному в сонячній енергетиці та деяких технологічних процесах, активне акумулювання – в різних енергосистемах традиційної та відновлюваної енергетики. Найбільш ефективними при відповідній розробці можуть бути комбіновані системи акумулювання теплової енергії.

Акумулявання тепла з використанням фазового переходу. Під акумуляванням на основі теплоти фазового переходу в більшості випадків розуміють акумулявання теплоти плавлення. Часто в доповнення до теплоти фазового переходу пропонують використовувати теплоту нагріву (внутрішню енергію) рідини або твердої фази. Це збільшує ємність акумулятора, але позбавляє можливості використовувати переваги теплопостачання при постійній температурі.

Системи акумулявання теплової енергії, основані на використанні теплоти фазового переходу, активно досліджуються, але багато з них у даний час знаходяться ще на стадії розробки та впровадження. Їх головними перевагами є висока теплоємність, постійна робоча температура та низький тиск; недоліками – досить низька стабільність більшості ТАМів з фазовим переходом та ускладнення конструкції теплового акумулятора, необхідність вирішення проблеми теплообміну з акумуляючим середовищем.

В останній час у теплому акумуляванні в інтервалі температур до 100°C для теплоаккумуляючих матеріалів з фазовим переходом зазвичай пропонують використання кристалогідратів. Однак кристалогідрати мають у своєму складі воду, внаслідок чого є недостатньо стабільними – максимальним для кристалогідратів є 50 робочих циклів заряду-розряду. При подальшій експлуатації змінюються їх фізико-хімічні та теплофізичні характеристики, що призводить до виходу з ладу теплового акумулятора, в якому вони застосовуються.

Акумулятор на основі теплоти фазового переходу відноситься до систем із постійним тиском та масою; зміни об'єму ТАМів з фазовим переходом, що відбуваються в процесі проведення циклів плавлення-затвердіння, як правило, досить незначні.

Ефективне акумуляюче середовище на основі фазового переходу повинне мати наступні властивості:

- висока ентальпія фазового переходу та густина;
- зручна для експлуатаційних умов температура плавлення;
- висока теплоємність у твердій та рідкій фазах;
- висока теплопровідність у твердій та рідкій фазах;
- відсутність тенденції до розшарування теплоаккумуляючого матеріалу, його температурна стабільність;
- відсутність можливості переохолодження при затвердінні та перегріву при плавленні;
- низьке термічне розширення та незначні зміни об'єму при плавленні;
- слабка хімічна активність, що дозволяє використовувати недорогі конструкційні матеріали для виготовлення теплових акумуляторів та допоміжного обладнання;
- безпека (відсутність отруйних парів, а також небезпечних реакцій з робочим або теплообмінним середовищем);
- великий ресурс роботи.

Низькотемпературне акумулювання. Акумулювання з використанням енергії фазового переходу (заморожування води при 0°C) є ефективним методом низькотемпературного акумулювання.

Розроблено різні системи акумулювання із заморожуванням води, що застосовуються в багатьох державах. Акумулювання енергії через лід особливо вигідне в кліматичних зонах, де навантаження на охолодження в літній час можна порівняти з навантаженням на обігрівання взимку, що припускає річне циклування, тобто ефективно подвійне використання системи акумулювання.

В місцевостях із холодним кліматом, де потреби в теплі перевищують потреби в охолодженні, для системи теплового акумулювання енергії ТАЕ необхідне додаткове джерело тепла, наприклад, у вигляді простих сонячних панелей, що працюють при низькій температурі. Гаряча вода для домашніх потреб виробляється в охолоджувачі пари, що виходить із компресора системи. За допомогою такого пристрою можна забезпечити температуру води, що перевищує температуру конденсації охолоджувача. Експерименти показали, що річна економія електроенергії при використанні описаної системи досягає 50% в порівнянні з системою обігрівання електроенергією взимку і електричним кондиціонуванням влітку.

Акумулятори на основі водню. Важливим напрямом розвитку відновлюваної енергетики є воднева енергетика, яка займається вирішенням проблем, пов'язаних із застосуванням водню як енергоносія і акумулюючого середовища. Для комбінованих енергосистем на основі НВДЕ водень як енергоносіє дає можливість створювати довготривалі міжсезонні запаси енергії.

Поняття "воднева енергетика" або "воднева технологія", що застосовується для позначення нової області техніки і природних наук, яка виникла на стику хімії, хімічної технології, фізики, енергетики і машинобудування, з'явилося у середині 70-х років нашого століття. Воднева енергетика розглядає цілий комплекс питань, пов'язаних з отриманням, зберіганням і використанням водню для цілей енергетики. Воднева енергетика також розглядає застосування водню в абсолютно новій області – в якості енергоносія у системах з автономним енергозабезпеченням. Передбачається, що в майбутньому такі системи, основані на використанні енергії відновлюваних джерел (сонця, вітру і т.п.), відіграватимуть помітну роль загалом в енергетичному балансі країни. Основним видам відновлюваних джерел енергії властиві періодичність у роботі та зміна величини потенціалу енергії залежно від часу доби і року. Ця непостійність знижує енергетичну ефективність джерел, тому при використанні енергії відновлюваних джерел необхідний енергоносіє, зручний для зберігання, транспортування і використання. Розвиток водневої енергетики передбачає побудову ефективної та економічної інфраструктури постачання споживачів воднем, що використовується в якості енергоносія. Виробництво водню з метою акумуляції і транспортування енергії представляється ефективним рішенням проблеми стабільного енергопостачання від відновлюваних джерел.

Як показують прогнози, очікується рівновага між вартістю водню, одержаного за рахунок, наприклад, енергії Сонця, та сучасними закупівельними

цінами на водень, що отримувався із вуглеводневої сировини. Відповідно до прогнозів, економічна вартість переходу на водень вже на початку 21 століття не буде надзвичайно високою, якщо враховувати екологічні фактори. Сучасні дослідження показують, що водень може перекрити до 85% всіх енергетичних потреб в секторі індустрії і 92% потреб побутового сектора і сектора індивідуальних споживачів. Він може замінити природний газ для побутових потреб, бензин – у двигунах внутрішнього згоряння, спеціальні види пального – в ракетній техніці, ацетилен – у процесах зварювання металів, кокс – у металургійних процесах, метан – у паливних елементах.

Відомо, що водень легко горить або окислюється: при взаємодії його з киснем або фтором на одиницю ваги виділяється в 3,5 рази більше тепла, ніж при згорянні органічних речовин, наприклад, вугілля або вуглеводнів, нафти, природного газу. Раніше питання використання вільного молекулярного водню як палива не розглядалося, в першу чергу, тому, що водень не є первинним джерелом енергії – у природі він зустрічається в різних сполуках, домінуючою серед яких є вода.

З енергетичної точки зору водень – єдина альтернатива нафті та природному газу. Це пояснюється такими факторами:

- запаси водню у вигляді води на нашій планеті практично невичерпні;
- водень має високу теплоту згоряння, в кілька разів вищу, ніж у природних газів;
- водень, як паливо, може бути використаний для одержання теплової та електричної енергії, а також у будь-якому типі двигунів;
- водень – екологічно чисте паливо, основним продуктом його згоряння є водяна пара, яка зволожує атмосферу.

В даний час усе ширше розглядається можливість використання водню як енергоносія майбутнього для вирішення важливих енергетичних і екологічних проблем і зменшення ризику, пов'язаного із збагаченням атмосфери вуглекислим газом.

Методи одержання, зберігання, транспортування, розподілу та використання водню достатньо широко вивчені і використовуються в промисловості; основною задачею в даний час є підвищення їх економічності, тобто зниження вартості при використанні різних видів водневих систем у промисловому масштабі.

Таким чином, водень у даний час є найбільш перспективною альтернативою природному паливу. Однак, для того щоб замінити природне паливо водневим, треба навчитися одержувати його не з вуглеводнів нафти і природного газу, а з води – єдиного принципово невичерпного джерела водню із застосуванням у якості первинних відновлюваних джерел енергії. Для комбінованих енергосистем на основі відновлюваних джерел енергії водень, як енергоносіє, дає можливість створювати довготривалі міжсезонні запаси енергії.

Проте недостатньо мати дешеве і економічне джерело водню, повинна бути вирішена проблема його зберігання і транспортування. Необхідно створити нові або, в крайньому випадку, пристосувати наявні енергетичні

схеми та установки до водню, який значно відрізняється за теплофізичними параметрами від традиційних видів пального.

Останнім часом проблема застосування водню набула нових практичних контурів. Кризові явища в енергетиці, проблема захисту навколишнього середовища, повітряного басейну і світового океану від безперервного і загрозливого зростання забруднень нафтою та продуктами неповного згорання органічних палив, у першу чергу, рідкого вуглеводневого пального в двигунах внутрішнього згорання і дизельних двигунах автомобілів, стимулюють різке зростання інтересу до можливостей розширення виробництва водню і застосування його в якості палива в різних галузях господарювання та транспорту. Основні сфери заміщення традиційних енергоносіїв водневим паливом показані в таблиці 19.2.

Таблиця 19.2. Основні сфери використання водневого палива

	Галузь застосування	Заміна енергетичних продуктів
Водень	Побутові потреби	Природний газ
	Автотранспорт	Бензин
	Металургійна промисловість	Кокс
	Зварювальна техніка	Ацетилен
	Паливні елементи	Метан
	Ракетна техніка	Спеціальні види пального

Застосування водню у відновлюваній енергетиці. На основі аналізу науково-технічної інформації та практичних напрацювань у галузі водневої енергетики створено ряд моделей екологічно чистих систем виробництва, зберігання і використання водню різної енергетичної ємності в залежності від потужності енергоустановок, визначено їх енергетичні параметри, економічні показники, технічне і технологічне забезпечення і створено технічні проекти на системи акумулювання водню такої установленної потужності: 24 кВт, 84 кВт, 290 кВт, 410 кВт. Системи акумулювання універсальні, можуть бути застосовані в енергосистемах на відновлюваних джерелах енергії (вітрова, сонячна та гідросилова енергія), при цьому енергія первинних джерел енергії використовується для одержання водню на електролізних установках.

Основою роботи систем є перетворення електричної енергії, виробленої відновлюваними джерелами, в хімічну енергію водню з наступним використанням її споживачами у вигляді електричної і теплової енергії залежно від потреб споживачів.

Основним елементом міжсезонної системи акумулювання на основі водню, на який орієнтовано розрахунок всіх її елементів, є установка для одержання водню. В свою чергу, вибір установки пов'язаний з енергетичною потужністю відновлюваних джерел енергії і знаходиться у прямій залежності від потужності електрогенеруючого обладнання. В даний час створено ряд електролізних установок, більш ефективних для застосування у відновлюваній енергетиці.

В процесі електролізу основними продуктами є водень і кисень, у промисловості кисень часто не використовується в повній мірі. В енергокомплексі на відновлюваних джерелах кисень буде використано для одержання електричної енергії в паливних водень-кисневих елементах. Вибір системи зберігання водню залежить, в основному, від потужності енергосистеми, характеристик та вимог споживача.

У випадку використання електролізних установок невеликої потужності застосування рідкої форми зберігання недоцільне з економічної точки зору, зберігання в формі гідридів металів у великих кількостях є неможливим при сучасній технології виготовлення гідридів металів вітчизняною промисловістю. Оскільки питомі вагові характеристики систем з гідридною формою зберігання водню дуже низькі, їх можна використовувати тільки в стаціонарних установках.

Основною формою зберігання в енергосистемах невеликої потужності є стиснений водень, залежно від потреб від 10 до 150 атм.

Використання водню в комбінованій вітроенергетичній системі здійснюється в таких варіантах:

- спалювання з одержанням теплової енергії;
- перетворення в електричну енергію (мотор-генератор, паливні елементи);
- використання в автотранспорті.

Досліджені різні варіанти використання водню в теплових установках, проведені розрахунки з урахуванням ККД установок. В умовах енергокомплексу на основі ВДЕ середньої потужності буде здійснюватися спалювання водню в пальниках побутового і промислового призначення.

При використанні водню для побутових потреб використовуються плити, оснащені водневими пальниками, наприклад, уніфіковані газові плити з деякими змінами в конструкції пальників.

Для забезпечення гарячого водопостачання і опалення будинків водень спалюється із застосуванням промислових пальників.

Особливий інтерес для одержання електроенергії представляють водень-кисневі паливні елементи, при цьому також вирішується проблема використання кисню, одержаного в процесі електролізу води.

Лекція 20

Комбіновані енергетичні системи на основі відновлюваних джерел

Комбіновані енергетичні системи на основі відновлюваних джерел з комплексним використання систем акумулювання енергії. Комбіновані енергосистеми традиційної та відновлюваної енергетики. Автотранспорт на основі відновлюваних джерел енергії.

Комбіновані енергетичні системи на основі відновлюваних джерел з комплексним використання систем акумулювання енергії

При визначенні ефективності застосування комбінованих енергосистем на основі відновлюваних джерел енергії з комплексним використання систем акумулювання енергії в основному необхідно орієнтуватися на сумарний економічний та екологічний ефект E_c :

$$E_c = E_{екон} + E_{екол}, \quad (20.1)$$

де $E_{екон}$ – річний економічний ефект, грн;

$E_{екол}$ – річний екологічний ефект, грн.

Економічна ефективність комбінованої енергосистеми визначається:

$$E_{екон.} = \sum_{i=1}^n (B_i + \kappa_i E_n), \quad (20.2)$$

де B_i – щорічні експлуатаційні витрати, грн/рік;

E_n – нормативний коефіцієнт ефективності капітальних вкладень, років (0,15);

κ_i – вартість установки, грн.

Знак суми в даних розрахунках означає набір окремих установок комбінованої енергосистеми.

Величина експлуатаційних затрат визначається:

$$\sum B = \sum_{i=1}^{nm} q_i C_T - \sum (E_n + n) k_i, \quad (20.3)$$

де q_i – кількість тепла або енергії, виробленої елементом комплексу із використання ВДЕ;

C_T – вартість одиниці енергії заміщеного органічного палива;

n – коефіцієнт амортизаційних і ремонтних відрахувань.

Екологічна ефективність визначається скороченням витрат на нейтралізацію наслідків дії шкідливих викидів, що утворюються при згорянні органічного палива, яке буде замінюватися при впровадженні комбінованих енергосистем на основі відновлюваних джерел енергії:

$$E_{\text{екол}} = Q_p C_n, \quad (20.4)$$

де Q_p – середньорічна кількість заміщеного органічного палива, т у.п.;

C_n – витрати на нейтралізацію шкідливих викидів, грн/т у.п.

Додатковою складовою економічного ефекту при впровадженні комбінованих енергосистем на основі ВДЕ може бути вартість надлишкових квот на викиди парникових газів.

В результаті науково-експериментальних досліджень, проведених науковцями Інституту відновлюваної енергетики НАН України, визначено ефективні області застосування різних типів акумуляторів енергії у галузі відновлюваної енергетики, оптимальні режими експлуатації електрохімічних акумуляторів і створено нові високоефективні теплоакумуляючі матеріали. На їх основі розроблено і впроваджено системи акумуляування енергії відновлюваних джерел:

–система аварійного електрозабезпечення житлових та промислових об'єктів;

–система акумуляування електроенергії для вітроустановок;

–система акумуляування електричної енергії на основі водню для вітроводневої станції потужністю 100 кВт (впроваджена у Фолькицентрі, Данія).

Для стабільного і надійного енергозабезпечення споживачів ВДЕ розроблено ряд енергетичних систем із застосуванням різних комбінацій відновлюваних джерел енергії та комплексним використанням різних типів акумуляторів електричної і теплової енергії:

–автономна система енергопостачання на основі вітрових і сонячних установок, електрохімічних акумуляторів та автоматичної системи управління режимами роботи;

–комплексна енергосистема на основі вітрових і сонячних енергоустановок і систем акумуляування теплової та електричної енергії для індивідуальних фермерських господарств, житлових і промислових об'єктів;

–комплексна енергосистема для населеного пункту із застосуванням вітрових, сонячних енергоустановок, систем акумуляування електричної енергії, розгалуженої системи акумуляування теплової енергії та міжсезонної системи акумуляування на основі водню.

На даному етапі першочерговою задачею є створення і впровадження вже розроблених комбінованих енергосистем у різних кліматичних зонах України із використанням рекомендацій, розроблених у результаті аналізу попередніх досліджень, проведення натурних досліджень, напрацювання і отримання конкретних результатів з метою визначення оптимальних технічних показників та режимів роботи енергетичних пристроїв, що входять до складу комбінованих енергосистем, та всього комплексу в цілому.

Створені комбіновані енергетичні системи на основі відновлюваних джерел енергії та системи акумуляування пройшли стадію науково-дослідних робіт, частково забезпечені конструкторською документацією і знаходяться на

стадії підготовки до виготовлення дослідних демонстраційних зразків. Визначено ефективність застосування в умовах України ряду комбінованих енергосистем на основі відновлюваних джерел енергії, найбільш перспективні з них представлено нижче.

Комбіновані енергосистеми традиційної та відновлюваної енергетики.

Комбінована енергосистема для енергозабезпечення житлових та промислових об'єктів сільського господарства. До складу комбінованої енергосистеми входять: вітроелектрична установка (ВЕУ) потужністю 15 кВт, фотоелектрична сонячна батарея (ФБ) потужністю 50 Вт, геліоустановка з робочою поверхнею 5 м², біогазова установка (БГУ) з робочим об'ємом біореактора 3 м³, батарея електрохімічних акумуляторів ємністю 80 А·год, тепловий акумулятор енергоемністю 100 кВт·год.

За попередніми оцінками, при річній експлуатації такого комбінованого енерговузла сумарна економія традиційних ПЕР становить близько 16,5 т у.п., в тому числі: вітроустановка, при коефіцієнті використання 0,3, який досягається завдяки застосуванню системи акумуляування електричної енергії та блоку автоматичного управління режимами роботи комбінованої енергосистеми, заощаджує близько 14,2 т у.п./рік; фотобатарея – близько 0,052 т у.п./рік; геліоустановка з тепловим акумулятором заощаджує близько 1,3 т у.п./рік; біоустановка виробляє приблизно 1100 м³ біогазу, що еквівалентно 0,9 т у.п./рік (1 м³ біогазу \approx 0,8 кг у.п.).

Вітроустановка і фотобатарея виробляють електроенергію, яка розподіляється для подальшого використання за допомогою блоку автоматичного управління режимами роботи комбінованої енергосистеми. У першу чергу проводиться заряд акумуляторних батарей, які забезпечують живлення ламп освітлення, радіо- і телеапаратури, в другу чергу йде заряд теплового акумулятора. На тепловий акумулятор поступає вся надлишкова і некондиційна електроенергія від вітроустановки і фотобатареї та тепла енергія від геліоустановки.

Геліоустановка використовується в основному для забезпечення потреб гарячого водопостачання і, часково, потреб тепла для опалення. В теплі місяці року, коли знижуються потреби господарства в тепловій енергії, гаряча вода, отримана в процесі експлуатації геліоустановки, використовується для підтримання технологічної температури в біоенергетичному реакторі.

Біогазова установка виробляє біогаз, який поступає в основному на кухонні потреби, надлишки біогазу використовуються на гаряче водопостачання та опалення. В холодну пору року надлишки біогазу використовуються на власні потреби біогазової установки – для підтримання технологічної температури реакції анаеробного зброджування.

Завдяки введенню в енергосистему акумуляторів енергії коефіцієнт корисного використання вітроустановки досягає 0,25-0,3, тоді як без систем акумуляування коефіцієнт корисного використання знаходиться в межах 0,1-0,15. При цьому вироблення електроенергії вітроустановкою в першому

випадку становить: 32850-39420 кВт·год за рік, при цьому заощаджується близько 11,8-14,2 т у.п./рік; в другому випадку – 13140-19710 кВт·год за рік, економія палива становитиме близько 4,73-7,1 т у.п./рік.

Автономна комбінована енергосистема. Призначена для автономного електропостачання об'єктів, віддалених від промислової електромережі (маяків, пасовищ, військових об'єктів, садових будинків та ін.).

До її складу входять: вітроустановка потужністю 2 кВт, сонячна фотобатарея потужністю 50 Вт, батарея нікель-кадмієвих акумуляторів ємністю 80 А·год, автоматична система управління режимами роботи (АСУ).

Означена комбінована енергосистема без застосування акумуляторів енергії здатна виробити близько 1,75 МВт·год електроенергії за рік ($\text{ККВ} \approx 0,1$). Завдяки застосуванню системи акумуляції електричної енергії та блоку автоматичного управління режимами роботи коефіцієнт корисного використання вітроустановки підвищується до 0,3, виробництво електроенергії – до 3,2 МВт·год за рік з урахуванням ККД електрохімічних акумуляторів. Середньорічна економія органічного палива при цьому становить близько 1,1 т у.п./рік.

Автономна енергосистема такого складу застосовується у випадках електроживлення споживачів постійним струмом та напругою 12 В (освітлення, теле- та радіоапаратура). Залежно від потреб споживачів, до складу автономної енергосистеми може вводитись інвертор, який забезпечує можливість подачі споживачам електроенергії напругою 220В, 50 Гц.

Енергосистема може також ефективно використовуватись для катодного захисту трубопроводів.

Системи акумуляції електричної енергії. Найбільш прийнятними на даний час для акумуляції електричної енергії ВДЕ є лужні нікель-кадмієві та кислотні свинцеві акумулятори. Розроблено систему резервного електропостачання для автономних об'єктів та для роботи в традиційних енергосистемах. Розрахунок енергоємності системи проводиться в залежності від потреб споживачів і параметрів джерела енергії; система формується набором модулів акумуляторних батарей у кількості, що забезпечуватиме отримання необхідних технічних показників. Батарея лужних нікель-кадмієвих акумуляторів енергоємністю 80 А·год забезпечує підвищення ефективності електроенергетичного обладнання сонячних та вітрових енерго-установок і дозволяє додатково економити близько 0,5 т у.п./рік.

Розроблено і виготовлено демонстраційний зразок системи резервного електроживлення комунальних та промислових об'єктів для нетрадиційної та традиційної енергетики.

Системи акумуляції тепла і холоду, що базуються на використанні теплоакумулюючих матеріалів з фазоперехідною структурою. Енергоємність нових теплоакумулюючих матеріалів такого типу становить 100-120 кВт·год/м³, ресурс роботи – більше 5000 циклів. При експлуатації теплового акумулятора з робочим об'ємом 1 м³ накопичується і використовується протягом року 12-15 МВт·год теплової енергії, що еквівалентно 1,5-1,8 т у.п.

Теплові акумулятори мають найбільш високий ККД із всіх застосовуваних акумуляторів на даний час – 0,95, при розміщенні їх у житлових або робочих приміщеннях втрати по саморозряду можна не враховувати – теплота саморозряду забезпечує опалення приміщень.

Теплові акумулятори та акумулятори холоду мають найбільш широку область застосувань у відновлюваній енергетиці – в активних сонячних установках гарячого теплопостачання та опалення, в системах пасивного теплопостачання, в комплексі з різними установками нетрадиційної і традиційної енергетики, в технологічних процесах та ін.

При впровадженні теплових акумуляторів на основі фазоперехідних середовищ із загальним робочим об'ємом 1000 м³ економія органічного палива становитиме 1650 т у.п./рік, впровадження до 2010 року та експлуатація теплових акумуляторів та акумуляторів холоду з робочим об'ємом 10000 м³ дасть можливість заощадити 16500 т у.п./рік.

Вітроводнева станція. Основними елементами вітроводневої станції є вітроелектричний агрегат та міжсезонна система акумуляування енергії на основі водню. Система акумуляування має у своєму складі електролізну установку СЕУ-4 (продуктивність по водню 4 нм³/год), обладнання для зберігання водню і кисню та перетворення водню в енергію необхідного споживачам виду. Для отримання електричної енергії використовуються паливні водень-кисневі елементи та мотор-генератор. Для забезпечення потреб споживачів у тепловій енергії водень спалюють у пальниках побутового та промислового призначення при деяких змінах у конструкції газових пальників.

Тепловий акумулятор служить для утилізації технологічного тепла процесу електролізу води, що значно підвищує загальний ККД системи акумуляування.

В проекті передбачено також різні варіанти використання водню та його паливних сумішей з бензином в якості палива для заправки автотранспорту.

В Україні на протязі останніх 35 років проводяться науково-дослідні роботи щодо отримання, зберігання і використання водню як енергоносія в галузі відновлюваної енергетики та застосування його як палива в автотранспорті. Національна академія наук України має значний науковий потенціал у даній галузі, підтверджений прикладним використанням. Наприклад, діюча вітроводнева станція, впроваджена вперше у Європі в 1994 році у Фолькецентрі в Данії за участю вчених Інституту відновлюваної енергетики НАН України. Досвід експлуатації підтвердив ефективність її використання.

В результаті останніх досліджень визначено недоцільність застосування для отримання водню електролізного обладнання російського виробництва. В даний час випускаються електролізні установки з більш високими техніко-економічними показниками, зокрема електролізні установки італійського виробництва типу WERDER MODEL.

Як приклад, можна привести участь Інституту відновлюваної енергетики НАН України у створенні вітрофотоелектричних енергосистем для енергопостачання маяка на Тендрівській косі, у проектуванні вітродизельної

енергосистеми на острові Зміїний та створенні комплексної енергосистеми на острові Тузла, що виконувалися згідно рішення Президента України і Кабінету Міністрів України.

Особлива увага звертається на необхідність розробки комплексних систем енергопостачання на основі відновлюваних джерел енергії для таких об'єктів, як великі будинки відпочинку, санаторії, ботанічні сади, заповідні зони, які розкидані на великих територіях. Їх енергопостачання з одного боку ускладнене, а з іншого – вимагає використання "чистих" джерел енергії. Інститутом відновлюваної енергетики НАН України розроблена і здійснюється як демонстраційна система науково-технічний проект "Чиста енергія". Цей проект придатний для даних об'єктів, ним передбачене екологічно чисте електро- і тепlopостачання і створення екологічно чистих транспортних засобів Ботанічного саду НАН України в м. Києві за рахунок енергії відновлюваних джерел.

Таким чином, стабільне і безперебійне забезпечення споживачів енергією необхідної якості за рахунок комплексного використання енергії відновлюваних джерел і акумуляторів енергії збільшує шанси розвитку відновлюваної енергетики в різних галузях господарювання, особливо автономної відновлюваної енергетики.

Перспективи впровадження комбінованих енергосистем на основі відновлюваних джерел енергії та систем акумулявання. Для створення нових ефективних комбінованих енергосистем та визначення оптимальних режимів їх експлуатації необхідний подальший розвиток наукових основ відновлюваної енергетики із застосуванням сучасної матеріально-технічної бази, методичного та інформаційно-аналітичного забезпечення, що прискорить виконання науково-дослідних, проектно-конструкторських та експериментальних робіт із впровадженням комбінованих енергосистем на основі відновлюваних джерел енергії.

Оскільки застосування комбінованих енергетичних систем фактично є способом підвищення ефективності окремих енергоустановок на основі ВДЕ, то і потреба в них залежатиме від обсягів впровадження та можливостей комплексного застосування різного енергетичного обладнання за основними напрямками розвитку відновлюваної енергетики.

На найближчу перспективу найбільшої ефективності можна досягти при впровадженні комбінованих енергосистем на основі відновлюваних джерел енергії у місцях недостатнього забезпечення електроенергією та на об'єктах, віддалених від електромережі. Розроблений і рекомендований до впровадження комплексний енерговузол для енергозабезпечення житлових та промислових сільськогосподарських об'єктів, у тому числі індивідуальних фермерських господарств, розташованих у місцях, віддалених від промислової електромережі, заощаджує близько 16,5 т у.п. за рік (з урахуванням загальної кількості виробленої енергії – електроенергії, теплової енергії та енергії біогазу). При впровадженні навіть одного такого комплексу в кожному селі України, де є нагальна потреба в додаткових джерелах енергії (загальна кількість населених пунктів в Україні близько 300 тис.), обсяг впровадження

становитиме 300 тис. штук, а економія паливно-енергетичних ресурсів – 4950 тис. т у.п. на рік.

Потреба в системах акумулювання залежить від обсягів впровадження енергетичного обладнання на основі відновлюваних джерел енергії, яке в процесі експлуатації не може досягти необхідних показників без застосування накопичувачів енергії. Так, експлуатація геліотехнічного обладнання недостатньо ефективна без використання акумуляторів тепла або холоду; при експлуатації автономних вітроелектростанцій без акумуляторів електричної енергії використати можна лише 20-30% електроенергії від технічно можливого обсягу її виробництва.

Досяжні річні обсяги виробництва електроенергії для автономних вітроелектростанцій в Україні становлять 16 млрд кВт·год. Середньорічна економія енергетичних ресурсів за рахунок застосування систем акумулювання в автономній вітроенергетиці становитиме:

– за максимальним рівнем (підвищення коефіцієнта корисного використання (ККВ) вітроустановок на 70%) – 11,2 млрд кВт·год або 4,0 млн т у.п. в рік;

– за мінімальним рівнем (підвищення ККВ на 30%) – 4,8 млрд кВт·год або 1,7 млн т у.п. на рік.

Для оцінки обсягів економії енергетичних ресурсів у даному випадку застосовувалась питома величина умовного палива, що витрачається на виробництво електроенергії – 0,36 кг/1 кВт·год.

Наведені розрахунки на прикладі автономної вітроенергетики показують величину можливих обсягів економії органічного палива та підвищення рівня ефективності обладнання на основі відновлюваних джерел енергії при застосуванні систем акумулювання.

За попередніми оцінками, потреба в енергосистемах електропостачання на основі відновлюваних джерел енергії з використанням електрохімічних нікель-кадмієвих акумуляторів для резервного живлення електроприладів тільки для сільського господарства та побуту становить близько 5000000, що дозволить заощадити біля 2500 тис. т у.п. на рік тільки за рахунок використання акумулюючих пристроїв (завдяки застосуванню системи акумулювання електричної енергії енергоємністю 80 А·год можна заощадити близько 0,5 т у.п./рік).

Техніко-економічні характеристики комбінованих енергосистем відновлюваних джерел енергії визначаються, крім техніко-економічних характеристик окремих енергетичних установок, акумулюючих пристроїв та допоміжного обладнання, ще й мірою взаємодії та взаємозамінності їх складових елементів в основному своєму призначенні – стабільному безперервному енергозабезпеченні споживачів енергією необхідного виду і якості.

Результати розрахунків і досліджень, отримані при проведенні лабораторних та натурних випробувань, показали, що експлуатація комбінованого енергетичного вузла (сонячна і вітрова установки, системи акумулювання теплової та електричної енергії) навіть в умовах Київської та

Чернігівської областей забезпечує економію біля третини органічного палива, необхідного для енергопостачання індивідуальної фермерської садиби. При цьому системи акумулювання підвищують коефіцієнт корисного використання вітрових та сонячних енергоустановок на 30-50%, тобто мінімум третина енергії, яка не могла бути використана, переходить у прийнятну для споживача якість. Завдяки цьому в комбінованих енергосистемах можна застосувати енергоустановки на основі відновлюваних джерел енергії меншої потужності, ніж при одиничному їх використанні, і, відповідно, зменшити капіталовкладення, які для установок відновлюваної енергетики на даний час достатньо високі.

Можливості застосування водню у промисловості та в комунальному господарстві є досить широкими. Сучасні дослідження показують, що водень може покрити до 85% всіх енергетичних потреб у секторі індустрії і 92% потреб побутового сектору і сектору індивідуальних споживачів.

Автотранспорт на основі відновлюваних джерел енергії.

Застосування водню в якості моторного палива. Важливим завданням при застосуванні водню в якості моторного палива є вибір способу його зберігання на борту автомобіля. Це обумовлено в першу чергу тим, що в певному об'ємі вміщується значно менше водню, ніж інших видів палива (водень найлегший серед хімічних елементів). Так, при кімнатній температурі та нормальному атмосферному тиску водень займає приблизно в три тисячі разів більший об'єм, ніж бензин з таким же енергетичним еквівалентом. Тому для заправки автотранспорту необхідно використовувати такі форми зберігання водню, які можуть забезпечити відповідну кількість енергії – стиснений водень, водень у криогенному стані або водень в наноматеріалах.

Найбільш освоєним у даний час є зберігання стисненого під високим тиском газоподібного водню у водненепроникних балонах. Технічно вирішеною є проблема використання стисненого водню, використання сучасних матеріалів гарантує високу надійність водневих балонів. Однак їх застосування значно збільшує масу автомобіля і зменшує корисну площу – балон з 1кг стисненого при 70 МПа водню займає в 7,5 разів більше місця, ніж енергетично еквівалентна кількість бензину. Трудність полягає в тому, що необхідні достатньо міцні ємності, що витримують сотні атмосфер і не є проникними для молекул водню. Таким вимогам у значній мірі задовольняє продукція фірм *Quantum*, *Dynatek* і *Nissan*, що поставляють на ринок композитні балони (тришарові вуглецево-волоконні, футеровані зсередини алюмініюваним поліефіром), які витримують тиск до 70 МПа. При розгляді теоретичних характеристик (об'ємної і масової щільності водню) таких, а також традиційних сталевих балонів від тиску в ємності встановлено, що зі збільшенням тиску знижується масовий вміст водню, а при досягненні певного значення (80 і 500 МПа для сталевих і композитного балонів) починає зменшуватися і об'ємна щільність водню.

Перспективним способом зберігання водню є застосування гідридів металів, однак за масогабаритними показниками цей спосіб навіть при

використанні найбільш ефективних гідридів – залізо-титанових та нікель-магнієвих – поки що поступається криогенному методу зберігання (рідкий водень займає значно менше місця). Розвиток криогенних технологій із застосуванням наднизьких температур дозволяє без особливого зменшення корисного об'єму автомобіля зберігати на його борту запас водню, достатній для пробігу 500 км і більше.

Таким чином, на даний час ні один із методів зберігання водню (під високим тиском, у рідкому стані, у вигляді гідридів інтерметалічних сполук) не задовольняє вимогам до акумуляторів водню, які були сформульовані Департаментом енергетики США для мобільних систем зберігання, вміст водню повинен бути наступним:

- за масою – не менше 6,5% (мас.);
- за об'ємом – не менше 63 кг/м³.

За вимогами Міжнародної енергетичної агенції, акумулятор водню повинен вміщувати не менше 5% (мас.) водню і виділяти його при температурі не вище 373 К.

Показники різних систем для акумуляції т зберігання водню при використанні його в якості моторного палива наведені в таблиці 20.1.

Останнім часом виконуються роботи щодо створення систем зберігання водню з використанням фулеронів, вуглецевих нановолокон і вуглецевих нанотрубок, які зараз вважаються найбільш перспективним методом вирішення проблеми застосування водню на транспорті. В даному випадку застосовується метод зворотної сорбції водню, частіше за все в якості сорбентів застосовують підготовлені різними способами сорти активованого вугілля. При використанні методу адсорбції водню вуглецевими наноструктурами кількість адсорбованого водню пропорційна площі поверхні наноструктурного вуглецю (максимальне значення 1315 м/г наноматеріалу). В даний час немає яких-небудь експериментальних доказів того, що значення масової щільності водню у вуглецевих наноструктурах і в рідкому водні можуть стати зіставними.

Таблиця 20.1. Показники різних систем для акумуляції і зберігання

ВОДНЮ

Середовище	Вміст водню, кг/кг	Об'ємна щільність водню, кг/м ³	Масова щільність енерговмісту, кДж/кг	Об'ємна щільність енерговмісту, кДж/л
MgH ₂	0,070	100	9,93	14,33
Mg ₂ NiH ₄	0,032	80	4,48	11,49
FeTiH ₁₉₅	0,018	100	2,48	13,62
UNi ₅ H _{7,0}	0,014	90	1,94	12,63
Комплексні сполуки (AlH ₄ , Композитний балон, 70МПа	Менше 0,06	Менше 30	Менше 25,56 8,52	Менше 21,3 4,3
Перспективна розробка	0,13	35	19,3	5,1
Рідкий водень, бак місткістю	0,13	71	19,3	10
Рідке паливо:				
бензин	0,16	НО	40	34
метанол	0,12	100	13,6	17

Окремим напрямом світових досліджень є дослідження речовин для створення водневих картриджів на основі боранів та борогідридів лужних металів для автомобільного транспорту. Американська компанія *Millennium-Cell* пропонує для використання в якості джерела водню в такому картриджі 5% лужний розчин борогідриду натрію. Якщо в розчин опустити рутенієвий каталізатор, то з нього з високою швидкістю починає виділятися водень [6]. Такою реакцією досить просто управляти, а очистку водню можна проводити, пропустивши його через паладієву мембрану. Недоліком методу є неефективна регенерація метаборату натрію в вихідний матеріал. Тому розробляється ряд методів із використанням реакцій зі спиртами, зв'язування борогідридів різними бензоаміченими краун-ефірами, що може забезпечити регенерацію продуктів реакції, тобто екологічність процесу. Такий картридж ставиться на борт автомобіля і водень дає енергію двигуну, а після повного використання водню повертається на заправку, де проводиться регенерація вихідних речовин. Більш ефективним, однак, є використання таких картриджів у паливних елементах з ККД більше 70%, які мають високі вимоги до якості водню.

Досить ефективним методом є використання в автомобільному транспорті комбінованого палива у вигляді добавок водню до традиційного палива. Доцільність застосування добавок водню в якості активатора стосовно газотурбінних двигунів та двигунів внутрішнього згорання (ДВЗ) досить ретельно досліджена; у якості критерію ефективності основними є такі показники, як зменшення витрат пального та токсичності відхідних газів, поліпшення процесу сумішеутворення.

Відомо, що для елементарної реакції хімічного перетворення необхідне тісне зближення молекул незалежно від того, поглинається чи виділяється енергія в результаті обміну. Для подолання сил відштовхування необхідна

певна енергія – енергія активації. При взаємодії складних молекул, якими є молекули вуглеводнів пального, система не проходить повністю через атомарний стан, однак є вільні радикали (найважливішим із яких є водень), які зберігаються в ході реакцій. У реакціях горіння водню в кисні вільні радикали присутні у невеликій кількості, однак їх вкрай висока реакційна здатність спричиняє те, що саме вони і визначають швидкість хімічної реакції.

Завдяки наявності в зоні хімічної реакції активатора, яким є вільний молекулярний або атомарний водень, знижується середнє значення енергії активації, в результаті чого реакція протікає більш повно, закінчується швидше, підвищується ентальпія продуктів згорання. Введена в систему енергія у вигляді активованих атомів і молекул в кінцевому результаті реалізується у вигляді теплоти реакції.

Таким чином, введення водню в камеру згорання двигуна спричиняє якісні зміни процесу енергоутворення. Врахування добавок водню в рамках термодинамічного розрахунку зводиться до врахування змін ентальпії вихідного палива.

В ході проведених раніше досліджень Центрального Науково-дослідного автомобільного і автотранспортного інституту (НАМІ, м. Москва) спільно з Інститутом проблем машинобудування АН України було встановлено: при нинішньому рівні розвитку техніки створення запасів водню на борту автомобіля можна говорити тільки про проміжний варіант – комбіноване паливоживлення воднем і бензином, що, загалом, теж досить вигідно з екологічного погляду. Зокрема, доведено, що викиди монооксиду вуглецю при такому живленні знижуються в 10 разів, кількість незгорілих вуглеводнів – у 2-3 рази, оксидів азоту – в 2 рази, а паливна економічність АТС поліпшується в середньому на 17%. Одночасно не припиняються роботи зі створення двигунів, що працюють на сумішах водню з оксидом або діоксидом вуглецю, які одержуються безпосередньо на борту автомобіля шляхом каталітичного розкладання метанолу за допомогою теплоти, охолоджуючою рідиною, що відводиться, і відпрацьованими газами двигуна.

Двигун, встановлений на автомобіль "Москвич-2141", випробовували на бігових барабанах за міським їздовим циклом і в дорожніх умовах. У результаті каталітична конверсія метанолу за рахунок утилізації до 30% незворотних теплових втрат дозволила одержати з нього до 95% водневої суміші з сумарною теплотворною здатністю 5700 ккал/кг.

Переведення двигуна внутрішнього згорання на водень не потребує корінної його переробки. В основному це стосується системи подачі водню в циліндр двигуна і регулювання системи запалення. Проведені дослідження показали, що можлива також робота ДВЗ на суміші водню з вуглеводневим паливом. Причому добавка водню всього 5-10 мас.% спричиняє зниження витрат бензину на 40% і зменшенню токсичних продуктів у викидних газах на 80%, а вміст CO (3 г/км) виявляється навіть нижчим, ніж при спалюванні природного газу.

У розвинених країнах інтенсивно розвивається новий напрям в енергетиці, який було покладено в ракетно-космічній техніці – використання

водневих паливних елементів нового покоління дозволяє підвищити ККД енергоуста-новок до 70-80%. У найближчий час ряд зарубіжних фірм планує серійний випуск таких енергоустановок для комерційного використання. В них водень буде отримуватися конверсією метану безпосередньо в енергоблоці. Так, автомобільна фірма "Фіат" готує серійний випуск електромобілів.

Для демонстрації можливості використання водню як палива для міського комплексного транспорту ЄС фінансує разом з урядом канадської провінції Квебек близько 30 приватних компаній (у тому числі Air Liquide Tussen і Deutsche Aerospace), що розробляють автобуси, які працюють на рідкому водні. Продукти згоряння цих двигунів не мають у своєму складі CO, а кількість NO_x у викидах у 28 разів менше, ніж у дизельних двигунів. Автобус може проходити 400 м за 44 с замість 38 с на дизельному двигуні; вартість 1 км пробігу приблизно на 30% вища, ніж у традиційних автобусів. Автономність становить поки що 70 км, однак є передумова для збільшення цієї характеристики до 300 км.

У Мадриді в рамках європейських випробувань проходить експлуатаційні випробування перший автобус Mercedes Citaro компанії Evobus, обладнаний паливними елементами. Ще два подібні автобуси повинні з'явитися там у серпні цього року. Випробування таких автобусів продовжуються понад два роки, і 10 європейських міст послідовно одержують три такі автобуси. Цьому проекту, вартість якого 21 млн євро, сприяла Комісія Євросоюзу в рамках європейської програми CUTE (Clean Urban Transport for Europe – чистий міський транспорт для Європи). Метою випробувань, разом із перевіркою тривалості роботи паливних елементів, є також випробування практичного забезпечення воднем. Тому кожне з десяти міст створило у себе відповідну інфраструктуру. Наприклад, у Рейк'явіку водень одержують за допомогою електролізу, в Мадриді – через утворення пари з природного газу. Ще 27 автобусів, що працюють на паливних елементах, до кінця 2003 р. повинні послідовно пройти експлуатацію в Барселоні, Рейк'явіку, Гамбурзі, Штутгарті, Лондоні, Амстердамі, Порто, Стокгольмі та Люксембурзі.

В Інституті відновлюваної енергетики розроблено вітроводневу заправну станцію, при цьому розглянуто різні варіанти заправки автотранспорту з використанням водню.

Особливо привабливим є комплексне використання енергії відновлюваних джерел на об'єктах, віддалених від ліній електропередач і важкодоступних місцях для їх підведення. В даному випадку витрати на доставку електроенергії можуть значно перевищувати витрати на установку устаткування на основі відновлюваних джерел енергії.

Рідке моторне біопаливо. Перші спроби використання рослинних олій для приводу дизельних двигунів були зроблені їх винахідником Рудольфом Дизелем і репрезентовані на Міжнародній виставці в Парижі у 1900 році. Проте стрімкий розвиток нафтового ринку призвів до того, що лише під час паливної кризи 1970 року знову відновився інтерес до цієї проблеми, який поступово збільшується у зв'язку з перспективою вичерпання традиційних палив при одночасному розвитку транспорту, прагненням обмежити емісію шкідливих

для навколишнього середовища складових елементів викидних газів, особливо в урбанізованих регіонах та унікальних природних куточках світу, прогресуючим надлишком продовольства в розвинених країнах.

Помітний і швидкий розвиток транспорту справляє шкідливий вплив на навколишнє середовище. Транспортні засоби створюють приблизно 25% емісії CO₂ на нашій планеті. Це спричиняє пошуки нових видів енергії, розробки в цій галузі є одним із основних пріоритетів світової науки.

Необхідність заміни бензину, хоча б часткової, на екологічно чисті палива пов'язана з нагальною необхідністю зменшення шкідливого впливу автотранспорту на оточуюче середовище.

Виробництво та використання спирту як палива має широку підтримку в Бразилії, США, Швеції, Франції, Японії, Австралії та інших країнах. У Бразилії розроблена програма використання етанолу як альтернативного палива, що на 22% (за об'ємом) замінить бензин. Етанол одержують у результаті переробки спеціально для цього вирощеної цукрової тростини. Більше 70% бензину, що поступає на продаж, має 10-процентну добавку етанолу, і 80% автопарків цю добавку використовують. В США виробництво етанолу різко збільшилось, реалізується велика програма заміни бензинового палива етанолом, отриманим при переробці кукурудзи та інших зернових культур. Однак попит на етанол у США перевищує виробництво, тому його імпортують із Бразилії. Для споживачів етанолу в США встановлено субсидії (до 25%), що робить бензино-етанольні суміші конкурентоспроможними.

Одним з альтернативних "чистих" палив є метанол, який ефективно може вироблятися з деревинних відходів.

За прогнозами спеціалістів, у найближчому майбутньому передбачається покриття значної частки (до 12%) світової потреби в дизельному пальному за рахунок рідкого біодизпалива. Застосування біодизелю та біоетанолу в агропромисловому виробництві та сільській місцевості дозволяє в комплексі вирішувати проблеми їх забезпечення енергоресурсами, дефіцитними білковими шротами, калійно-фосфорними добривами та іншими цінними продуктами. Рідкі біопалива знаходять важливе застосування у міському господарстві – на транспорті.

Світовий ринок виробництва біодизельного палива на основі рослинних олій, що безпосередньо пов'язаний з агропромисловим виробництвом, має стабільну динаміку розвитку, особливо стрімку в Європі.

США планують у 2012 році виробляти 20 млн т рідких біопалив, у тому числі на експорт. Беручи до уваги обсяги виробництва сої у США, найбільше значення для виробництва рідких біопалив має соєва олія, а на другому місці за кількістю сировини (близько половини кількості соєвої олії) стоять жири тваринного походження та вторинні рослинні жири.

Для України, у зв'язку з перспективами розвитку сировинної бази, важливим завданням є організація власного виробництва біодизелю та біоетанолу та створення на їх основі парку екологічного транспорту.

Лекція 21

Тенденції та рівні розвитку відновлюваної енергетики в світі та в Україні

Основні тенденції, напрями та рівні розвитку відновлюваної енергетики в світі та в Україні. Визначення ефективності застосування відновлюваних джерел енергії залежно від кліматометеорологічних та географічних особливостей територій.

Основні тенденції, напрями та рівні розвитку відновлюваної енергетики в світі та в Україні.

Використання ВДЕ в світі розглядається як один із найбільш перспективних шляхів вирішення енергетичних проблем. Наявність невичерпної ресурсної бази та екологічна чистота ВДЕ є визначальними перевагами в умовах вичерпання ресурсів органічного палива та зростаючих темпів забруднення довкілля.

До країн, які найбільш інтенсивно розвивають технології і ринки ВДЕ, слід віднести США, країни ЄС (в першу чергу, Швецію, Австрію, Фінляндію, Німеччину, Іспанію), Японію, Китай. Останнім часом активізувалися в цьому напрямі Бразилія і Індія. Зростає вартість акцій компаній, які займаються НВДЕ. Все це дасть можливість пришвидшити розвиток технологій та їх впровадження у промислове виробництво.

Останнім часом значно прискорився розвиток відновлюваної енергетики (особливо вітрової, геотермальної та біоенергетики) в країнах, що розвиваються, що можна пояснити ефективною інноваційною політикою Китаю та Індії.

Сьогодні лідером виробництва вітрової та гідроенергетики являється Китай, виробництва енергії біомаси – США, а сонячної енергетики – Німеччина.

Зважаючи на досить швидку окупність інвестицій в ВДЕ та залежно від інноваційних політик країн значне збільшення частки ВДЕ в енергоспоживанні може збільшитися вже в досить близькому майбутньому.

Сьогодні ВДЕ активно замінюють традиційні енергоджерела у трьох сферах життєдіяльності людини:

- 1) виробництво електроенергії;
- 2) забезпечення гарячою водою (опалення приміщень) житлових приміщень з допомогою ВДЕ (сонця, біомаси, тепло Землі) спостерігається у багатьох країнах – наприклад, у всьому світі понад 70 мільйонів домашніх господарств використовують сонячні водонагрівні системи; зокрема, частка Китаю становить 70 % від загальносвітового обсягу (180 ГВт);
- 3) транспортне паливо – біопаливо сприяє скороченню споживання нафти з 2006 року; зокрема, у 2009 році було вироблено 93 мільярди літрів біопалива, що дорівнює приблизно 68 мільярдам літрів бензину, тобто близько 5 % його світового виробництва.

Одним з найбільш перспективних напрямів розвитку світової енергетики в даний час є використання відновлюваних джерел енергії (ВДЕ), що знімає ряд проблем, пов'язаних з використанням традиційних палив. Кінець другого тисячоліття характеризується інтенсивним ростом обсягів використання енергії

ВДЕ у світі.

За період 2000-2011 років у країнах ЄС використання ВДЕ набуло широкомасштабного характеру у електроенергетичній промисловості. Було введено близько 84 ГВт вітрових електричних станцій (ВЕС) та 47 ГВт фотоелектричних станцій (ФЕС), при цьому є тенденція на поступове виведення з експлуатації АЕС (14 ГВт) та електростанцій, що використовують вугілля та нафту (відповідно 10ГВт та 14ГВт). У 2011 році в країнах ЄС було встановлено рекордну кількість фотоелектричних станцій – 21 ГВт.

Загалом встановлена сумарна потужність електроенергетики у 27 країнах ЄС, на кінець 2011 року склала близько 896 ГВт електрогенеруючих потужностей, з них ВЕС склали 10%, ФЕС – 5%, інші види ВДЕ -2%.

За даними міжнародного енергетичного агентства, інвестиції в розвиток відновлюваної енергетики з кожним роком збільшуються. Якщо в 2008 році у розвиток відновлюваної енергетики було інвестовано 130 млрд. дол. США, то в 2011р. – вже 257 млрд. дол. США (табл. 21.1).

Таблиця 21.1. Показники розвитку відновлюваної енергетики в світі

Роки		2009	2010	2011
Інвестиції в нові потужності відновлюваної енергетики	Млрд. долл.США	161	220	257
Встановлена потужність відновлюваної енергетики в світі (не включаючи ГЕС)	ГВт	250	315	390
Встановлена потужність відновлюваної енергетики в світі (включаючи ГЕС)	ГВт	1170	1260	1360
Встановлена потужність ГЕС	ГВт	915	945	970
Сонячні фотоелектричні станції	ГВт	23	40	70
Вітрові електростанції	ГВт	159	198	238
Сонячні колектори	ГВт тепл.	153	182	232
Виробництво етанолу	Млрд. л	73,1	86,5	86,1
Виробництво біодизелю	Млрд. л	17,8	18,5	21,4

Україна має великий потенціал розвитку всіх видів відновлюваної та нетрадиційної енергетики. При цьому проблеми ефективності використання традиційних джерел енергії в Україні все більше загострюються з кожним роком. Причинами цього є застарілі технології, вичерпання ресурсу використання основних фондів генерації електроенергії і тепла, що разом з низькою ефективністю використання палива призводить до значних обсягів шкідливих викидів. Значні втрати при транспортуванні, розподілі та використанні електроенергії і тепла, а також монопольна залежність від імпорту енергоносіїв ще більш ускладнюють ситуацію на енергетичних ринках країни. Враховуючи енергетичну залежність України від постачання органічного палива, а також географічні, науково-технічні й екологічні фактори для України перспективним є освоєння енергії Сонця, вітру, біомаси, малих рік, доквілля та геотермальної енергії.

Негативний стан та тенденції у паливно-енергетичному комплексі України, обумовлені, зокрема, зростанням дефіцитності вітчизняних первинних енергоресурсів, підвищенням їх вартості на світовому ринку та проблемами зовнішнього постачання, недостатньою ефективністю використання наявних паливно-енергетичних ресурсів, практично відсутністю диверсифікацією джерел постачання палива, низькими темпами нарощування обсягів виробництва енергії за рахунок відновлюваних джерел спричиняє проблему не тільки в енергопостачанні, але й створює багато екологічних, економічних та соціальних проблем, зокрема загрозу національній безпеці України.

Криза розвитку традиційних галузей енергетики обумовлена низкою об'єктивних факторів:

Гідроенергетика на великих річках практично вичерпала свої можливості.

Атомна енергетика є найбільш капіталомісткою галуззю електроенергетики (питомі інвестиції в АЕС становлять не нижче 2 тис. дол./кВт.). Значні витрати потребуються на дезактивацію радіоактивних відходів та на ліквідацію АЕС після закінчення терміну її корисної експлуатації (за нормативом – 20 років). Експлуатація АЕС потребує значних витрат води, яка вже перетворилася у дефіцитний ресурс. Будівництво АЕС відволікає значні кошти на тривалі терміни (10 – 15 років), що є додатковим чинником збільшення собівартості. Також, після Чорнобильської катастрофи на Україну ліг тягар ліквідації її наслідків. За розрахунками українських спеціалістів, сумарні економічні збитки для України до 2015 року становитимуть 179 млрд. дол. США (Дані представництва України при Європейському Союзі).

Теплова енергетика опинилася перед проблемою ресурсного забезпечення. Найкраще і колись найдешевше паливо – природний газ – перейшло до розряду дефіцитних, за песимістичними прогнозами вичерпання його світових запасів прогнозується вже в 2040-2050 роках. Внаслідок цього має місце стійка тенденція зростання ціни природного газу, що призводить до зростання ціни електроенергії.

В достатній кількості наявні тільки **енергетичні ресурси вугілля**, але його використання з енергетичною метою пов'язане при застарілих технологіях із великими обсягами викидів, шкідливих для довкілля та здоров'я людей.

Скорочення використання традиційних викопних палив диктується не тільки їх обмеженими запасами, але і вимогами щодо зменшення викидів в атмосферу парникових газів.

Що стосується паливно-енергетичного комплексу України, то забезпечити вирішення енергетичної проблеми можна тільки шляхом вживання комплексних заходів, зокрема за рахунок використання екологічно чистих ВДЕ, із яких найбільш поширеними та доступними для України є вітрова та сонячна енергетика, енергія біомаси та енергія малих річок, геотермальна та енергія довкілля. Енергозаощадження за рахунок використання енергії відновлюваних джерел стало актуальною необхідністю часу, оскільки воно сприяє вирішенню не тільки проблеми енергопостачання, але й багатьох екологічних, економічних та соціальних проблем.

Президент, Верховна Рада, Уряд та Рада національної безпеки і оборони України приділяють увагу розвитку відновлюваної енергетики. Так, згідно доручення Президента України від 22.08.2011 N 1-1/1844 щодо підвищення рівня енергоефективності та скорочення споживання природного газу перед Прем'єр-міністром України поставлено задачу збільшити обсяги використання альтернативних видів палива та стимулювати впровадження енергоефективних технологій і виробництво альтернативних видів палива.

За визначенням Ради національної безпеки і оборони України впровадження енергоефективних технологій і забезпечення енергетичної незалежності України - це одне з основних питань національної безпеки України.

Але у всіх програмних документах практично відсутні конкретні механізми реального фінансового забезпечення та законодавчо-правового стимулювання розвитку відновлюваної енергетики.

У визначенні тенденцій подальшого розвитку паливно-енергетичного комплексу України провідне місце має Енергетична стратегія України на період до 2030 року.

Реновація основних фондів сучасної української електроенергетики потребує колосальних коштів і єдиним виходом з такої кризової ситуації є створення умов для залучення недержавних (зокрема, закордонних) інвестицій. Але, для галузей традиційної української електроенергетики існують суттєві перешкоди, через які недержавні інвестори не ризикують вкладати кошти в ці галузі.

В Україні, існують всі передумови для стрімкого розвитку відновлюваної енергетики.

Основними чинниками розвитку відновлюваної енергетики в Україні є:

- Відсутність в Україні достатніх обсягів власного органічного палива, енергетична залежність від його імпорту.
- Необхідність невідкладного оновлення обладнання в електроенергетиці.
- Прийнятий в Україні державний курс на інтеграцію в Євросоюз, який вимагає досягнення високого рівня використання відновлюваних джерел енергії.
- Гостра потреба у значному покращенні екологічної обстановки в країні.

Інвестори цілком налаштовані вкладати значні кошти в галузі відновлюваної енергетики України. Пояснюється це, в основному, наступними чинниками:

- відновлювана енергетика є достатньо «деполітизованою» галуззю електроенергетики з тієї точки зору, що вітер або сонце неможливо ані перекрити, ані збільшити їх ціну. Це дозволяє інвесторам уникнути ризиків зриву проектів через політичні обставини, а також через невизначеність прогнозованої ціни палива;

- відновлювана енергетика позитивно сприймається місцевими громадами через її екологічну чистоту;
- відновлювана енергетики має кращі економічні показники, ніж атомна енергетика, і спроможна скласти економічну конкуренцію тепловим електростанціям (особливо, з урахуванням зростаючих цін як на енергоносії, так і на квоти на викиди парникових газів);
- відсутність необхідності віддавати кошти за паливо іншим країнам умотивовує державну підтримку відновлюваної енергетики майже в усіх країнах, де вона розвивається.

Тому залучення інвестицій в українську відновлювану енергетику є перспективною справою як для інвестора (надійне отримання прибутку), так і для України (швидке оновлення частини основних фондів в електроенергетиці).

Важливим кроком щодо залучення інвестицій у відновлювану енергетику України стало прийняття у квітні 2009 року Закону України № 1220-VI «Про внесення змін до Закону України «Про електроенергетику» щодо стимулювання використання альтернативних джерел енергії».

Вже на кінець 2011 року встановлена потужність ВЕС склала 151 МВт, ФЕС – 188 МВт, а загальна встановлена потужність відновлюваної енергетики – 414 МВт (табл. 21.2).

Таблиця 21.2 Показники розвитку відновлюваної енергетики в Україні на кінець 2011 року

Тип станцій	Кількість	Встановлена потужність, МВт	
		всього	у т.ч. в 2011г.
Вітроенергетика	11	151	64,3
Сонячна енергетика	18	188	185,7
Малі ГЕС	73	71	2,3
Біоенергетика	2	4	-
Всього:	104	414	262,3

Державне агентство з енергоефективності та енергозбереження України оприлюднило інформацію про розвиток відновлюваної енергетики України в 2011 році. Встановлена потужність електростанцій, що використовують відновлювані джерела енергії, в 2011 році зросла більше, ніж в 2,5 рази, а виробництво електроенергії склало 332 мільйони кВт.год. Найбільш стрімко розвивалася в 2011 році сонячна енергетика, де встановлена потужність зросла із 2,5 МВт до 188 МВт. За даними Міненерговугілля України виробництво електроенергії з ВДЕ у першому кварталі 2012 року (ВЕС, СЕС та з використанням біомаси) склало 109,1 млн. кВт.год, що на 106,0 млн. кВт.год більше ніж у січні-березні 2011 року.

В новій редакції Податкового кодексу передбачено ряд преференцій для підприємств, які виготовляють та використовують енергозберігаюче обладнання, а також обладнання для використання ВДЕ:

- звільнення виробників «зеленої» енергії від податку на прибуток до 2020 року;

- звільнення енергоефективних підприємств від податку на прибуток на 80%;
- звільнення від ПДВ імпорту обладнання для ВДЕ;
- звільнення від ПДВ до 2019 року обладнання для біопалива;
- значна зменшено податки на землю та оренду земельних ділянок для об'єктів енергогенерації з ВДЕ.

Україна разом з Євросоюзом реалізовує програму з енергоефективності в рамках проектів Східноєвропейського партнерства. На виконання взятих Україною зобов'язань щодо розроблення плану імплементації Директиви 2001/77/ЄС, стосовно сприяння використання на внутрішньому ринку електроенергії, виробленої з ВДЕ, у квітні 2011 року Постановою №447 від 27.04.2011р. Кабінетом Міністрів України були затверджені зміни до Державної цільової економічної програми енергоефективності і розвитку сфери виробництва енергоносіїв з ВДЕ та АВП на 2010-2015 роки. Зазначеними змінами передбачено оптимізацію структури енергетичного балансу країни, у якому частка енергоносіїв, отриманих з ВДЕ та АВП, становитиме у 2015 році не менше 10 відсотків.

Встановлена потужність електростанцій на ВДЕ до 2030 року за різними сценаріями розвитку використання ВДЕ у паливно-енергетичному секторі України на період до 2030 року надана на рис. 21.1.

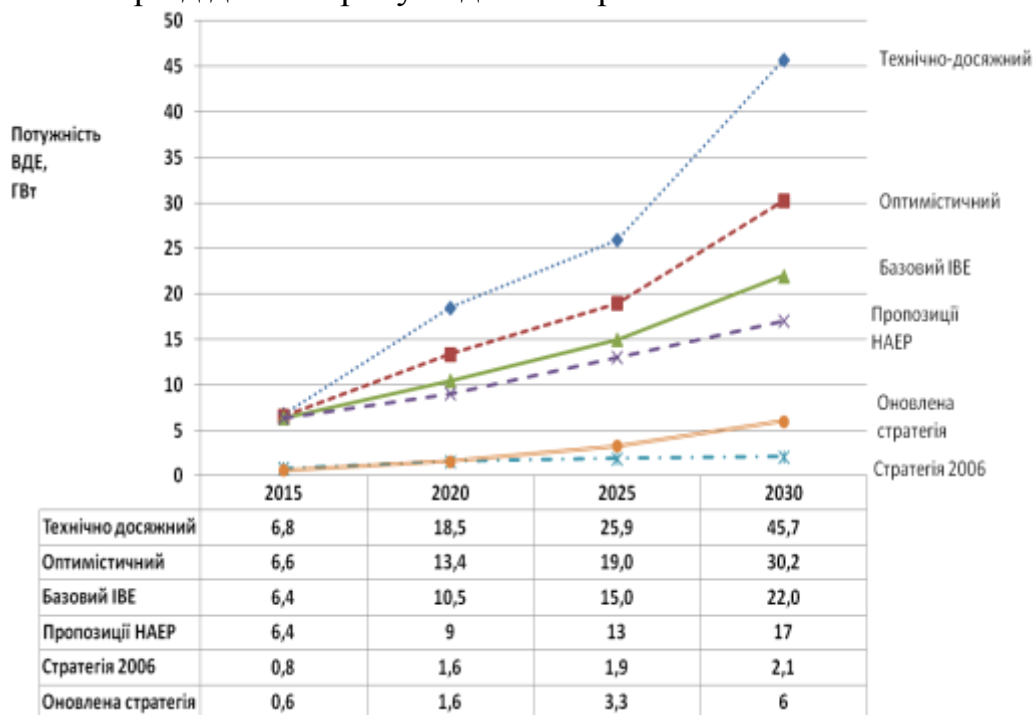


Рисунок 21.1. Встановлена потужність електростанцій на ВДЕ в Україні до 2030 року

Слід зазначити, що Україна має науково-технічний потенціал і необхідну вітчизняну виробничо-технічну базу для налагодження усього технологічного циклу промислового виробництва складових обладнання для використання ВДЕ. Але потрібен час щоб підготувати їх виробництво на українських заводах.

Вже сьогодні можна скоротити споживання природного газу, яке являється актуальною проблемою енергетики України, за рахунок заміщення

традиційного палива енергією відходів сільськогосподарського виробництва та звалищ, яка є одним з перспективних відновлюваних джерел енергії в країні.

Україна має значний потенціал біомаси, доступної для виробництва енергії – близько 31 млн. т у.п./рік. Основними складовими потенціалу є відходи сільського господарства, деревини і, в перспективі, енергетичні культури. Реалізація цього потенціалу на першому етапі до 2020 року може призвести до заміщення 7 млн. т у.п./рік викопних палив (що еквівалентно обсягу 6 млрд. м³/рік природного газу) та зниження викидів парникових газів на 11 млн. т CO_{2-екв.}/рік.

Інститут відновлюваної енергетики НАН України вивчив питання щодо необхідності використання компенсаційних потужностей в енергетичній системі при впровадженні ВДЕ. За рахунок мінливості вітрового навантаження або зміни в часі сонячної інсоляції, робота вітрових та сонячних станцій характеризується нестабільністю генерації електричної енергії протягом доби, що на думку традиційних енергетиків може вимагати резервування за рахунок теплових електростанцій блочного типу.

Зберігання балансу потужностей генерації і споживання електроенергії можливе не тільки за рахунок традиційних теплових електростанцій та великої гідроенергетики, але й з використанням електростанцій на базі ВДЕ (малих гідроелектростанцій, електростанцій на біогазі з енергетичної біомаси, електростанцій на основі інших видів ВДЕ).

Таким чином відновлювана енергетика може бути самодостатньою в плані компенсаційних потужностей ВДЕ в енергетичній системі.

Крім того, вивчення досвіду провідних європейських держав по інтеграції ВЕС в енергосистему показало, що технічні проблеми щодо потреб в додатковому резервуванні практично відсутні. Інтеграція сонячних станцій в енергосистему ще більш сприятлива завдяки ходу сонячної інсоляції синхронно з графіком добового споживання електроенергії.

За дослідженнями Інституту відновлюваної енергетики для України аналіз споживання електроенергії та вітрового потенціалу вказує на незначний вплив ВЕС на загальну стабільність роботи електроенергетичної системи.

Середньоквадратичне відхилення споживаної потужності становить понад 8% від повної потужності. В разі наявності одиначної ВЕС середньою потужністю 5% від загальної потужності енергосистеми, зростання такого відхилення знаходиться в межах одного відсотка, а при розподіленні сумарної потужності ВЕС між двома площадками в різних регіонах (тобто з урахуванням просторової дисперсії) коливання середньоквадратичного відхилення перебувають в межах статистичної похибки. Цей висновок аналогічний до фактичних результатів роботи Північного енергетичного пулу.

За дослідженнями МНТЦ вітроенергетики Інституту відновлюваної енергетики НАН України при зростанні географії розстановки ВЕС вплив на енергосистему коливань потужності окремих станцій ще зменшиться.

Визначення ефективності застосування відновлюваних джерел енергії залежно від кліматометеорологічних та географічних особливостей території.

На відміну від традиційної енергетики відновлювана енергетика має свої особливості, перш за все при використанні відносно невеликих і розосереджених енергетичних модулів, що працюють на відновлюваних джерелах енергії, а також при поєднанні у локальні мережі. Велике значення для ефективного застосування енергоустановок на основі відновлюваних джерел має раціональне розміщення малих енергоустановок, що диктується, з одного боку, наближенням до споживачів, але з іншого – наявністю відповідних відновлюваних ресурсів. Тому точне вивчення просторового розподілу енергетичних ресурсів навколишнього природного середовища набуває першочергового значення для розвитку відновлюваної енергетики.

Клімат України помірно-континентальний, на Південному березі Криму - субтропічний середземноморський. Країна отримує достатню кількість тепла і вологи, що створює сприятливі природно-кліматичні умови на її території.

Україна є найбільшою за площею країною, яка повністю розташована в Європі. Її територія становить 603,5 тис. км². Це 5,7% території Європи і 0,44% всієї площі суходолу в світі. Переважна частина її території (95%) має рівнинний характер, 5% займають гори, які розташовані на заході (Карпатські гори) і на крайньому півдні (Кримські гори). Рівнинний ландшафт України поділяється на три пояси - мішані ліси, лісостеп і степ.

В Україні нараховується понад 73 тисячі річок. Сто з них мають довжину понад 100 км. Річки України належать здебільшого до басейнів Чорного й Азовського морів. Тільки Західний Буг та інші праві притоки Вісли – до басейну Балтійського моря.

Україна розташована у центральній частині Європейського континенту в складних фізико-географічних умовах, що зумовлює своєрідність впливу основних кліматоутворювальних факторів на формування клімату – надходження сонячної радіації, циркуляції атмосфери, а також антропогенної діяльності. Особливості їх прояву залежать від широти місцевості, висоти над рівнем моря, орографії тощо і є індикаторами кліматичних умов місцевості. У західній та північно-західній частинах України клімат м'який із надмірним зволоженням і помірним температурним режимом, у східній і південно-східній – дефіцит опадів і підвищений температурний фон.

Середньорічна кількість годин сонячного сяння зростає в Україні з північного заходу на південний схід і південь з 1700 до 2400. Сумарна сонячна радіація становить на півночі країни 3500-4000, в південних районах — 4600-5200 МДж/м² на рік. Для клімату України характерна часта зміна погоди, що пов'язано з надходженням циклонів (в середньому за рік їх 45) і антициклонів (36).

Знання про клімат України базується на закономірностях просторово-часового розподілу кількісних показників полів основних метеорологічних величин, які характеризують стан атмосфери як однієї з ланок кліматичної системи і залежать як від природних, так і від антропогенних чинників.

Температура повітря, як одна з основних метеорологічних величин, визначає характер та режим погоди, впливає на різнобічну життєдіяльність людини. У зв'язку з глобальними змінами клімату, які впливають на трансформацію регіонального клімату та окремі метеорологічні величини, середня місячна температура повітря в Україні за останні 18 років зазнала значних змін порівняно з періодом 1961 – 1990 рр. Температура повітря стала вищою у більшості місяців і в цілому за рік, лише у вересні, листопаді та грудні вона набула дещо нижчих значень.

Функціонування складного господарського комплексу України неможливе без урахування кліматологічної інформації, яка має широкий спектр використання. Вона необхідна як для вирішення загальних національних завдань, так і для виконання окремих заходів місцевого масштабу. Кліматологічна інформація використовується у процесі планування, проектування, розміщення та експлуатації промислових, транспортних і громадських підприємств, удосконаленні систем енергопостачання за рахунок більш широкого використання геліо- і вітроенергетичних установок; підготовки проектів з охорони навколишнього природного середовища; розробки методів боротьби зі стихійними явищами погоди та ін.

В Україні достатнього довго проводяться наукові дослідження, проектно-конструкторські та дослідно-промислові роботи з проблем використання власних відновлюваних джерел енергії – вітрової, сонячної, геотермальної, навколишнього середовища, біомаси, некондиційних газових родовищ. Найбільш великий досвід в країні використання гідроенергоресурсів.

Питомий природний енергетичний потенціал вітроенергетики в Україні (кВт·год/м² на рік) коливається в межах 1120 (середньорічна швидкість вітру менше 4,25 м/с, висота 15 м) до 7230 (середньорічна швидкість вітру менше 5,5 м/с, висота 100 м). Потенціал сонячної енергії в країні є достатньо високим для широкого впровадження як теплоенергетичного, так і фотоенергетичного обладнання практично в усіх областях.

Показники енергетичного потенціалу біомаси відрізняються від потенціалу інших відновлювальних джерел енергії тим, що, крім кліматометеорологічних умов, енергетичний потенціал біомаси в країні значною мірою залежить від багатьох інших факторів, в першу чергу від рівня господарської діяльності.

Особливо важливими на сучасному етапі розвитку суспільства питання поводження з відходами поряд з іншими екологічними проблемами посідають одне з чільних місць у екологічній безпеці та сталому розвитку країни. Їх вирішення пов'язано з необхідністю узгодження комплексу екологічних, економічних та соціальних завдань і вимагає постійних системних зусиль з боку органів управління, науковців та громадськості.

Сонячний енергетичний потенціал. Сонячний енергетичний потенціал визначається за показником сумарної сонячної радіації, що дорівнює:

$$S = D + I \sin \gamma , \quad (21.1)$$

де S – сумарна сонячна радіація, D – розсіяна радіація, I – пряма радіація, γ – висота Сонця над обрієм.

Для вирішення деяких задач геліоенергетики часто використовуються показники тривалості сонячного сяння та хмарності. Для характеристики режиму хмарності використовують ймовірність похмурого та ясного неба. При цьому приймається небо похмурим, якщо кількість хмар перевищує 8 балів, і ясним, якщо кількість хмар не перевищує 2 балів.

Надходження сумарної сонячної радіації на територію визначається наступними географічними чинниками: географічною широтою, часом доби, хмарністю та особливостями підстелюючої поверхні.

Вітроенергетичний потенціал. Енергія вітрового потоку залежить від швидкості вітру та щільності повітря; остання величина визначається фізичним станом та складом повітря – температурою, тиском, вологістю. Кількісне визначення енергії повітряного потоку з поперечним перерізом 1 м^2 при швидкості v , м/с, температурі t , тиску B , мм, отримується з таких міркувань: тіло масою m , яке рухається зі швидкістю v , має кінетичну енергію (E):

$$E = \frac{mv^2}{2}, \quad (21.2)$$

де m – маса повітря в об'ємі з поперечним перерізом 1 м^2 ; v – швидкість потоку, м/с.

Одним із основних факторів, який визначає доцільність впровадження вітроенергетичного обладнання в певній місцевості, є рівень питомої потужності вітрового потоку (це потужність, віднесена до 1 м^2 площі, перпендикулярної напрямку вітру).

$$N = 1/2\rho V^3, \text{ Вт/м}^2, \quad (21.3)$$

де ρ – густина набігаючого повітряного потоку, кг/м^3 ;

V – швидкість набігаючого повітряного потоку, м/с.

Середня густина набігаючого вітрового потоку визначається як добуток масової густини повітря – $0,125\text{ кг}\cdot\text{с}^2/\text{м}^4$ та прискорення сили тяжіння – $9,8\text{ м/с}^2$ і становить $1,225\text{ кг/м}^3$ при температурі 15°C і атмосферному тиску $0,0981\text{ МПа}$ (760 мм рт. ст.), ця величина дещо змінюється при зміні кліматометеорологічних умов.

При використанні даних метеоспостережень про середні швидкості вітру необхідно враховувати, що вони відповідають конкретним рельєфним і ландшафтним умовам у районі метеостанції і певній висоті над поверхнею Землі (висоті флюгера). Для різних станцій ці умови можуть значно відрізнятися. Тому прийнято приведення середньої багаторічної швидкості вітру до порівняних умов щодо відкритості та рівності місцевості. Для врахування умов місцевості розроблено різні класифікації відкритості місцевості; при всіх розбіжностях,

вони мають одну загальну властивість – лінійну залежність наведеної середньорічної швидкості V_n від номера (коефіцієнта) класу K_o , відн. од.:

$$V_n = A \cdot K_o, \quad (21.4)$$

де A – постійна, що має розмірність швидкості, яка визначає вітрову обстановку на місцевості і відрізняє одну класифікацію від іншої; це дозволяє встановити їх приблизну відповідність одна одній.

Вітрова енергія, крім зазначених фізичних перемінних, суттєво (ще більшою мірою), залежить від географічних чинників. Останні є глобальними, регіональними й місцевими. Глобальні чинники визначаються географічним положенням країни. Стосовно України, глобальний чинник проявляється у приналежності її території переважно до помірного поясу (крім смуги субтропічного ландшафту Південного берега Криму), завдяки чому тут панує західний перенос повітря, частими є фронтальні атмосферні процеси, що урізноманітнюють вітровий режим, в той самий час бувають тривалі періоди панування антициклонічного безвітряного режиму.

На регіональному рівні, спостерігається залежність вітрового режиму від умов географічного поясу та близькості до моря.

На місцевому рівні, спостерігається висока залежність розподілу й швидкості вітру від рельєфу, забудови (у містах) і показників шерехатості поверхні. Ці фактори, в свою чергу, впливають на вертикальний розподіл вітрового потоку, що врешті решт є визначальним фактором для вибору конкретного технологічного типу і місця розміщення відповідної вітроустановки.

Для кожного вітродвигуна існують свої межі робочих швидкостей вітру:

- $< V_{min}$ – слабкий вітер, за якого вітроколесо не обертається;
- $- V_{min} - V_{max}$ – робочі швидкості вітру;
- $> V_{max}$ – сильний вітер, при якому двигун вимикають для попередження аварій.

Знаючи повторюваність кожної швидкості вітру того чи іншого району, можна визначити виробіток вітродвигуна (A) за будь-який період часу.

Гідроенергетичний потенціал. Потужність водного потоку визначається за формулою:

$$N = \frac{Q_n + Q_k}{2} H, \text{ кВт}, \quad (21.5)$$

де Q_n та Q_k – витрати води в річці відповідно на початку та в кінці ділянки, H – падіння річки на ділянці. Особливістю гідроенергії є її залежність від водності району та водостоку. Величина потенційної та можливої до використання гідроенергії знаходиться при усіх інших рівних умовах у прямій залежності від водності. Остання характеризується величиною середньорічного стоку з 1 км^2 . Для енергетичних цілей водність території зручно

характеризувати кількістю кіловат-годин, які можна теоретично отримати використовуючи весь стік з 1 км^2 на 1 метр падіння.

Енергетичний потенціал водності прямо пропорційний модулю стоку води:

$$EПВ \text{ кВт.год/км}^2/\text{рік} = 85,9 M \text{ л/с/ км}^2,$$

де $EПВ$ – енергетичний потенціал водності, M – модуль стоку. Причому:

$$M = \frac{Q \cdot 1000}{F}, \quad (21.6)$$

де Q – витрати води у $\text{м}^3/\text{с}$, F - площа водозбору в км^2 . Таким чином, місячний енергетичний потенціал водності складає:

$$EПВ = \frac{Q}{F}. \quad (21.7)$$

Серед географічних чинників, що впливають на гідроенергетичний потенціал території, головними є кількість атмосферних опадів та їх режим, а також рельєф території. Надходження атмосферних опадів за територією України змінюється з північного заходу на південний схід у бік зменшення, що спричинене західним переносом повітряних мас та збільшенням атмосферного тиску у південному напрямку. Особливості гіпсометричної будови території не тільки безпосередньо впливають на гідропотенціал, що є прямопропорційним до перепаду висот на окремій ділянці, а також через вплив на кількість опадів, що є підвищеною на західних схилах гір та височин України.

Лекція 22

Вартісні показники відновлюваної енергетики. Перспективи розвитку

Вартісні показники відновлюваної енергетики за основними напрямками розвитку відновлюваної енергетики в Україні та світі. Перспективні плани щодо освоєння енергії відновлюваних джерел в Україні та світі.

Вартісні показники відновлюваної енергетики за основними напрямками розвитку відновлюваної енергетики в Україні та світі.

Вітрова енергетика. Тенденції попередніх років вказували на відносно здешевлення вітроустановок при зростанні їх одиничної потужності. Однак перехід до машин мультимегаватного класу в другій половині останнього десятиліття спинив цю тенденцію, а кризові явища в енергетиці спричинили навіть до зростання цін. Наразі експертні оцінки схиляються до стабілізації тенденцій зміни вартості установок. За прогнозом Європейської вітроенергетичної асоціації (Pure Power. Wind energy targets for 2020 and 2030. Доповідь ЄВЕА, 2009 р.) питомі капіталовкладення у наземні ВЕС за період з 2010 до 2030 року мають *знизитись майже на 30%* (рис. 22.1). Тенденція зміни середньої собівартості електроенергії має бути аналогічною.

Питомі інвестиції в наземні ВЕС (€2005/кВт)	
Рік	€/кВт
2000	1,078
2001	900
2002	800
2003	900
2004	1,000
2005	1,150
2006	1,250
2007	1,300
2008	1,250
2009	1,200
2010	1,150
2011	1,050
2012	1,002
2013	955
2014	907
2015	859
2016	852
2017	846
2018	839
2019	833
2020	826
2021	822
2022	818
2023	815
2024	811
2025	807
2026	803
2027	799
2028	796
2029	792
2030	788

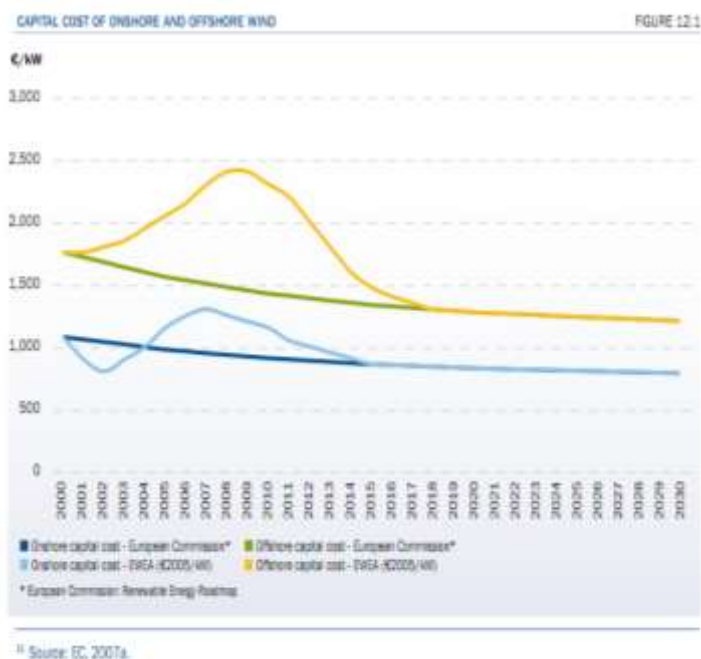


Рисунок 22.1. Прогноз зміни вартості вітростанцій

В Україні в даний час нема власних розробок потужних вітроелектричних установок (ВЕУ). Отже, майбутнє будівництво ВЕС має опиратися на куповані (спочатку) та виготовлені спільно (за ліцензією) установки. Отже, вартісні показники мають відповідати європейським з урахуванням місцевих особливостей. За оцінками фахівців, питомі інвестиції для сучасних ВЕУ в Україні становлять 13,5 тис.грн. за 1 кВт встановленої потужності. Щорічні експлуатаційні витрати для вітрової енергетики прийнято на рівні 2% від вартості основних фондів. Середня величина коефіцієнта використання номінальної потужності вітроустановки - на рівні 0,3. Як показує досвід виконання Комплексної програми будівництва ВЕС в Україні (1997-2010 рр.), до додаткових витрат слід віднести також певні витрати на розвиток відповідної енергопередаючої інфраструктури. З урахуванням зазначених факторів середня собівартість електроенергії для установок, що будуватимуться в даний час, має становити **в середньому за весь термін експлуатації** 35 коп/кВт.год. При цьому не враховано такі фактори, як майбутня плата за землю, потреби в модернізації електромереж загального користування відповідно до розповсюдження об'єктів відновлюваної енергетики, плата за капітал (кредит).

Для залучення інвестицій у вітрову енергетику необхідно забезпечити швидке повернення коштів. З цією метою в Україні прийнято закон про «зелений» тариф. Його розмір змінюється з часом, і на момент прийняття закону забезпечував окупність інвестиційних проектів у термін 6-8 років. Примірна структура витрат на примірний проект потужністю 100 МВт **за умови якнайшвидшого повернення інвестиції** наведена в табл.22.1 (у цінах 2010 року).

Таблиця 22.1. Інвестиційний проект ВЕС 100 МВт (2011 рік)

Показник	Од.вим.	Роки							
		2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
Інвестиція	млн.грн	1350							
Річний виробіток ел.енергії	млн.кВт.г	262,8	262,8	262,8	262,8	262,8	262,8	262,8	262,8
Зелений тариф	грн/кВт.г	1,247	1,247	1,247	1,247	1,247	1,247	1,247	1,247
Валовий дохід	млн.грн	327,7	327,7	327,7	327,7	327,7	327,7	327,7	327,7
Поточні витрати	млн.грн	27,0	27,0	27,0	27,0	27,0	27,0	27,0	27,0
Амортизація	млн.грн	167,4	146,6	128,5	112,5	98,6	86,4	75,6	66,3
Податок на прибуток	млн.грн	33,3	38,5	43,1	47,0	50,5	53,6	56,3	58,6
Чистий прибуток кумулятивно	млн.грн	267,4	529,6	787,2	1040,9	1291,1	1538,2	1782,6	2024,7
Повернення інвестиції	млн.грн	267,4	262,2	257,6	253,7	250,2	188,2	0,0	0,0
Питомі витрати (собівартість)	грн/кВт.г	1,120	1,100	1,083	1,068	1,055	0,819	0,103	0,103

Як видно, вже через шість років накопичений прибуток компенсує початкову інвестицію (рис. 22.2), і витрати на одиницю продукції залежатимуть лише від поточних (операційних) витрат. При цьому середня собівартість продукції може бути визначена лише за весь термін експлуатації (25 років).

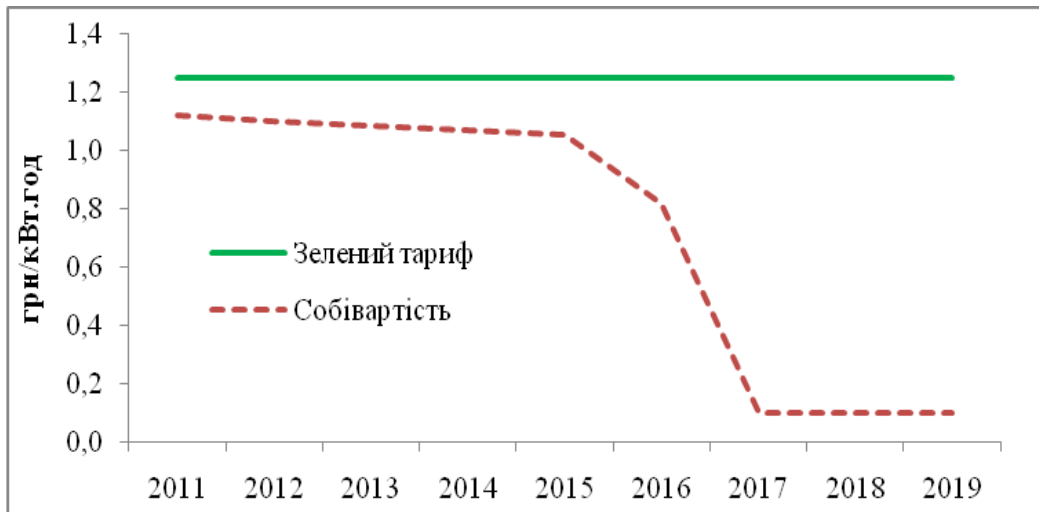


Рисунок 22.2. Питомі витрати для ВЕС, збудованої у 2011 р.

Дана схема повернення інвестиції по суті являє собою *прискорену амортизацію обладнання*. До речі, собівартість існуючих в Україні ВЕС значною мірою (до 80%) складається саме з амортизаційних відрахувань, згідно з їх звітами по формі №6-НКРЕ.

Для ВЕС, споруджених після 2014 р., розмір зеленого тарифу зменшиться на 10%, а прогнозоване зменшення вартості інвестиції становитиме близько 25%. Для ВЕС, споруджених після 2019 р., зелений тариф зменшиться ще на 10%. Результати розрахунку – на рис. 22.3.

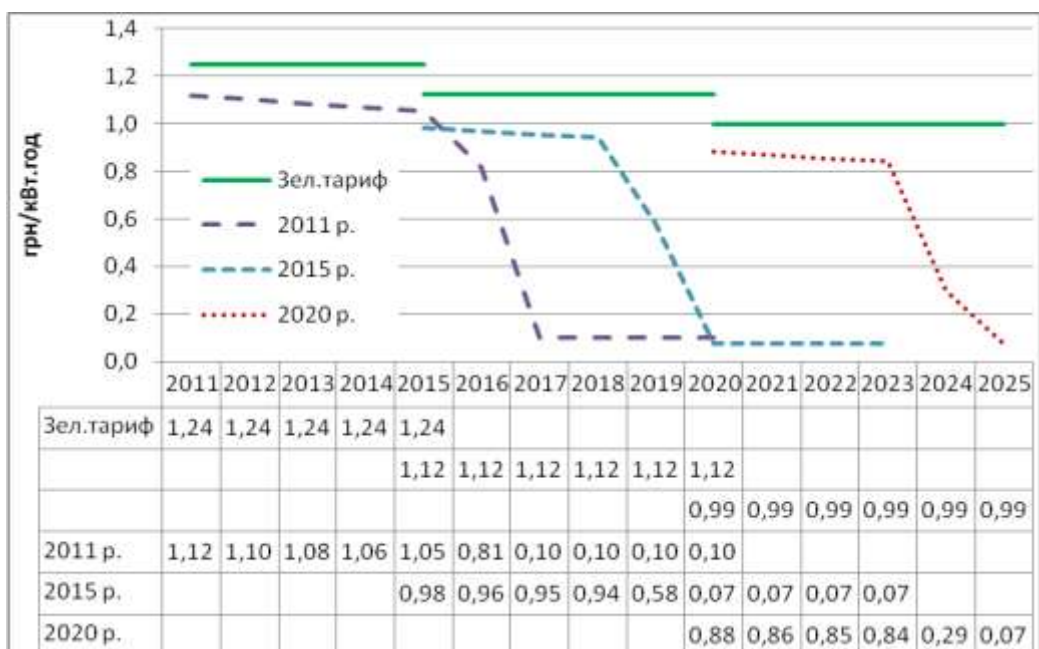


Рисунок 22.3. Поточна собівартість для ВЕС з різним роком побудови

Прогноз на тривалий термін не має сенсу, оскільки очікуване зростання середньозваженого тарифу незабаром має перевищити зелений тариф, і це змінить тарифну політику суб'єктів вітновлюваної енергетики. Невизначеними

стануть і компоненти поточних витрат через ймовірні зміни в рівнях заробітних плат та інших платежів.

Біоенергетика. Аналіз зміни в часі витрат на інвестиційний проект у галузі біоенергетики виконано на наступному прикладі.

Вихідні дані для примірного проекту електрогенеруючої установки на тирсі надані в табл. 22.2.

Таблиця 22.2.

Параметр	Од. вим.	Значення
Ставка податку на прибуток	%	25
Термін реалізації проекту	років	25
Потужність	МВт	1
Коефіцієнт амортизації основних фондів		0,124
Питомі інвестиції	€/кВт	1625
Норматив експлуатаційних витрат	% інв/рік	35

В залежності від року впровадження проекту змінюватимуться показники поточних витрат та зеленого тарифу. Поточні витрати включають експлуатаційні та паливну складову. Результати розрахунків для інвестиційних проектів з різним роком впровадження показано на рис. 22.4.

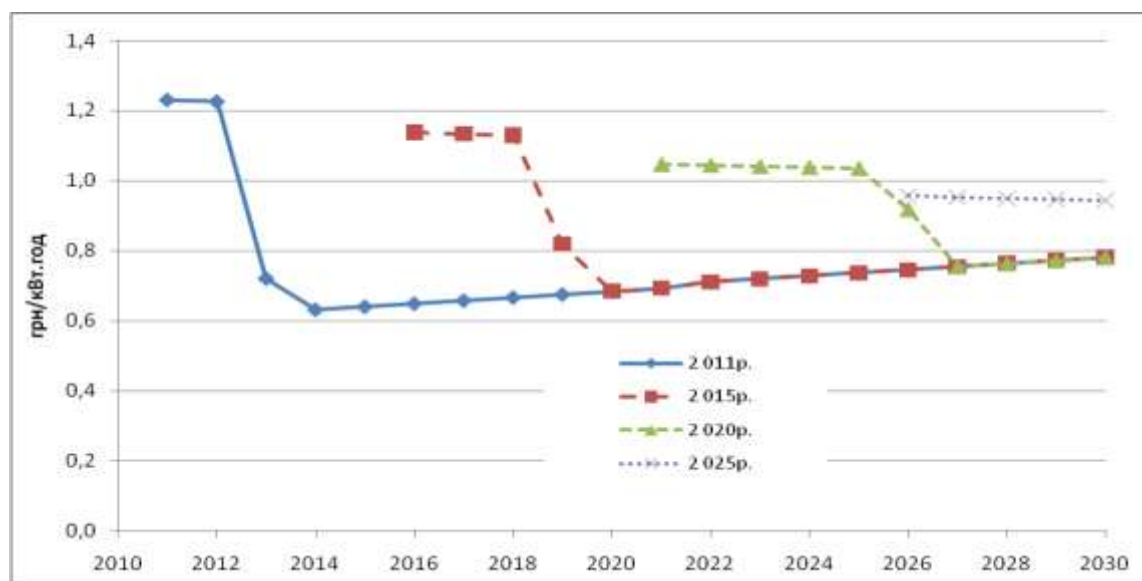


Рисунок 22.4. Питомі витрати електрогенеруючої установки на тирсі

Питомі витрати на одиницю продукції є фактичним значенням поточної собівартості. Отриманий рівень собівартості відповідає середнім європейським показникам (табл. 22.3).

Таблиця 22.3 Ефективність і витрати європейських станцій, які використовують біомасу (що знаходяться в експлуатації і ті, що проєктуються)

	ККД (% по LHV)	Капітало- вкладення (дол./кВт)	Потужність (МВт _{ел})	Середня вартість електроенергії (дол./кВт·год)
Спільне спалювання	35	1100-1300	10-50	0,054
IGCC	30-40	3000-5500	10-30	0,112
Газифікація + турбіна	20-31	2500-3000	5-25	0,096
Паросиловий цикл великої потужності	30	3000-5000	5-25	0,110
Газифікація + двигун (СНР)	24-31	3000-4000	0,25-2	0,107
Паросиловий цикл малої потужності (СНР)	10	3000-5000	0,5-1	0,130
Двигун Стирлінга (СНР)	11-19	5000-7000	<0,1	0,132

Примітка: Оцінки виконані на основі наступних показників: ціна на біомасу – 3 дол./ГДж, вартість тепла, що утилізується – 5 дол./ГДж, облікова ставка – 10%.

Мала гідроенергетика. Аналіз зміни в часі витрат на інвестиційний проєкт у галузі гідроенергетики виконано на прикладі інвестиційного проєкту гідроелектростанції потужністю 1МВт (табл. 22.4).

Таблиця 22.4. Інвестиційний проєкт гідроелектростанції потужністю 1МВт

Показник	Од. вим.	Роки							
		2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
Інвестиція	млн.грн	20							
Річний виробіток ел.енергії	млн.кВт.г	4,10	4,10	4,10	4,10	4,10	4,10	4,10	4,10
Зелений тариф	грн.кВт.г	0,86	0,86	0,86	0,86	0,86	0,86	0,86	0,86
Валовий дохід	млн.грн	3,52	3,52	3,52	3,52	3,17	3,17	3,17	3,17
Поточні витрати	млн.грн	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,2
Амортизація	млн.грн	2,5	2,2	1,9	1,7	1,5	1,3	1,1	1,0
Податок на прибуток	млн.грн	0,2	0,3	0,4	0,4	0,5	0,5	0,5	0,6
Чистий прибуток кумулятивно	млн.грн	3,3	6,3	9,3	2,2	15,0	17,8	20,6	23,3
Повернення інвестиції	млн.грн	3,3	3,0	3,0	2,9	2,8	2,8	0,8	0,0
Питомі витрати (фактична собівартість)	грн./кВт.г	0,805	0,786	0,769	0,755	0,742	0,731	0,244	0,049

Як видно, через сім років накопичений прибуток компенсує початкову інвестицію і витрати на одиницю продукції залежатимуть лише від поточних витрат. Для подальших проєктів вартість капіталовкладень зростатиме, а зелений тариф падатиме. Відповідно зростатиме термін повернення інвестицій. Результати розрахунків показано на рис. 22.5.

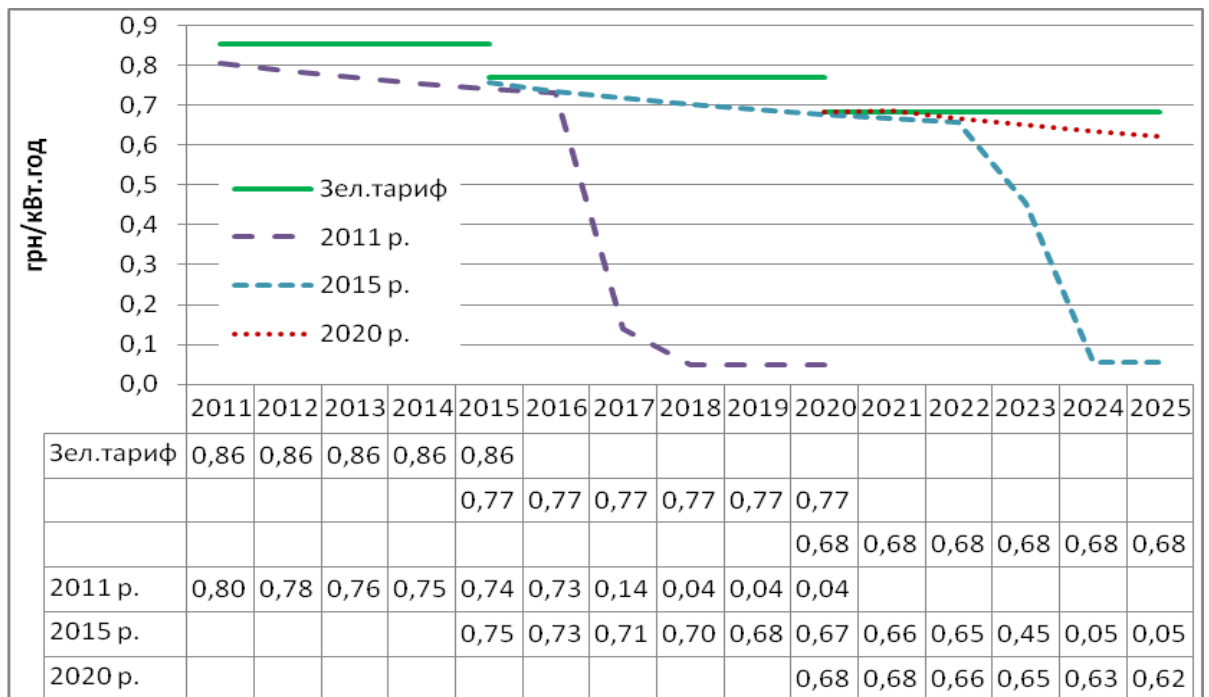


Рисунок 22.5. Питомі витрати для малої ГЕС

Сонячна фотоенергетика. Собівартість електричної енергії, отриманої за рахунок енергії сонця, залежить від багатьох чинників, серед яких, крім основних капіталовкладень, є і рельєф місцевості де вона розташована, і площа, яку вона займає, і кліматометеорологічні умови її розташування, тому для кожної конкретної фотоелектричної станції (ФЕС) вона буде мати свою величину.

Розрахунок прогнозованої собівартості виконано з урахуванням перспективи розвитку фотоелектричних технологій як провідних вітчизняних виробників - ВАТ „Квазар”, так і європейської асоціації - European PV Platform (табл. 22.5) та провідних країн світу в цих галузях: США, Японія, Китай та інших. При цьому враховувалось її поступове зниження за рахунок здешевлення технологій.

Таблиця 22.5. Перспективи розвитку фотоелектричних технологій у Європі

Показник	За роками					Довготривала перспектива
	1980	2010	2015	2020	2030	
Середня вартість ФЕС (€/Вт, без ПДВ)	>30	5	2,5	2,0	1	0,5
Середня вартість виробленої енергії, €/кВт год	> 2	0,30	0,15	0,12	0,06	0,03
Типова ефективність ФЕС	до 8%	до 15%	до 20%		до 25%	до 40%

Приблизна структура витрат на проект потужністю 1 МВт наведена у таблиці 6 (у цінах 2010 року). Обсяг виробленої електричної енергії,

розрахований за методикою інформаційної системи Європейської Комісії Photovoltaic Geographical Information System (PVGIS).

Поточні витрати прийнято на рівні 1,5% від капітальних витрат, що відповідає значенню, яке прийнято провідними європейськими країнами.

Термін окупності даного інвестиційного проекту при розрахунку за вибраною схемою повернення інвестиції, яка по суті являє собою прискорену амортизацію обладнання, становитиме 9 років.

Таблиця 22.6. Інвестиційний проект ФЕС потужністю 1 МВт (2011 рік)

Показник	Од.вим.	Роки									
		2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Інвестиція	млн.грн	38,5									
Річний виробіток ел.енергії	млн.кВт.г	1,068	1,068	1,068	1,068	1,068	1,068	1,068	1,068	1,068	1,068
Зелений тариф	грн/кВт.г	5,05	5,05	5,05	5,05	5,05	5,05	5,05	5,05	5,05	5,05
Валовий дохід	млн.грн	5,39	5,39	5,39	5,39	5,39	5,39	5,39	5,39	5,39	5,39
Поточні витрати	млн.грн	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08
Амортизація	млн.грн	4,77	4,18	3,66	3,21	2,81	2,46	2,16	1,89	1,66	1,45
Податок на прибуток	млн.грн	0,16	0,30	0,43	0,55	0,65	0,73	0,81	0,88	0,93	0,99
Чистий прибуток кумулятивно	млн.грн	5,16	10,2	15,1	19,8	24,5	29,1	33,6	38,0	42,4	46,8
Повернення інвестиції	млн.грн	5,16	5,01	4,88	4,77	4,67	4,58	4,51	4,44	0,46	0,00
Питомі витрати (фактична собівартість)	грн/кВт.г	4,91	4,77	4,65	4,54	4,45	4,36	4,29	4,23	0,51	0,07

Термін окупності аналогічних інвестиційних проектів, які вводитимуться в 2015, 2020 та 2025 роках становитиме 7, 6 та 5 років відповідно, що наглядно проілюстровано на рис. 22.6.



Рисунок 22.6. Питомі витрати для ФЕС, збудованих у різні роки

Зменшення терміну окупності об'єктів сонячної електроенергетики пов'язане з прогнозованим зниженням питомих капіталовкладень (загальних витрат) та, відповідно, зниженням собівартості виробленої електроенергії, що прогнозується в значно більших розмірах, ніж поетапне зниження розміру "зеленого тарифу".

Виробництво електроенергії за рахунок використання супутнього газу геотермальних родовищ. Родовища термальних вод і газові обводнені родовища, які виключаються з експлуатації в якості газових, можуть бути віднесені до геотермальних. При їх експлуатації на кожний об'єм води видобувається 1-10 і більше об'ємів паливного газу. Для їх освоєння не потрібно проводити нових бурових робіт, а можна використати вже існуючі свердловини. Собівартість виробництва електроенергії на таких родовищах визначається з урахуванням ремонтних робіт на свердловинах і вартості газотурбінної (або газопоршневої) електростанції.

Вихідні дані для типового проекту:

Кількість свердловин – 2 шт.

Дебіт термальної води – 100 м³/год.

Дебіт супутнього газу – 1010 м³/год.

Тип газотурбінної електростанції – UGT 2500

Потужність електростанції – 2850 кВт

Річне виробництво електроенергії – 17100 тис. кВт·год.

Питомі капіталовкладення

- газотурбінної електростанції – 9500 грн./кВт

- ремонт свердловин – 7700 грн./кВт

Всього питомі капіталовкладення складуть 17200 грн./кВт.

Витрати виробництва – 1,2% капіталовкладень.

Амортизаційні відрахування складають: на обладнання – 6%, на свердловини – 4%.

Середня собівартість електроенергії для таких проектів становить 0,18 грн/кВт·год.

Приведені поточні витрати можуть бути іншими через такі обставини: а) проводиться буріння нових свердловин; б) свердловини мають більш низькі показники об'ємів паливного газу в термальній воді. Витрати виробництва становитимуть до 2% капіталовкладень. Середня собівартість електроенергії для таких проектів становитиме 0,23-0,26 грн/кВт·год, в залежності від кількості свердловин (3 та 4), які забезпечували б такий же дебіт газу та відповідний виробіток електроенергії.

Поточна собівартість в режимі реального часу за умови швидкого повернення інвестицій має враховувати зокрема доходну частину проекту, яка визначається тарифом на електроенергію. Однак геотермальна технологія не підпадає під дію закону про зелений тариф, а прогнозований рівень середньозваженого тарифу має надто невизначену природу. Тому наразі можна говорити про собівартість у сьогоденних умовах. Собівартість електроенергії має знижуватися за рахунок підвищення ККД газових установок внаслідок

збільшення їх одиничних потужностей і вдосконалення технологій видобування. Крім того, питома вартість електрогенеруючого обладнання має підлягати загальній тенденції до зниження. Питомі капіталовкладення знижуються за 2016-2020 рр. – на 12%, 2021-2025 – на 3% і 2026-2030 – на 2,3%.

Для розрахунку економічної ефективності роботи цих станцій прийнято прогнозний середньозважений тариф на електроенергію, який поширюється на 2011-2014 роки. За даними звітності з 2006 р. по 2010 р. середньозважений тариф на електроенергію в середньому збільшувався на 17,5% і становить на 2010 р. 0,61 коп./кВт·год.

За цих умов середня собівартість електроенергії має зменшуватись з 0,18 грн/кВт.год у 2011 р. до 0,14 грн/кВт.год у 2030 р.

Окупність даного інвестиційного проекту оцінюється у 5 років. При цьому початкова собівартість електроенергії може досягти 0,61 грн/кВт.год, а по завершенню терміну повернення інвестиції зменшитись до 0,04 грн/кВт.год. Для низькодебітних свердловин при існуючому тарифі термін окупності зросте до 6-7 років, або при наявності відповідного тарифу для 5-річної окупності собівартість становитиме 0,89 грн/кВт.год на початку та 0,06 грн/кВт.год після повернення інвестиції. Розрахунки справедливі в цінах 2010 року.

Зміну собівартості в часі наразі складно оцінити через невизначеність доходної складової (тарифу на електроенергію).

Реальна собівартість роботи електростанцій, що використовують ВДЕ, може бути визначена лише з урахуванням повного терміну експлуатації цих станцій.

Поточна собівартість, тобто щорічний рівень витрат відносно обсягу виробленої електроенергії, залежить від обсягу коштів, що спрямовуються на повернення початкової інвестиції. Фактично це схема прискореної амортизації обладнання, яка в структурі собівартості складає переважаючу частку. При цьому бухгалтерські норми розрахунку амортизації, що впливають на розмір бази оподаткування, зберігаються.

За умови, що вся прибуткова частина господарської діяльності спрямовується на амортизацію основних фондів (іншими словами, повернення інвестиції), то окупність проектів становитиме від 3 до 10 років, в залежності від технології виробництва та часу впровадження інвестиційного проекту. Поточна собівартість протягом цього періоду складатиме 80-90% розміру зеленого тарифу.

Реальні терміни окупності мають бути дещо більшими, оскільки частину доходу можливо доведеться спрямувати на соціальні потреби та розвиток виробництва.

Поточна собівартість може знизитись, якщо повернення інвестиції відбуватиметься не в максимально стислий термін, а протягом певного часу відповідно до умов конкретного інвестиційного проекту.

Після повернення початкової інвестиції собівартість електроенергії визначатиметься лише рівнем поточних (експлуатаційних) витрат, і становитиме незначні суми (порядку 10 коп/кВт.год), за винятком біотехнологій, що мають значну паливну складову.

Загальна тенденція до зниження з часом собівартості електроенергії відображає очікуване зменшення питомої вартості обладнання внаслідок вдосконалення технологій.

У випадку відсутності вимог до строків повернення інвестицій поточна собівартість буде наближатися до середньої, тобто повернення вкладених коштів буде рівномірним протягом часу експлуатації станції.

Всі розрахунки мають інфляційну невизначеність, тому справедливі лише в цінах поточного (2010) року.

До невизначеності відносяться також політичні фактори (соціальна, тарифна політика), вартість землевідведення (при формуванні ринку землі), джерело витрат на модернізацію електромереж та інших об'єктів енергетичної інфраструктури відповідно до потреб відновлюваної енергетики

Перспективні плани щодо освоєння енергії відновлюваних джерел в Україні

Прогнозована частка ВДЕ по періодах відносно споживання, яке визначено Енергетичною стратегією України на період до 2030 року, прогнозується у таких обсягах:

2015 – 22,7 млн. т у.п. (10 % від 227 млн. т у.п.)

2020 – 36,6 млн. т у.п. (15 % від 244 млн. т у.п.)

2025 – 54,0 млн. т у.п. (20 % від 270 млн. т у.п.)

2030 – 98,0 млн. т у.п. (32 % від 302,7 млн. т у.п.)

Річні обсяги заощадження традиційних паливно-енергетичних ресурсів в Україні до 2030 року за напрямками використання відновлюваних джерел надані в таблиці 22.7, загальні обсяги заощадження традиційних ПЕР – в таблиці 22.8.

Таблиця 22.7.

з/п	Напрямок розвитку ВДЕ	Річні обсяги заміщення ПЕР (млн. т у.п.)			
		2015	2020	2025	2030
1	Вітроенергетика	5,04	13,56	17,28	28,0
2	Сонячна енергетика, у т. ч.:	0,77	2,45	3,7	6,02
2.1	Електрична	0,21	0,67	1,06	2,0
2.2	Теплова	0,56	1,78	2,64	4,0
3	Мала гідроенергетика	0,11	0,61	1,52	2,98
4	Біоенергетика, у т. ч.:	2,35	13,56	19,09	31,02
4.1	Електрична	1,35	3,69	5,21	10,33
4.2	Теплова	0,53	7,57	11,08	16,87
4.3	Виробництво моторного біопалива	0,368	2,1	2,5	3,4
4.4	Виробництво торфу	0,1	0,2	0,3	0,42
5	Геотермальна енергетика, у т. ч.:	0,27	1,58	4,87	12,0
5.1	Електрична	0,22	1,43	4,43	11,0
5.2	Теплова	0,05	0,15	0,44	1,0
6	Енергетика довкілля	2,13	4,8	7,53	18,0
	Всього за рахунок ВДЕ	10,7	36,6	54,0	98,0

Таблиця 22.8. Загальні обсяги заощадження традиційних паливно-енергетичних ресурсів за напрямами використання відновлюваних джерел в Україні до 2030р.

№з/п	Напрямок розвитку ВДЕ	Обсяги заміщення ПЕР (млн. т у.п.)				Всього
		2011-2015	2015-2020	2021-2025	2026-2030	
1	Вітроенергетика	15,20	51,22	78,71	118,45	263,58
2	Сонячна енергетика, у т. ч.:	1,55	8,77	15,98	25,42	51,72
2.1	<i>Електрична</i>	0,48	2,38	4,51	8,09	15,46
2.2	<i>Теплова</i>	1,07	6,39	11,47	17,33	36,26
3	Мала гідроенергетика	0,23	2,05	5,76	12,18	20,22
4	Біоенергетика, у т. ч.:	5,54	45,46	84,39	131,0	266,39
4.1	<i>Електрична</i>	2,69	11,21	23,01	41,41	78,32
4.2	<i>Теплова</i>	1,36	23,75	48,38	72,73	146,22
4.3	<i>Виробництво моторного біопалива</i>	1,23	9,7	11,7	15,0	37,63
4.4	<i>Переробка торфу</i>	0,26	0,8	1,3	1,86	4,22
5	Геотермальна енергетика, у т. ч.:	0,41	4,98	17,07	44,59	67,05
5.1	<i>Електроенергетика</i>	0,3	4,45	15,55	40,83	61,13
5.2	<i>Теплова енергетика</i>	0,11	0,53	1,52	3,76	5,92
6	Енергетика довікля	4,61	18,62	32,20	68,43	123,86
	Всього за рахунок ВДЕ	27,53	131,1	234,11	400,25	792,82

Зведені показники щодо обсягів заміщення природного газу в Україні до 2030 року показані на рисунку 22.7.

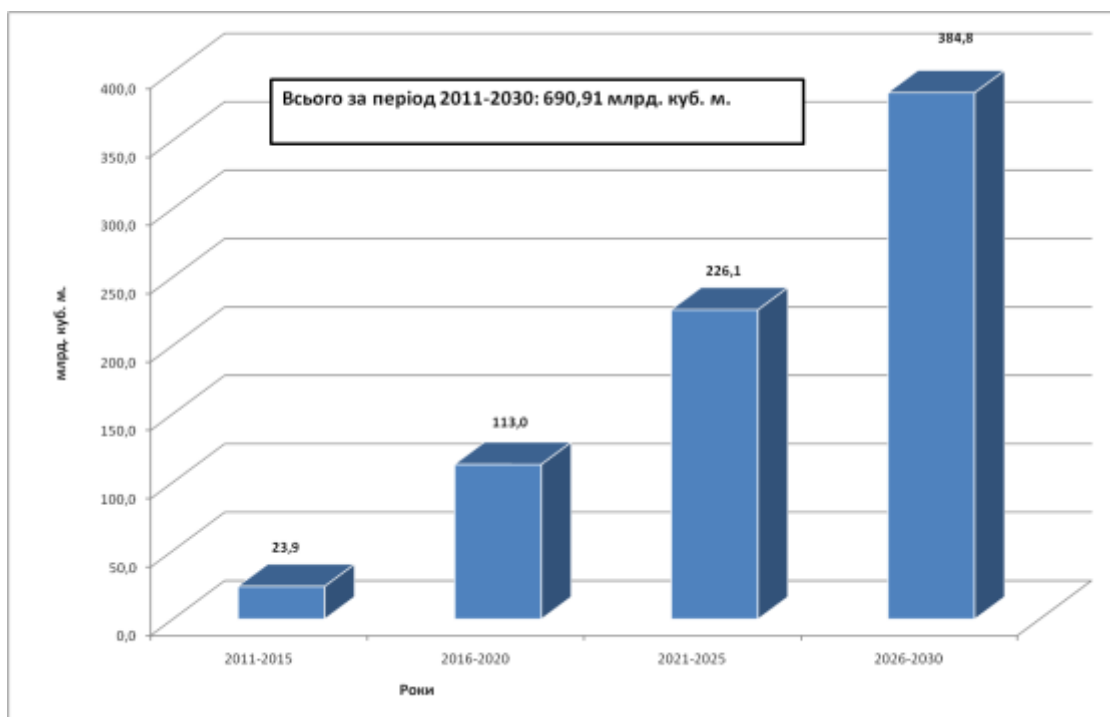


Рисунок 22.7. Загальні обсяги заміщення природного газу за рахунок використання ВДЕ в Україні до 2030 року, млрд. куб.м CO₂

Прогнозні базові показники використання відновлюваних джерел енергії та альтернативних видів палива в енергетичному балансі України на період до 2030 року приведені в таблицях 22.9, 22.10.

Таблиця 22.9. Прогнозні річні показники використання відновлюваних джерел енергії та альтернативних видів палива в енергетичному балансі України на період до 2030 року

№п/п	Напрями освоєння ВДЕ	Одиниці виміру	Рівень розвитку ВДЕ по роках			
			2015	2020	2025	2030
1.	Вітроенергетика	МВт	5607	14300	18200	29600
		млн. кВт.год/рік	13530,0	36600,0	47829,6	77788,8
		тис. т у.п./рік	5040,0	13560,0	17300,0	28000,0
2.	Сонячна енергетика, в т.ч.:	МВт	1300	4440	6760	11300
		млн. кВт.год/рік	1992	6802,4	10273,3	16725
		тис. т у.п./рік	770	2450	3700	6000
2.1	електрична	МВт	500	1740	2760	5200
		млн. кВт.год/рік	534	1859,1	2949,6	5557
		тис. т у.п./рік	210	670	1060	2000
2.2	теплова	МВт	800	2700	4000	6100
		тис. т у.п./рік	560,0	1780	2640	4000
3.	Мала гідроенергетика	МВт.	75	400	1000	2000
		млн. кВт.год/рік	307,5	1640,0	4100,0	8200,0
		тис. т у.п./рік	114,0	610,0	1520,0	2980,0
4.	Біоенергетика, в т.ч.:	тис. т у.п.	2348	13560	19090	31020
4.1	електрична	МВт	498,9	1366,6	1929,6	3825,9
		млн. кВт.год	3740	10249	14470	28690
		тис. т у.п./рік	1350	3690	5210	10330
4.2	теплова	МВт	895,3	12787	18716	28497
		тис. т у.п./рік	530	7570	11080	16870
4.3	Виробництво моторного біопалива	тис. т у.п./рік	368	2100	2500	3400
4.4	Переробка торфу	тис. т у.п./рік	100	200	300	420
5.	Геотермальна енергетика, в т.ч.	МВт	—	—	—	—
		млн. кВт.год/рік	—	—	—	—
		тис. т у.п./рік	270,00	1580,0	4870,0	12000,0
5.1	електрична	МВт	100	660	2050	5100
		млн. кВт.год/рік	600,0	3960,0	12301,0	30603,0
		тис. т у.п./рік	220,0	1430,0	4430,0	11000,0
5.2	теплова	МВт	100,0	300,0	900,0	2000,0
		тис. т у.п./рік	50,0	150,0	440,0	1000,0
6.	Енергетика довілля із використанням теплових насосів	МВт	4300,0	9750,0	15300,0	36500,0
		тис. т у.п./рік	2120,0	4800,0	7530,0	18000,0
Виробництво електричної енергії за рахунок ВДЕ, всього		МВт	6780,9	18466,6	25939,6	45725,9
		млрд. кВт.год/рік	18,712	54,308	81,650	150,838
		млн. т у. п./рік	6,93	19,96	29,52	54,31
Виробництво теплової енергії за рахунок ВДЕ, всього		МВт	6095,3	25537	38916	73097

	млн. т у. п./рік	3,26	14,30	21,69	39,87
Виробництво моторного біопалива та переробка торфу	млн.т.у.п./рік	0,47	2,3	2,8	3,82
Загальні обсяги заміщення традиційного палива за рахунок ВДЕ	млн.т.у.п./рік	10,7	36,6	54,0	98,0
Обсяги заміщення традиційного палива за рахунок АВП	млн.т.у.п./рік	12,0	-	-	-
Загальні обсяги заміщення традиційного палива за рахунок ВДЕ та АВП	млн. т у. п./рік	22,7	36,6	54,0	98,0

Таблиця 22.10. Прогнозні показники поетапного використання відновлюваних джерел енергії та альтернативних видів палива в енергетичному балансі України на період до 2030 року

№пп	Напрями освоєння ВДЕ	Одиниці виміру	Обсяги використання ВДЕ по етапах				Всього
			2011-2015	2016-2020	2021-2025	2026-2030	
1	Вітроенергетика	МВт	5607	8690	3900	11400	29600
		млн. кВт.год	41010	141300	218650	328990	734290
		тис. т у.п.	15200	51220	78710	118445	263575
2	Сонячна енергетика, в т.ч.	тис. т у.п.	1550	8780	15980	25420	51630
2.1	електрична	МВт	500	1240	1020	2440	5200
		млн. кВт.год	1228	6624	12520	22484	42844
		тис. т у.п.	480	2380	4510	8090	15460
2.2	теплова	МВт	800	1900	1300	2100	6100
		тис. т у.п.	1070	6390	11470	17330	36260
3.	Мала гідроенергетика	МВт	75	325	600	1000	2000
		млн. кВт.год	622	5540	15580	32800	54537
		тис. т.у.п.	230	2050	5760	12180	20220
4.	Біоенергетика, в т.ч.:	тис. т у.п	5540	45460	84390	131000	266390
4.1	електрична	МВт	498,9	867,7	563	1896,3	3825,9
		млн. кВт.год	7464	31138	63916	115027	217545
		тис. т у.п.	2690	11210	23010	41410	78320
4.2	теплова	МВт	895,3	11891,7	5729	9781	28497
		тис. т у.п.	1360	23750	48380	72730	146220
4.3	Виробництво моторного біопалива	тис. т у.п.	1230	9700	11700	15000	37630
4.4	Переробка торфу	тис. т у.п.	260	800	1300	1860	4220
5	Геотермальна енергетика, в т.ч.	тис. т у.п.	410	4980	17070	44590	67050
5.1	електрична	МВт	100	560	1390	3050	5100
		млн. кВт.год	0,84	12,36	43,15	113,4	169,75
		тис. т у.п.	300	4450	15550	40830	61130
5.2	теплова	МВт	100	200	600	1100	2000
		тис. т у.п.	110	530	1520	3760	5920
6	Енергетика довкілля	МВт	3440	5450	5550	21200	36500
		тис. т у.п.	4610	18620	32200	68430	123860
Виробництво електричної енергії за рахунок ВДЕ, всього		МВт	6780,9	11682,7	7473	19786,3	45725,9
		млн. кВт.год	50324,84	184614,36	310709,15	499414,4	1049385,8
		млн. т у. п.	18,90	71,31	127,54	220,95	438,70

Виробництво теплової енергії за рахунок ВДЕ, всього	МВт	5235,3	19441,7	13179	34181	73097
	млн. т у. п.	7,15	49,29	93,57	162,25	312,26
Виробництво моторного біопалива та торфу	млн. т у. п.	1,49	10,5	13,00	16,86	41,85
Загальні обсяги заміщення традиційного палива за рахунок ВДЕ	млн.т.у.п.	27,54	131,10	234,11	400,25	792,82
Обсяги заміщення традиційного палива за рахунок АВП	млн.т.у.п.	56,00	56,00	63,00	68,00	243,00
Загальні обсяги заміщення традиційного палива за рахунок ВДЕ та АВП	млн. т у. п.	83,54	187,10	297,11	468,25	103,582

Лекція 23

Загальна характеристика нетрадиційних джерел енергії

Класифікація нетрадиційних джерел енергії. Позабалансові та вторинні джерела енергії. Обсяги та умови утворення. Скидний енерготехнологічний потенціал - використання потенціальної енергії газових потоків - надлишкового тиску доменного та природного газу. Промислові та супутні гази - використання промислових газів, газів малих газових, газоконденсатних і нафтогазоконденсатних родовищ та супутнього газу нафтових родовищ. Шахтний метан.

До нетрадиційних або позабалансових джерел енергії в Україні відносяться потенціальна енергія надлишкового тиску газових потоків, шахтний метан, природний газ малих газових, газоконденсатних та нафтоконденсатних родовищ, попутний нафтовий газ, промислові гази.

Використання потенціальної енергії надлишкового тиску газових потоків включає використання потенціальної енергії надлишкового тиску доменного та природного газів.

Потенціальна енергія надлишкового тиску доменного газу. Доменний або колошниковий газ - відхідний газ, що утворюється під час виплавлення чавуну в доменних печах. Є головно продуктом неповного згорання вуглецю. Хімічний склад доменного газу за умов, що чавун виплавляють на кам'яно-вугільному коксі: 12-20% CO₂; 20-30% CO; до 0,5% CH₄; 1-4% H₂; 55-58% N₂. Теплота згорання доменного газу приблизно 3,6-4,6 МДж/м³ (850-1100 ккал/м³). При збагаченні дуття киснем вміст азоту в газі знижується і відповідно цьому зростає кількість інших газів (у тому числі окисли вуглецю і водню), а також теплота згорання.

Газ дуже отруйний через наявність у його складі CO.

При спалюванні 1 т коксу в печі утворюється приблизно 5000 м³ газу.

Після виходу з доменної печі доменний газ очищується від пиловатих домішок у пиловловлювачі, скрубєрі, трубі Вентурі, дросельній групі.

Перші аналізи доменного газу були зроблені Бузеном у 1839 році на заводі Фекерхаген. Вперше колошникові гази було використано 1811 року Оберто у Франції для випалу вапни і цементациї сталі. Перші спроби використання доменного газу як палива на металургійних заводах були проведені французом Фабер дю Форм у 1832 році. 1886 року Ф. Люрман запропонував використовувати доменний газ для газових двигунів на повітродувних станціях. 1889 року на бельгійському заводі "Серен" була введена в дію перша доменна газоповітряна машина.

Одним із засобів інтенсифікації та підвищення ефективності доменного процесу є підвищення тиску доменних (колошникових) газів. В сучасних доменних печах тиск колошникових газів складає 0,35 – 0,5 МПа. Випуск газів з печі здійснюють через дросельну установку, після якої тиск доменного газу зменшується до 0,012 МПа. Потенціальна енергія надлишкового тиску доменного газу може використовуватись в утилізаційних безкомпресорних турбінах для виробництва електричної енергії.

Для гарантування стабільної та надійної роботи дросельної установки доменної печі пропускну спроможність утилізаційної безкомпресорної турбогенераторної установки приймають до 70-80% від номінальної витрати колошникового газу. Враховуючи, що коефіцієнт корисної дії утилізаційних безкомпресорних турбін становить близько 75 %, технічно-досяжні ресурси потенціальної енергії надлишкового тиску доменного газу еквівалентні 1046,4 млн.кВт.год електричної енергії на рік (376,7 тис. т у.п.).

Сьогодні доменний газ використовується на металургійних заводах як паливо у повітронагрівниках, коксових і мартенівських печах (у суміші з коксовим газом), газових двигунах тощо.

Газове господарство металургійних заводів являє собою складну інженерну систему, що сформувалася протягом десятиліть. Внесення докорінних змін в схему газового господарства заводу з метою встановлення утилізаційних безкомпресорних турбін у багатьох випадках може супроводжуватись невиправдано великими капітальними вкладеннями та організаційними ускладненнями. На найближчу перспективу економічно-доцільним може бути виробництво електричної енергії за рахунок використання надлишкового тиску лише частини доменного газу - 313,9 млн кВт.год на рік.

Потенціальна енергія надлишкового тиску природного газу.

Транспортування природного газу газорозподільчими мережами здійснюється при величині тиску, що перевищує необхідний при використанні споживачами. Для узгодження умов експлуатації газотранспортної мережі та споживачів на газорозподільчих станціях (ГСП) і газорегулюючих пунктах (ГРП) встановлюються дроселюючі пристрої, при цьому потенціальна енергія надлишкового тиску природного газу в процесі дроселювання втрачається. Магістральними газопроводами природний газ транспортується при номінальному тиску 5,5 або 7,5 МПа. З магістральних газопроводів і газопроводів відводів газ тиском 1,5 – 6,5 МПа підводиться до промислових об'єктів та населених пунктів і редукується на газорозподільних станціях до тиску 0,4; 0,6; 1,2 МПа. В подальшому на газоредукуючих пунктах підприємств та населених пунктів здійснюється пониження тиску до 0,3 – 0,6 МПа для потреб великих промислових споживачів і до 5 кПа для потреб побутових споживачів. За допомогою детандерних установок можна здійснити зменшення тиску та утилізувати потенціальну енергію надлишкового тиску природного газу для виробництва електричної енергії.

У зв'язку зі значною сезонною та добовою нерівномірністю споживання газу, відсутністю в ряді випадків необхідних електричних мереж, економічно доцільні обсяги виробництва електроенергії є досить обмеженими. Найбільш сприятливі умови для встановлення турбодетандерних установок можуть бути на газорозподільних станціях та газорегулюючих пунктах, що обслуговують енергетичні підприємства та власні потреби газотранспортної мережі.

В газотранспортній мережі України експлуатується більше 1100 газорозподільних станцій (ГРС) або газорозподільних пунктів (ГРП), при цьому

на 140 ГРС витрати газу становлять більше 50 тис. $\text{нм}^3/\text{год}$. Аналіз параметрів діючих газорозподільних станцій і газоредукуючих пунктів показав, що для найбільш повної утилізації енергії тиску газу в системі газопостачання України в залежності від параметрів роботи конкретних об'єктів слід використовувати утилізаційні турбодетандерні установки таких одиничних потужностей:

- до 1,0 МВт для ГРС (ГРП) з продуктивністю до 35 тис. $\text{нм}^3/\text{год}$;
- до 2,0 МВт для ГРС (ГРП) з продуктивністю до 100 тис. $\text{нм}^3/\text{год}$;
- до 6,0 МВт для ГРС (ГРП) з продуктивністю до 290 тис. $\text{нм}^3/\text{год}$.

Застосування установок малої потужності (до 500 кВт) може мати значення для задоволення власних потреб ГРС в електричній енергії. Застосування таких установок найбільш вірогідно на ГРП підприємств – споживачів природного газу. Згідно з попередніми оцінками можлива потреба в агрегатах потужністю 50-500 кВт становить до 2000 шт.

НАК “Нафтогаз України” здійснює заходи щодо економії паливно-енергетичних ресурсів (ПЕР) за рахунок використання вторинних енергетичних ресурсів. З цією метою виконано наступне:

- розроблено ТЕО впровадження турбодетандерних електростанцій в газотранспортній системі України. Впровадження першої черги турбодетандерних станцій на 54 ГРС загальною потужністю до 128 МВт, що може забезпечити виробництво до 1 млрд кВт.год. електроенергії;

- завершується розроблення Комплексної програми створення електро- та теплогенеруючих станцій на основі використання скидного енергетичного ресурсу підприємств НАК “Нафтогаз України”. За попередніми розрахунками реалізація цього енергетичного ресурсу забезпечить економію ПЕР у обсязі близько 3 млн т у.п.

Шахтний метан, або метан вугільних родовищ, відноситься до супутніх ПЕР, який на даний час в Україні практично не використовується. Деякі результати в розвитку цього досить перспективного напрямку нетрадиційної енергетики спостерігаються на окремих шахтах, починаючи з 1999 р.

Запровадження технологій використання шахтного метану для вугільної галузі України є надзвичайно актуальним як з точки зору екології, так і для забезпечення енергетичних потреб народного господарства. Крім того, відбір шахтного газу є одним з важливих факторів створення безпечних умов роботи на шахтах.

В результаті освоєння ресурсів шахтного метану очікуються наступні результати:

- освоєння альтернативного виду палива, що скоротить імпорт енергоносіїв, в першу чергу, природного газу;
- зниження обсягів викидів метану (одного з найбільш сильних “парникових газів”) в атмосферу вугільними підприємствами України;
- підвищення продуктивності та безпеки роботи шахтарів;
- зниження аварійності при раптових викидах метану.

Ресурси метану в вугільних пластах в перерахунку на умовне паливо займають третє місце серед запасів горючих копалин на планеті після вугілля та

природного газу. Однак необхідно відмітити, що відомості про загальні ресурси шахтного метану в товщах вугільних пластів досить суперечливі через відношення до даного виду палива – шахтний метан зазвичай розглядається як перешкода при підземному вуглевидобутку. При такому підході обсяги виділення метану оцінюються для того, щоб визначити можливі дії по локалізації негативних наслідків виділення метану в шахтах. Тому і ресурси шахтного метану при підземних способах дегазації розглядаються в зв'язку з можливим метановиділенням на 1т вугілля, що видобувається для проектування вентиляції шахт по метану і дегазації шахт.

Забезпечення безпечних за викидами метану умов праці в вугільних шахтах здійснюється за трьома незалежними взаємно доповнюючими напрямками:

- вентиляція шахт для розбавлення та виносу метану, що виділяється, та пилу, який утворюється при технологічних процесах;
- дегація основних джерел метану в вугільних шахтах з метою зниження обсягів викидів і концентрації метану в шахтному повітрі робочих вибоїв та запобігання небезпечних скупчень і пікових викидів метану;
- застосування спеціального вибухобезпечного електрообладнання для запобігання можливості запалення метано-повітряних сумішей.

Розвиток робіт по дегазації вугільних шахт спонукав до вирішення цілого ряду питань технологічного порядку, пов'язаних з забезпеченням безпеки дегаційних робіт при каптажі газу. Розвиток і впровадження способів витягу метану з вугільних пластів і вміщуючих порід на вугільних шахтах супроводжувались удосконаленням відомих і створенням нових способів, схем і варіантів дегазації стосовно до різноманітних геологічних і гірськотехнічних умов. Все це сприяло підвищенню загального дебіту шахтного газу і концентрації метану в ньому, що, в свою чергу, дозволило збільшити обсяги використання газу для промислових і побутових потреб. Зростання ефективності дегазації шахт та успішний розвиток методів його утилізації сприяли тому, що дегація стала економічно вигідним допоміжним технологічним процесом в вугільній галузі.

Одним з найбільш перспективних регіонів України для розвитку даної галузі нетрадиційної енергетики є Донбас. Метан в басейні знаходиться в вугільних пластах, вміщуючих породах і в підземних водах. За даними українських спеціалістів, у вміщуючих породах Донбасу існує три види вмісту метану:

- вільний метан у вміщуючих породах, що знаходиться в порах і тріщинах;
- газ в сорбованому стані, що знаходиться в розсіяній органіці та вугільних пропластках;
- газ, що знаходиться в об'ємі водогазонасичених піщаників.

При середній метанонасиченості підземних вод $1,3 \text{ м}^3/\text{м}^3$ на глибині 1800м вміст метану в воді (температура 60°C) знаходиться на рівні граничної розчинності метану $2,6 \text{ м}^3/\text{м}^3$. Обсяги газонасичених піщаників в Донбасі становлять $7,02 \cdot 10^{12} \text{ м}^3$ при загальній масі 18,52 т.

В вугільних пластах метан знаходиться в основному в сорбованому стані в вигляді абсорбованого метану в твердих вуглекислих розчинах і в адсорбованому стані на поверхні макромолекул і мікротріщин, а також у вільному стані, форми існування метану в вугіллі показані в таблиці 23.1.

Таблиця 23.1. Розподіл метану за формами його існування в жирних вугіллях на великих глибинах.

Локалізація метану	Форма існування метану в вугіллі	Кількість метану, %
В макропорах і природних тріщинах	Вільний	5-12
В міжблокових проміжках	Адсорбований	8-12
В міжмолекулярному просторі вугілля	Твердий розчин (абсорбований)	75-80
В дефектах ароматичних шарів кристалів	Твердий розчин заміщення	1-5
Всередині кристалів ароматичного вуглецю	Твердий розчин	5-12

Вільний метан займає макропори і мікротріщини, з глибиною його кількість збільшується за рахунок збільшення тиску і може досягати 10-12% всього обсягу шахтного метану.

В формуванні ресурсів вільного метану у вміщуючих породах основна роль належить зонам тріщиноватості вугленосних покладів. За даними українських спеціалістів, в даний час по периферії Донбасу розвідано більше 30 родовищ вугільного метану із загальними запасами вільного газу 180 млрд. м^3 , в тому числі виявленими – 60 млрд. м^3 .

При середній метанонасиченості підземних вод $1,3 \text{ м}^3/\text{м}^3$ на глибині 1800м вміст метану в воді (температура 60°C) знаходиться на рівні граничної розчинності метану $2,6 \text{ м}^3/\text{м}^3$. Обсяги газонасичених піщаників в Донбасі становлять $7,02 \cdot 10^{12} \text{ м}^3$ при загальній масі 18,52Тт.

Накопичення вугленосних формацій в Донбасі проходило нерівномірно, відповідно нерівномірним є і розподіл газу в породах.

Оцінка вмісту метану в вугільних пластах Донбасу представлена в таблиці 23.2.

Таблиця 23.2. Оцінка вмісту метану в вугільних пластах Донбасу.

Марка вугілля	Запаси вугілля, млрд.т	Середня метанонасність вугілля, м ³ /т	Кількість метану в вугіллі, Тм ³
А ²	20	0,5-1	0,031
А ¹	24	17-20	0,403
Т	15	14-16	0,211
ОС	7	15-17	0,115
К	11	13-15	0,143
Ж	14	10-12	0,142
Г	41	7-9	0,277
Д	22	5-7	0,101
БД	16	2-4	0,038
Всього	170	-	1,461

По розподілу газів в товщі карбону по площі басейну Донбасу з врахуванням колекторських властивостей пород і типу газових скупчень виділяються чотири зони:

◆ **I зона** - поширення промислових покладів і локальних скупчень вуглеводневих газів, пов'язаних з колекторами порового і тріщинно-порового типів; приурочена до площин розвитку вугільних покладів з пластами марок Д, Г і частково Ж; до I зони відносяться вугленосні поклади Південного і Західного Донбасу, Лисичанського, Червоноармійського, Міллеровського геопромислових районів, а також Бахмутської і Кальміус-Торезької котловин;

◆ **II зона** – поширення мікропокладів і локальних скупчень вуглеводневих газів, пов'язаних з колекторами тріщинно-порового і тріщинного типів; приурочена до площин розвитку покладів, що вміщують пласти марок Ж, К, ОС; характерним для II зони є висока газонасність вугільних пластів і газонасиченість вміщуючих пород; в межах другої зони розташовані вугленосні поклади Донецько-Макіївського, Центрального, Селезнівського, Алмазно-Мар'євського і Краснодонського геопромислових районів Донбасу;

◆ **III зона** – поширення локальних скупчень вуглеводневих газів, пов'язаних з колекторами тріщинного типів; приурочена до площин розвитку покладів, що вміщують пласти марки Т і слабометаморфізовані антрацити з питомим електричним опором $lq \rho > 2,5 \text{ом.см}$; до цієї зони відносяться поклади в Торезо-Сніжнянському і Боково-Хрустальському геопромислових районах Донбасу;

◆ **IV зона** – повної відсутності скупчень вуглеводневих газів; пов'язана з колекторами тріщинно-порового і тріщинного типів; приурочена до площин розвитку покладів, що вміщують пласти високометаморфізованих антрацитів з питомим електричним опором $lq \rho < 2,5 \text{ом.см}$; в цій зоні знаходяться шахти, що розробляють негазові антрацитові пласти на площині Должанно-Ровенського геологопромислового району, а також в центральних і

східних частинах Горезо-Сніжнянського і Боково-Хрустальського районів.

Щільність оцінюваних ресурсів метану в вугільних пластах по площинах вугленосних покладів досить значна. Так, по площинах південно-західної частини Донецького басейну середня щільність, прорахована за методиками “Донецьк ГРГП” і компанії “Рейвен Рідж Рісорсіз” (США), становить від 90 до 107 млн.м³/км²; щільність метану в вугільних пластах Донбасу показана в таблиці 23.3.

Таблиця 23.3. Щільність метану в вугільних пластах Донбасу.

Площина	Розмір, км ²	“Донецьк ГРГП”		“Рейвен Рідж Рісорсіз”	
		Ресурси, млрд.м ³	Щільність, млн.м ³ /км ²	Ресурси, млрд.м ³	Щільність, млн.м ³ /км ²
Добропольсько-Червоноармійська	963	76,4	79,3	101,0	104,9
Гришино-Андріївська	557	18,2	32,7	29,7	53,3
Південно-Донбаська	530	57,2	107,9	58,5	110,4
Донецька	293	44,5	151,9	46,5	158,7
Макіївська	246	35,9	145,9	42,0	170,7
Всього	2589	232,2	-	277,7	-

Ресурси і запаси вуглеводневих газів Донецького басейну за своїми масштабами, якістю та техніко-економічними параметрами є найбільшими серед газовугільних басейнів України. Для досягнення високих показників в процесі отримання шахтного метану, експлуатація повинна бути комплексною для зниження газовиділень безпосередньо в шахти та отримання в промислових масштабах нетрадиційного палива для забезпечення паливно-енергетичних потреб народного господарства України.

Найбільш перспективними об’єктами для промислової розробки ресурсів шахтного метану в Україні є 29 шахт Донецького басейну. Відбір шахт проводився на основі аналізу інформації по всій вугільній галузі України за період 1998-1999р.р. за відповідністю наступним критеріям :

- ◆ річні обсяги видобутку вугілля вище 250 тис. т (рядового вугілля);
- ◆ питомий вміст метану в вугіллі більше 20 м³ на тонну;
- ◆ вугільних запасів достатньо для подальшої експлуатації шахти на протязі 10 років і більше;
- ◆ шахта не включена в список тих, що підлягають закриттю.

Теплота згорання (калорійність) – кількість тепла, що виділяється при повному згоранні одиниці об’єму або маси палива, є основною характеристикою шахтного газу. За одиницю кількості палива приймається 1 м³ газу або 1 нм³ (газ при температурі 20°С і тиску 760 мм рт.ст.). Горючі гази характеризуються верхньою і нижньою теплотою згорання; при повному

згоранні утворюється водяна пара, з якою при відкритому згоранні втрачається біля 2500 кДж/м³ тепла (~0,7 кВт.год/м³). При врахуванні цього тепла газ, що спалюється, характеризується верхньою теплотою згорання, а без врахування – нижньою.

Теплота згорання визначається дослідним шляхом або за формулою:

$$Q_c = \sum_{i=1}^n X_i Q_i = X_1 Q_1 + X_2 Q_2 + \dots + X_n Q_n \quad (23.1)$$

де Q_c – верхня і нижня теплота згорання паливного компонента, кДж/м³ або кВт.год/м³;

X_1 – об’ємний вміст паливного компонента в газоповітряній суміші, %.

З достатньою для інженерних розрахунків точністю нижня теплота згорання шахтного метанового газу Q_c^H при температурі 10°C визначається наступним чином:

$$Q_c^H = 25,7H_2 + 30,2CO + 85,5CH_4 + 143,2C_2H_2 + 170C_nH_{2n+2} \quad (23.2)$$

З врахуванням вологості шахтного метанового газу, представленого в основному метаном з незначною кількістю домішок вищих вуглеводів, теплота згорання при температурі 20°C визначається як [26]:

$$Q_c^H = 81,4 C_{CH_4} \quad (23.3)$$

Питома вага шахтного метанового газу при температурі 20°C залежно від вмісту метану визначається рівнянням:

$$Y_m = 1,18 - 0,53 C_{CH_4} / 100 \quad (23.4)$$

Таким, чином, теплота згорання шахтного метанового газу визначається в основному об’ємною концентрацією метану в газі, яка, в свою чергу, залежить від застосовуваного способу і схеми штучної дегазації, а також від старанності ведення робіт по герметизації дегазаційної мережі.

Дегазаційні свердловини в шахтах знаходяться, як правило, в зонах інтенсивної зміни напруженого стану і зрушень гірського масиву, тому в більшості випадків збереження герметичності вміщуючих порід і вугільних пластів є важко здійснюваним завданням.

Теплота згорання чистого метану дорівнює 35,7 МДж/м³ або 9,92 кВт.год/м³.

Теплота згорання шахтного метану залежно від вмісту метану в ньому представлена в таблиці 23.4.

Таблиця 23.4. Теплота згорання шахтного метану залежно від вмісту метану.

Концентрація метану в шахтному метановому газі	Теплота згорання шахтного метанового газу	
	МДж/м ³	кВт.год/м ³
30	10,5	2,92
40	14,3	3,97
50	17,8	4,94
60	21,4	5,94
70	24,7	6,86
80	28,5	7,92
90	32,1	8,92
100	35,6	9,89

Розподіл шахт Донбасу за концентрацією метану в каптованому газі показано в таблиці 23.5.

Таблиця 23.5. Розподіл шахт Донбасу за концентрацією метану в каптованому газі.

Концентрація метану, %	≤10	10-20	20-30	30-50	>50
Кількість шахт	4	20	48	32	21

Запровадження технологій використання шахтного метану для вугільної галузі України є надзвичайно актуальним як з точки зору екології, так і для забезпечення енергетичних потреб народного господарства. Крім того, відбір шахтного газу є одним з важливих факторів створення безпечних умов роботи на шахтах.

Основними методами утилізації шахтного метану в якості палива є використання його як палива в парових котлах, газотурбінних установках, як моторного палива в двигунах внутрішнього згорання, а також переробка на газових заводах.

Найбільш простим і легкоздійсненним, хоча не самим економічно ефективним, способом утилізації шахтного метану є спалювання його замість вугілля в топках жаротрубних та водотрубних котлів для виробництва пари з метою забезпечення промислових і побутових потреб шахт та для виробництва електроенергії на місцевих ТЕЦ.

Типова котельня шахти спалює в зимовий час 60-70 т/добу вугілля, в літній час - 30-40 т/добу. Застосування вугілля в котельних, крім необхідності спалювання гостродефіцитного твердого палива, потребує важкої праці по видаленню золи та шлаку. На шахтах, що добувають високоякісне коксівне вугілля, опалення проводиться привозним енергетичним вугіллям, що значно збільшує загальні витрати через його транспортування. Крім того, спалювання вугілля в топках котлів призводить до істотного забруднення оточуючого

середовища пилом і шкідливими газами. При переводі шахтних котельних на опалення шахтним метаном повністю виключається або різко скорочується (при нестачі газу чи при недостатньому вмісті метану в ньому) споживання вугілля, за рахунок чого різко знижується кількість викидів в атмосферу шкідливих газів (CO_2 , SO_2 , H_2S , вуглеводи) і припиняється викид в атмосферу незгорілого вугільного пилу та золи; крім того, скорочується на 5-10 чоловік чисельність обслуговуючого персоналу котельні.

Із загального обсягу шахтного метану, що виділяється на вугільних підприємствах України (в 1999р. – 2060 млн. м^3), 13% вивільняється дегазаційними системами, тільки 4% утилізується. В даний час 52 українські шахти мають системи дегазації і тільки 11 шахт використовують метан в якості палива для шахтних котельних. На практиці є приклади використання метану з дегазаційних свердловин для заправки автомобілів та подачі на котельні як додаткового палива. На двох підприємствах Донбасу є досвід використання метану в якості палива для автобусів, легкових та вантажних автомобілів. Найбільш вірогідним при промисловому видобуванні вважається продаж кондиційного газу та виробництво електроенергії, що пов'язано з відносно невисокими витратами.

Капітальні вкладення в спорудження ТЕЦ на шахтному метані залежно від їх потужності знаходяться в межах 800–1200дол. США/кВт_е.

Питанням розробки шахтного метану в Україні в останній час приділялась велика увага, в цей період прийнято ряд законів, нормативних актів та державних програм, які можуть сприяти реалізації метанових проектів.

Промислові гази. В промислово розвинутих областях України промисловість отримує енергоспроможні відходи у вигляді штучних та промислових газів В даний час основний обсяг економії паливно-енергетичних ресурсів за рахунок використання НДЕ в Україні припадає на використання штучних та промислових горючих газів, які виникають в гірничо-металургійному комплексі та хімічній промисловості Донецької, Луганської та Запорізької областей - доменний газ, конверторний, коксовий та феросплавний гази. Коксовий та доменний газ використовується як паливо в металургійних агрегатах і енергетичних установках, феросплавний – як паливо для котелень та для випалювання вапна. Основною причиною того, що не всі види промислових газів знаходять застосування, є необхідність розробки окремого обладнання для утилізації кожного з них.

У Донецькій та Запорізькій областях промисловість отримує енергоспроможні відходи у вигляді штучних та промислових газів і там є можливість нарощувати обсяги використання штучного коксового, феросплавного, доменного газів.

Загальний потенціал заміщення природного газу при застосуванні промислових газів до 2030 р. оцінюється у 2 млрд. м^3 /рік.

Для вирішення питання практичного використання залишків промислових газів необхідно встановити на коксохімічних заводах газотурбінні установки для виробництва електроенергії та технологічної пари. Так,

наприклад, на Авдіївському коксохімічному заводі встановлення турбіни потужністю 14,5 МВт потребує питомих капіталовкладень в розмірі 800 грн. на 1 кВт встановленої потужності, але це дозволить отримати 109,8 млн кВт.год електроенергії, 113,4 тис. Гкал теплової енергії та знизити втрати коксового газу на 70,7 млн м³ щорічно.

Одним із вдалих прикладів використання альтернативних видів палива стало створення електростанції “Локачі” потужністю 8,7 МВт (виробництво електроенергії близько 60 млн кВт.год на рік) за рахунок коштів ДК “Укргазвидобування”. Вона працює на газу регенерації з фільтрів очистки газу Локачівського газового родовища, який є непридатним для промислових та побутових споживачів газу, оскільки має в собі великий вміст сірки і через це при спалюванні на факелах забруднював би навколишнє природне середовище. З 1 квітня 2003 р. вказана електростанція почала постачання електроенергії на Оптовий ринок електроенергії України. За період 2003-2005 років станція виробила понад 160 млн. кВт.год. електроенергії; 4,8 % від обсягу щорічно виробленої електроенергії повністю забезпечує електроенергією об’єкти Локачинського газового промислу. Решта виробленої електроенергії продається через мережі “Волиньобленерго”.

Крім того, зазначена Компанія планує запуснути установки з виробництва електроенергії з димових газів на Шебелинському газопереробному заводі та Тимофіївському газовому родовищі. Реалізація цих проектів дозволить Компанії на 50 відсотків забезпечити потреби в електроенергії за рахунок власного виробництва.

Кожна тисяча кіловат-годин електроенергії, вироблена з вказаних відходів, в порівнянні з існуючими традиційними енергогенеруючими установками запобігає, в середньому, викидам в атмосферу 4,2 кг твердих часток, 5,7 кг оксидів сірки, 1,8 кг оксидів азоту, а кожна вироблена гігакалорія теплової енергії - 0,2 кг твердих часток, понад 3 кг оксидів сірки та близько 1 кг оксидів азоту.

До малих відносяться такі газові, газоконденсатні та нафтогазоконденсатні родовища, які мають відносно невеликі запаси газу, що є причиною малих дебітів свердловин та незначного його видобутку. Ця причина не стимулює інтересу до них нафтогазовидобувних організацій, що експлуатують цілі групи більш потужних родовищ.

Основними проблемами, які заважають традиційному використанню малих газових родовищ є: недорозвідка, непромислові запаси, малі дебіти, складності з розконсервацією свердловин, відсутність відповідного устаткування, далекі відстані для транспортування невеликих обсягів газу, тощо. Експлуатація таких покладів за існуючими технологічними схемами, які потребують транспортування видобутої сировини на переробні заводи, на сьогоднішній час недоцільна. Для їх експлуатації необхідно налагодити випуск спеціального обладнання, що забезпечує переробку сировини на місці

видобутку і використання її продуктів для забезпечення місцевих потреб, особливо потреб сільського господарства.

З обладнання, яке на даний час випускається в Україні, можна застосувати автомобільні газонаповнюючі компресорні станції (АГНКС), дизель-генераторні електростанції, переобладнані для роботи на природному газі та обладнання газонаповнюючих станцій для заправки балонів стиснутим газом. Кількість родовищ, які можна віднести до категорії малих 39, з них 19 – газоконденсатних, 2 – газонафтоконденсатні, 18 – газових, кількість пробурених та законсервованих свердловин – 67. Балансові запаси складають біля 30,9 млрд м³ (таблиця 5).

Для використання природного газу за допомогою АГНКС є наступні передумови:

- досвід експлуатації АГНКС, під'єднаних до газопроводів, накопичений в Україні за останні 20 років та досвід заправки автомобілів шахтним метаном з дегазаційної свердловини на Яковлевському вугільному родовищі у м. Донецьк (за цей час введено в експлуатацію біля 50 станцій);
- обладнання станцій випускається вітчизняними заводами.

Таблиця 23.6. Балансові запаси природного газу по малих газових, газоконденсатних та нафтових родовищах

Назва області	Кількість родовищ	Запаси газу, млн.м ³
Харківська	15	14524
Полтавська	3	1163
Донецька та Луганська (на кордоні)	3	950
Львівська	6	6554
Чернівецька	2	537
Закарпатська	3	2194
АР Крим	7	4956
Всього	39	30878

Запаси газу малих газових родовищ складають 11893 млн м³. Для освоєння цих запасів пропонується встановити 19 АГНКС. Для забезпечення освоєння пропонується поетапний механізм реалізації, який включає створення двох демонстраційних об'єктів на двох свердловинах та встановлення по одній АГНКС на 17 родовищах; запланована економія ПЕР за рахунок використання газу малих газових родовищ в 2010 році може скласти 242,9 тис. т у.п.

При видобутку нафти разом з нею видобувається *супутній газ* обсягом до 0,7 млрд. м³ на рік; для його використання також передбачається застосування АГНКС з врахуванням того, що в Україні вже напрацьовано досвід використання АГНКС для заправки автотранспорту (м. Ромни та с. Великі Бубни Сумської обл.). Для забезпечення освоєння природного газу малих газових, газоконденсатних та нафтових родовищах пропонується поетапний механізм реалізації, який включає:

- створення двох демонстраційних об'єктів, до яких віднесено будівництво АГНКС на технологічних спорудах нафтопромислів в районі м. Долини (Івано-Франківська обл.) та м. Прилуки (Сумська обл.); технологія експлуатації передбачає з'єднання станції з діючими газопроводами для можливості часткового транспортування газу до споживачів;

- встановлення по одній АГНКС на 15 інших нафтозбірних пунктах.

Капітальні вкладення в одну АГНКС складають орієнтовно 0,4 млн. гривень. Експлуатаційні витрати становлять 0,06 млн. грн./рік.

Перспективні напрями та рівні використання позабалансових джерел енергії в Україні представлено в таблиці 23.7.

Таблиця 23.7. – Перспективні напрями та рівні використання позабалансових джерел енергії в Україні

Найменування джерел енергії	Можливі обсяги заміщення ПЕР, тис. т у.п./рік
1. Промислові гази, в тому числі:	8962,0
1.1 Коксовий газ	2500,0
1.2 Доменний газ	6000,0
1.3 Конверторний газ	160,0
1.4 Феросплавний газ	260,0
1.5 Водень	42
2. Природний газ малих газових, газоконденсатних та нафтоконденсатних родовищ	242,9
3. Супутній газ нафтових родовищ	190,7
4. Шахтний метан	955,0
5. Енергія надлишкового тиску газових потоків, в тому числі:	481,6
5.1 Енергія надлишкового тиску доменного газу	86,9
5.2 Енергія надлишкового тиску природного газу	394,7
Всього	10832

Таким чином, щорічне заощадження традиційних паливно-енергетичних ресурсів за рахунок використання горючих газів знаходиться на рівні 10-11 млн.т у.п. Однак необхідно відмітити, що основні показники енергетичного потенціалу майже всіх видів позабалансових джерел енергії в значній мірі залежать від динаміки розвитку важкої та видобувної промисловості нашої країни, нарощування обсягів на подальшу перспективу повинно з часом уточнюватись.

Лекція 24

Енергетичні ресурси нетрадиційних джерел енергії

Енергетичний потенціал нетрадиційних джерел енергії в Україні, методи і засоби їх використання та рівні отримання. Вплив використання нетрадиційних джерел енергії на ефективність промислових галузей, на рівень техніки безпеки та на рівень шкідливих викидів в оточуюче середовище.

Енергетичний потенціал нетрадиційних джерел енергії в Україні, методи і засоби їх використання та рівні отримання.

До нетрадиційних позабалансових джерел енергії в Україні відносяться потенціальна енергія надлишкового тиску газових потоків, шахтний метан, природний газ малих газових, газоконденсатних та нафтоконденсатних родовищ, попутний нафтовий газ, промислові гази.

Енергетичний потенціал надлишкового тиску доменного газу.

На основі даних державної статистичної звітності про виробництво та споживання доменного газу для всіх областей України виконані розрахунки теоретичних, технічно-досяжних та економічно-доцільних обсягів виробництва електроенергії при використанні потенціальної енергії надлишкового тиску доменного газу. Отримані результати наведені у таблиці 24.1.

Енергетичний потенціал надлишкового тиску природного газу.

На основі даних державної статистичної звітності про споживання природного газу (загальне та за секторами промисловості) для всіх областей України виконані розрахунки теоретичних, технічно-досяжних та економічно-доцільних обсягів виробництва електроенергії при використанні потенціальної енергії надлишкового тиску природного газу. Отримані результати наведені в таблиці 24.2.

Енергетичний потенціал метану вугільних родовищ. Геологічною основою визначення ресурсів придатного для використання в народному господарстві метану як супутно отримуваного палива є загальні закономірності розподілу горючих природних газів в вугленосних родовищах, а також кількісні характеристики метаноносності вугільних пластів та закономірності їх зміни відповідно до глибини та площі родовища залежно від інтенсивності процесів природної дегазації, в тому числі під дією геологічних порушень.

Таблиця 24.1. Енергетичний потенціал надлишкового тиску доменного газу в областях України

Області	Річні обсяги використання доменного газу		Річне споживання доменного газу енергетичними підприємствами		Теоретично-можливі ресурси потенціальної енергії		Технічно-досяжні ресурси потенціальної енергії		Економічно-доцільні обсяги виробництва електричної енергії	
	млн куб. м	тис. т у. п.	млн куб.м	тис. т у. п.	млн кВт.год	тис. т у.п.	млн кВт.год	тис. т у.п.	млн кВт.год	тис. т у.п.
Україна,	46712,7	6820,1	10182,0	1486,6	1868,5	672,7	1046,4	376,7	313,9	113,0
у тому числі області:										
Дніпропетровська	15493,0	2262,0	3708,0	541,4	619,8	223,1	347,1	125,0	104,1	37,4
Донецька	21443,1	3130,7	5560,0	811,8	857,7	308,8	480,3	172,9	144,1	51,9
Запорізька	5196,0	758,7	786,5	114,8	207,8	74,8	116,4	41,9	34,9	12,6
Луганська	4580,6	668,7	127,5	18,6	183,2	66,0	102,6	36,9	30,8	11,1

Таблиця 24.2. Енергетичний потенціал ресурсів потенціальної енергії надлишкового тиску природного газу в областях України

Області	Річні обсяги споживання природного газу		Теоретично-можливі ресурси потенціальної енергії надлишкового тиску природного газу		Технічно-досяжні ресурси потенціальної енергії надлишкового тиску природного газу		Економічно-доцільні обсяги виробництва електричної енергії з використанням потенціальної енергії надлишкового тиску природного газу	
	млн куб.м	тис. т у.п.	млн кВт.год	тис. т у.п.	млн кВт.год	тис. т у.п.	млн кВт.год	тис. т у.п.
Україна,	72575,2	83461,5	5080,3	1828,9	2335,220	840,7	1096,276	394,7
у тому числі:								
АР Крим	1606,2	1847,2	112,5	40,5	39,363	14,17	23,800	8,57
Області:								
Вінницька	1759,4	2023,3	123,2	44,4	72,611	26,14	39,238	14,13
Волинська	724,7	833,4	50,7	18,3	21,034	7,57	9,302	3,35
Дніпропетровська	8280,0	9522,0	579,5	208,6	316,257	113,85	145,985	52,55
Донецька	10552,1	12134,9	738,6	265,9	366,413	131,90	135,083	48,63
Житомирська	1130,8	1300,4	79,2	28,5	28,433	10,24	14,554	5,24
Закарпатська	791,5	910,3	55,3	19,9	30,186	10,87	5,467	1,97
Запорізька	2640,0	3035,9	184,8	66,5	125,692	45,25	80,097	28,83
Івано-Франківська	3728,6	4287,9	260,9	93,9	94,785	34,12	54,421	19,59
Київська	3063,1	3522,5	214,4	77,2	101,730	36,62	56,920	20,49
Кіровоградська	625,5	719,3	43,7	15,7	17,960	6,47	7,310	2,63
Луганська	5040,5	5796,5	352,8	127,0	171,735	61,82	61,128	22,01
Львівська	3253,1	3741,0	227,6	81,9	127,290	45,82	31,836	11,46
Миколаївська	1463,8	1683,3	102,5	36,9	42,782	15,40	22,672	8,16
Одеська	2871,2	3301,9	200,9	72,3	86,19	31,25	27,770	10,00
Полтавська	4665,4	5365,3	326,6	117,6	89,01	32,26	39,040	14,05
Рівненська	1472,7	1693,6	103,1	37,1	37,869	13,33	12,047	4,34
Сумська	2027,8	2332,0	141,8	51,1	54,659	19,68	31,022	11,17
Тернопільська	940,4	1081,5	65,8	23,7	27,740	9,99	10,571	3,81
Харківська	4319,4	4967,3	303,1	109,1	167,907	60,45	105,904	38,13
Херсонська	637,9	733,6	44,7	16,1	19,541	7,03	8,511	3,06
Хмельницька	1486,9	1709,9	104,1	37,5	40,232	14,48	13,352	4,81
Черкаська	2923,0	3361,4	204,6	73,7	76,680	27,60	28,965	10,43
Чернівецька	475,5	546,8	33,3	11,9	14,203	5,11	5,074	1,83
Чернігівська	1232,9	1417,9	86,3	31,1	36,569	13,16	16,090	5,79
м.Київ	4641,5	5337,8	324,8	116,9	120,314	43,31	105,435	37,96
м.Севастополь	221,3	254,5	15,5	5,6	6,814	2,45	4,681	1,69

Вихідними параметрами для оцінки ресурсів метану вугільних пластів є наступні :

1) ресурси і запаси вугільних пластів робочої потужності за поверхами, шахтопластів і ділянках виїмок із врахуванням закономірностей їх змін за простяганням та падінням і ефективності застосованого (планованого, проектного) способу і схем їх дегазації;

2) кількість вугілля, що міститься в вугільних пластах і пропластках неробочої (менше 0,5м) потужності в зонах, де вони піддаються частковому розвантаженню від гірського тиску і дегазації;

3) кількість вуглецевих порід (вуглистий сланець, вугільні прошарки, потужністю менше 0,1м і т.п.) в межах зони активної дегазуючої дії;

4) величина природної метаноносності ($\text{м}^3/\text{т}$ вугілля) вугільних пластів робочої потужності з врахуванням її змінності за простиранням і падінням.

Для пластів неробочої потужності та вугільних пропластків природна метаноносність може бути прийнята відповідно до даних сусідніх пластів при однакових за глибиною та геологічною обстановкою умовах.

Практично на всіх метаноносних вугільних родовищах, за виключенням зон з багаточисельними тектонічними порушеннями закритого типу, основні обсяги промислових ресурсів метану знаходяться в вугільних пластах, пропластках та прошарках. Оцінка промислових ресурсів шахтного метану при комплексному освоєнні метаноносних вугільних родовищ проводиться з врахуванням метану, що знаходиться в відпрацьовуваних пластах та в під- і надпрацьовуваних пластах і пропластках вугілля, які залягають в межах розгрузково-дегазуючого впливу випереджальної виїмки розроблювального шару, а також метану, що накопичується у так званих «вторинних» колекторах – в просторі відпрацьованих шахт.

Загальні ресурси метану Q_{CH_4} в метаноносних вугільних відкладеннях представляють собою суму кількості метану в масивах, оконтурених межами шахтних полів, і на розвіданих площах до глибини 1800м:

$$Q_{\text{CH}_4} = k_{\text{в.п.}} (\sum_{i=1}^n Q_{\text{ши}i} + \sum_{j=1}^n Q_{\text{рj}} + \sum_{\text{вир}} Q_{\text{вир}n}), \quad (24.1)$$

де $k_{\text{в.п.}}$ – коефіцієнт середнього промислового видобутку метану, що залежить від геологічних умов і метаноносності родовищ, методу дегазації, системи розробки і порядку відпрацьовування і т.п.;

i - число шахтних полів в межах метаноносного родовища ($i = 1, 2, \dots, n$);

$Q_{\text{ши}i}$ – обсяги метану, що знаходяться в основних його джерелах в межах шахтного поля, млн. м^3 ;

$Q_{\text{рj}}$ - обсяги метану, що знаходяться в межах розвіданих площин, млн. м^3 ;

$Q_{\text{вир}}$ - обсяги метану, що накопичуються у «вторинних» джерелах (відпрацьований простір) млн. м^3 ;

n - число “старих” поверхів.

Промислові ресурси метану ($Q_{\text{ши}}$) до глибини 1800м в межах окремого шахтного поля визначаються з виразу:

$$Q_{\text{ши}} = k (A_y X_* + 0,05 V_{\text{п}} X_{\text{п}}), \quad (24.2)$$

де A_y - запаси вугілля, млн.т;

X_* - природна метаносність вугілля, м³/т;

$V_{\text{п}}$ – обсяг газонасичених вміщуючих порід, т;

$X_{\text{п}}$ - природний вміст газу у вміщуючих породах, м³/т.

Величина обсягу метану, що видобувається дегазацією (в м³/т) – залишковий метановміст в вугіллі, виданому на поверхню і залишкова метаносність вугілля, залишеного в надрах і вугільних цілинах, в під- та надпрацьованих пластах, - залежить від ступеня метаморфізму вугілля, порядку відпрацювання пластів вугілля, системи розробки, способу управління гірським тиском, від величини експлуатаційних втрат вугілля та від способу, схеми і параметрів дегазації.

Особливості складу і обсяги шахтного метану, що міститься в межах окремих вугленосних родовищ залежать від величини вугленосності товщі вугілля, ступеня метаморфізму вугілля, природної метаносності вугілля і вміщуючих порід. Склад та обсяги газів, що містяться в вугленосних товщах, залежать також від характеру газової зональності.

Гази більшості вугільних родовищ в зоні метанових газів представлені в основному метаном і в незначних обсягах - його гомологами.

По складу газів вугільних родовищ виділяються наступні зони:

- ♦ малопотужна верхня зона епігенетичного газового вивітрювання, глибина залягання якої від поверхні становить від 50 до 1000м);

- ♦ потужна зона метаморфізованих (вуглеводневих) газів і, при наявності в товщі суперантрацитів, зона метаморфічної деметанізації, що підстилає зону метаморфізованих газів.

Шахтний метан, або метан вугільних родовищ, відноситься до супутніх ПЕР, який на даний час в Україні практично не використовується. Деякі результати в розвитку цього досить перспективного напрямку нетрадиційної енергетики спостерігаються на окремих шахтах, починаючи з 1999 р.

Запровадження технологій використання шахтного метану для вугільної галузі України є надзвичайно актуальним як з точки зору екології, так і для забезпечення енергетичних потреб народного господарства. Крім того, відбір шахтного газу є одним з важливих факторів створення безпечних умов роботи на шахтах.

Найбільш перспективними об'єктами для промислової розробки ресурсів шахтного метану в Україні є 29 шахт Донецького басейну.

Загальний та середньорічний енергетичний потенціал шахтного метану в промисловій вугільній галузі України представлено в таблицях 24.3, 24.4.

Таблиця 24.3. Загальний енергетичний потенціал шахтного метану, придатного для промислового використання

№пп	Область, шахта	Промислові запаси вугілля, тис. т	Питома емісія метану, м ³ /т	Вихід метану, млрд.м ³	Енергетичний потенціал шахтного метану млрд. кВт.год	Обсяги заміщення ПЕР, млн. т у.п	
						Отримання теплової енергії	Отримання електроенергії
<i>Донецька область</i>							
1.	Алмазна	73138	20,50	1,499	14,87	1,82	5,23
2.	Ім. Бажанова	58677	31,08	1,824	18,09	2,23	6,35
3.	Білицька	68200	22,53	1,537	15,24	1,87	5,35
4.	Білозерська	80414	24,76	1,991	19,70	2,42	6,92
5.	Добропольська	58591	8,23	0,482	4,78	0,59	1,68
6.	Глибока	23378	59,66	1,395	13,80	1,70	4,84
7.	Холодна Балка	51346	74,08	3,804	37,70	4,64	13,23
8.	Ім. Калініна	14914	143,66	2,143	21,30	2,62	7,47
9.	Ім. Кірова	23662	16,40	0,388	3,85	0,47	1,35
10.	Комсомолець Донбасу	137449	93,43	1,284	12,70	1,56	4,46
11.	Червоноармійська-Західна	79449	29,05	2,308	22,90	2,82	8,03
12.	Червонолиманська	85024	18,93	1,61	15,97	1,96	5,60
13.	Жовтневий Рудник	97512	40,20	3,92	38,89	4,78	13,65
14.	Рассвет	14315	116,44	1,667	16,50	2,03	5,79
15.	Ім. Скочинського	144433	49,15	7,099	70,40	8,66	24,70
16.	Ім. Стаханова	139717	33,51	4,682	46,40	5,70	16,28
17.	Вінницька	14683	37,24	0,547	5,43	0,67	1,91
18.	Ясеновська-Глибока	41453	65,46	2,714	26,90	3,31	9,44
19.	Південно-Донбаська №1	69317	15,24	1,056	10,50	1,29	3,68
20.	Південно-Донбаська №3	156928	14,83	2,327	23,10	2,84	8,10
21.	Ім. Засядько	96308	36,20	3,486	34,60	4,26	12,14
22.	Жданівська	43276	30,35	1,313	13,00	1,60	4,56
23.	Зуєвська	17394	99,6	1,732	17,20	2,12	6,03
Всього		1589578	-	50,808	504,0	62,0	177,0
<i>Луганська область</i>							
1.	Фашевська	12959	47,55	6,162	61,1	7,52	21,45
2.	Горська	46548	32,58	1,517	15,05	1,85	5,28
3.	Молодогвардійська	63600	27,28	1,735	17,20	2,12	6,04
4.	Самсонівська-Західна	-	-	-	-	-	-
5.	Суходольська-Східна	157402	286,50	4,51	44,70	5,50	15,69
6.	Ім 50-ти річчя СРСР	11410	34,36	0,392	3,89	0,48	1,36
Всього		291919	-	14,316	142,0	17,5	49,8
Загалом		1881497	-	65,12	646,0	79,5	226,8

Таблиця 24.4. Середньорічний енергетичний потенціал шахтного метану, придатного для промислового використання

№пп	Область, шахта	Видобуток вугілля, тис. т/рік	Питома емісія метану, м ³ /т	Вихід метану, млн. м ³ /рік	Енергетичний потенціал шахтного метану, млн. кВт.год/рік	Обсяги заміщення ПЕР, тис.т у.п/рік	
						Отримання теплової енергії	Отримання електроенергії
Донецька область							
1.	Алмазна	543,2	20,50	11,14	110,5	13,59	38,80
2.	Ім. Бажанова	1136,8	31,08	35,33	349,5	43,10	123,00
3.	Білицька	227,7	22,53	5,13	50,90	6,26	17,90
4.	Білозерська	395,5	24,76	9,79	97,10	11,90	34,10
5.	Добропольська	1213,0	8,23	9,98	99,00	12,20	34,70
6.	Глибока	692,6	59,66	41,30	409,70	50,30	143,80
7.	Холодна Балка	608,8	74,08	45,10	447,40	55,00	157,00
8.	Ім. Калініна	330,7	143,66	47,51	471,30	58,00	165,40
9.	Ім. Кірова	958,1	16,40	15,71	155,80	19,20	54,70
10.	Комсомолець Донбасу	1373,9	93,43	128,36	1273,30	156,60	446,90
11.	Червоноармійська-Західна	3137,5	29,05	91,14	904,10	111,20	317,30
12.	Червонолиманська	3263,8	18,93	61,78	612,80	75,40	215,00
13.	Жовтневий Рудник	337,2	40,20	13,56	134,50	16,50	47,20
14.	Рассвет	355,3	116,44	41,37	410,40	50,50	144,10
15.	Ім. Скочинського	784,7	49,15	38,57	382,60	47,10	134,30
16.	Ім. Стаханова	1558,5	33,51	52,23	518,10	63,70	182,00
17.	Вінницька	322,2	37,24	12,00	119,00	14,60	41,80
18.	Ясеновська-Глибока	331,8	65,46	21,72	215,50	26,50	75,60
19.	Південно-Донбаська №1	1133,4	15,24	17,27	171,30	21,10	60,10
20.	Південно-Донбаська №3	1224,9	14,83	18,17	180,20	22,20	63,30
21.	Ім. Засядько	3027,0	36,20	109,58	1087,00	133,70	381,50
22.	Жданівська	502,1	30,35	15,24	151,20	18,60	53,10
23.	Зусвська	362,5	99,6	36,11	358,20	44,10	125,70
Всього		23821,2	-	878,09	8711,0	1071,0	3058,0
Луганська область							
1.	Фашевська	284,9	47,55	13,55	134,40	16,48	47,20
2.	Горська	252,9	32,58	8,24	81,70	10,05	28,70
3.	Молодогвардійська	535,6	27,28	14,61	144,90	17,80	50,80
4.	Самсонівська-Західна	Введена в експл. в 1999р.	-	-	-	-	-
5.	Суходольська-Східна	208,0	286,50	59,60	591,20	72,70	207,50
6.	Ім 50-ти річчя СРСР	633,2	34,36	21,76	215,90	26,50	75,80
Всього		1914,6	-	117,76	1168,0	143,7	410,0
Загалом		25736,0		996,0	9879,0	1214,70	3468,0

Енергетичний потенціал промислових газів, малих газових, газоконденсатних та нафтогазоконденсатних родовищ та супутнього нафтового газу. В промислово розвинутих областях України промисловість отримує енергоспроможні відходи у вигляді штучних та промислових газів. В даний час основний обсяг економії паливно-енергетичних ресурсів за рахунок використання НВДЕ в Україні припадає на використання штучних та промислових горючих газів, які виникають в гірничо-металургійному комплексі та хімічній промисловості Донецької, Луганської та Запорізької областей - доменний газ, конверторний, коксовий та феросплавний газ. Коксовий та доменний газ використовується як паливо в металургійних агрегатах і енергетичних установках, феросплавний – як паливо для котелень та для випалювання вапна. Основною причиною того, що не всі види промислових газів знаходять застосування, є необхідність розробки окремого обладнання для утилізації кожного з них.

У Донецькій та Запорізькій областях промисловість отримує енергоспроможні відходи у вигляді штучних та промислових газів і там є можливість нарощувати обсяги використання штучного коксового, феросплавного, доменного газів.

Щорічне заощадження традиційних паливно-енергетичних ресурсів за рахунок використання горючих газів знаходиться на рівні 10-11 млн.т у.п. – цей показник приймається в якості основного на подальші роки. На 2010 рік цей показник становитиме біля 11 млн т у.п. в тому числі ~ 9 млн т у.п.- за рахунок промислових газів (коксовий, доменний, конверторний, феросплавний, водень тощо, в тому числі біля 25 різних типів горючих газів які утворюються в промисловості); ~ 1 млн т у.п.- за рахунок метану вугільних родовищ; 0,24 млн т у.п. - за рахунок природного газу малих газових, газоконденсатних та нафтоконденсатних родовищ; 0,19 млн т у.п. – за рахунок супутнього газу нафтових родовищ; 0,48 млн т у.п. – за рахунок енергії надлишкового тиску газових потоків (доменного та природного газу).

Однак необхідно відмітити, що основні показники енергетичного потенціалу майже всіх видів позабалансових джерел енергії в значній мірі залежать від динаміки розвитку важкої та видобувної промисловості нашої країни, нарощування обсягів на подальшу перспективу повинно з часом уточнюватись.

Використання позабалансових джерел енергії України – енергії надлишкового тиску газових потоків, шахтного метану, природного газу малих газових, газоконденсатних та нафтоконденсатних родовищ, супутнього нафтового газу, промислових газів - може внести досить значний вклад в енергетику країни.

Вплив використання нетрадиційних джерел енергії на ефективність промислових галузей, на рівень техніки безпеки та на рівень шкідливих викидів в оточуюче середовище.

В Україні є усі передумови для інтенсивного розвитку використання нетрадиційних джерел енергії та видобутку і використання альтернативних джерел енергії.

На промислових підприємствах гірничо-металургійного комплексу та хімічної промисловості у Дніпропетровській, Донецькій, Запорізькій та Луганській областях у технологічних процесах виникає значна кількість енергоспроможних відходів у вигляді штучних та промислових газів, обсяги використання яких, замість природного газу, необхідно інтенсивно збільшувати.

Запровадження безпечних за викидами метану умов праці в вугільних шахтах здійснюється за трьома незалежними взаємодоповнюючими напрямками:

- вентиляція шахт для розбавлення та виносу метану, що виділяється, та пилу, який утворюється при технологічних процесах;

- дегазація основних джерел метану в вугільних шахтах з метою зниження обсягів викидів і концентрації метану в шахтному повітрі робочих вибоїв та запобігання небезпечних скупчень і пікових викидів метану;

- застосування спеціального вибухобезпечного електрообладнання для запобігання можливості запалення метано-повітряних сумішей.

Розвиток робіт по дегазації вугільних шахт спонукав до вирішення цілого ряду питань технологічного порядку, пов'язаних з забезпеченням безпеки дегазаційних робіт при каптажі газу. Розвиток і впровадження способів витягу метану з вугільних пластів і вміщуючих порід на вугільних шахтах супроводжувались удосконаленням відомих і створенням нових способів, схем і варіантів дегазації стосовно до різноманітних геологічних і гірськотехнічних умов. Все це сприяло підвищенню загального дебіту шахтного газу і концентрації метану в ньому, що, в свою чергу, дозволило збільшити обсяги використання газу для промислових і побутових потреб. Зростання ефективності дегазації шахт та успішний розвиток методів його утилізації сприяли тому, що дегазація стала економічно вигідним допоміжним технологічним процесом в вугільній галузі.

В результаті освоєння ресурсів шахтного метану очікується зниження обсягів викидів метану (одного з найбільш сильних "парникових газів") в атмосферу вугільними підприємствами України, - підвищення продуктивності та безпеки роботи шахтарів; зниження аварійності при раптових викидах метану.

До альтернативного газового палива, яке теж є можливість використовувати, можуть бути залучені гази, видобуті з малих газових, газоконденсатних, нафтогазоконденсатних родовищ. Через втрати у місцях концентрації видобутку нафти, її зберігання та переробки, утворилися техногенні родовища в обсягах 2,5 млн.тонн. Щорічно додаткова втрата у нафтовидобутку становить 28 тисяч тонн, у нафтопереробці близько 0,3 млн.тонн, а з урахуванням приймально-транспортних операцій - до 0,6 млн.тонн. Необхідно проводити роботи з вилучення втрачених нафтопродуктів та їх повторного використання. Знешкодження шляхом ефективного використання вказаних викидів не тільки сприяє покращенню

екологічногостану навколишнього середовища, але й одночасно дозволяє, за рахунок використання зазначених НВДЕ, отримати додаткові обсяги енергоресурсів. При цьому кожна тисяча кіловат-годин електроенергії, яка вироблена з вказаних відходів, запобігає, в середньому, викидам в атмосферу 4,2 кг твердих частинок, 5,65 кг оксидів сірки, 1,76 оксидів азоту, а кожна вироблена гікалорія теплоти - 0,2 кг твердих часток, понад 3 кг оксидів сірки та близько 1 кг викидів оксидів азоту.

Основними напрямками в сфері вдосконалення енергоефективних технологій на основі нетрадиційних джерел енергії, розвитку яких, з огляду на можливе зменшення техногенного навантаження нанавколишнє природне середовище, доцільно сприяти в першу чергу, є:

- Розвиток технологій сумісного вироблення теплової та електроенергії на діючих об'єктах електроенергетики, теплових котельних установках промисловості, в комунальній сфері, в системах газоперекачуючих агрегатів. Це дозволяє досягти зменшення викидів шкідливих газів (CO і NO_x) за рахунок удосконалення технології використання палива, що має місце при когенерації, а також значно зменшити викиди CO_2 , в зв'язку з тим, що виробництво електричної енергії при цьому буде здійснюватись за рахунок ефективного використання теплоти згоряння палива на вже діючих об'єктах, тобто без додаткового застосування палива. Це зменшення викидів CO_2 буде досягнуто за рахунок зменшення використання палива для виробництва електроенергії на ТЕЦ. Крім іншого, це дозволить вирішити і проблему пікового навантаження по тепловій та електричній енергії, а також дозволить надати час для складних робіт по реконструкції об'єктів великої енергетики. В цілому, за рахунок когенераційних технологій, може бути досягнуто зменшення споживання палива без зменшення обсягу виробництва продукції та надання послуг; Додаткове виробництво електричної енергії без застосування додаткових обсягів палива та з собівартістю такої електроенергії, в 2-2,5 рази нижчою за існуючу сьогодні на електростанціях;

- Інвестиції на 1 кВт встановленої потужності більш ніж в 2 рази менші, ніж за іншими технологіями;

- Можливість залучення значної частини коштів для інвестицій в енергоефективні технології на основі НВДЕ від іноземних партнерів на безповоротній основі за рахунок квот на викиди в атмосферу;

- Можливість залучення коштів, виручених від реалізації електроенергії, що значно перевищують інвестиційні кошти на впровадження вказаних енергозберігаючих заходів, в інші галузі.

Лекція 25

Екологічні показники традиційної та відновлюваної енергетики

Екологічні показники традиційної та відновлюваної енергетики. Викиди, характерні для традиційних електростанцій. Засоби боротьби з викидами. Відновлювана енергетика і екологія.

Енергетична безпека — це стан готовності паливно-енергетичного комплексу країни щодо максимально надійного, технічно безпечного, екологічно прийняттого, економічно ефективного та обґрунтовано достатнього енергозабезпечення економіки держави й населення, а також стосовно гарантованого забезпечення можливості керівництва держави у формуванні та здійсненні політики захисту національних інтересів у сфері енергетики без зовнішнього і внутрішнього тиску. З огляду на це визначення виокремлюють такі складові енергетичної безпеки: енергозабезпечення, енергетична незалежність, екологічна прийнятність та соціальна стабільність. Потрібно зазначити, що поділ на складові є умовним, тому деякі механізми та стратегічні пріоритети забезпечення енергетичної безпеки будуть загальними для різних її складових. Це зрозуміло у зв'язку з багатоплановістю самого поняття енергетичної безпеки, взаємовпливом різних її складових.

Сучасний стан енергетичної безпеки в Україні незадовільний. Однією з головних причин цього є низька ефективність виробництва, транспортування та споживання паливно-енергетичних ресурсів, брак активної політики енергозбереження в країні. Вплив заходів щодо енергоефективності на енергетичну безпеку багатоплановий та значний, що відображається на стані енергетичної безпеки.

Основними складовими глобальної екологічної проблеми є:

— ускладнення, пов'язані з отриманням необхідних речовин, енергії, інформації з природного середовища;

— забруднення довкілля відходами виробництва. У середньому один житель Землі викидає 1 т господарсько-побутових відходів на рік. У розвинутих країнах виробляється найбільша кількість шкідливих і токсичних відходів (наприклад, у США — в 6 разів більше, ніж в інших країнах);

— порушення інформаційних зв'язків у природі, збіднення біологічного та ландшафтного різноманіття;

— погіршення здоров'я населення, стану економіки, соціальної стабільності.

Складна екологічна ситуація в Україні, зумовлена значною мірою шкідливими викидами підприємств традиційної енергетики, також потребує впровадження енергозберігаючих заходів. Є певна залежність між послідовним проведенням політики, спрямованої на збільшення енергоефективності (шляхом реалізації енергозберігаючих заходів) у всіх сферах національного господарства, та охороною навколишнього середовища (шляхом позитивного впливу на довкілля). Ефективне енергоспоживання в галузях економіки та населенням зменшить загальне використання енергоресурсів, що відповідно зумовить зменшення забруднення навколишнього середовища, зокрема, скорочення викидів в атмосферу газів, що виникають у промислових процесах

виробництва енергоносіїв. Покращенню екологічного стану довкілля також сприятимуть впровадження енергоефективних технологій, устаткування, обладнання, побутових енергетичних пристроїв; використання нетрадиційних та відновлюваних джерел енергії, альтернативних видів палива, що забезпечать економію або заміщення енергоресурсів, технології видобутку, виробництво та використання яких є екологічно неприйнятними. Тому під час планування і проведення політики енергозбереження та підвищення енергоефективності виробництва в Україні потрібно поєднувати ці питання з проблемами екології в єдину державну політику розвитку економіки держави. Заходи щодо енергозберігання повинні мати позитивний екологічний вплив на довкілля і, навпаки, у процесі оцінювання витрат на зменшення шкідливих викидів варто враховувати економічні вигоди від енергозбереження, тобто окупність цих витрат.

Проблеми промислового та паливно-енергетичного комплексу. Нинішню екологічну ситуацію в Україні можна охарактеризувати як кризову, що формувалася протягом тривалого періоду через нехтування об'єктивних законів розвитку і відтворення природно-ресурсного комплексу України. У державі відбувалися структурні деформації народного господарства, за яких перевага надавалася розвиткові сировинно-видобувних, екологічно найнебезпечніших галузей промисловості.

Якщо розглядати це питання більш детально стосовно України, то їй дісталась неприродна, штучно створена система промисловості, де гіпертрофовану високу частку займають гірничодобувна, металургійна й хімічна промисловість, що складається з "супергігантів" із застарілими технологіями виробництва надзвичайно матеріало- й енергомісткими, що сильно забруднює навколишнє середовище. Займаючи 3 % території колишнього СРСР, Україна виробляла майже 20 % його суспільного продукту. Питома вага засобів виробництва (групи А) становить близько 70 %. Морально і фізично зношені і застарілі підприємства особливо сильно забруднюють природне середовище і екологічно небезпечні.

Гранично висока концентрація населення й виробництва, а отже, дуже напружена екологічна ситуація склалася в Донбасі, що займає лише 8,8 % площі України, але у ньому проживає біля 16,0 % населення країни, у тому числі майже 22 % міського. Про високу просторову зосередженість промисловості Донбасу, особливо виробництв, які внаслідок своєї технології та недостатніх природоохоронних заходів найбільш згубно впливають на навколишнє середовище, свідчать такі дані: на даний район припадає 21 % випуску всієї промислової продукції країни, у томі числі 64 % паливної, 43 % чорної металургії, 31 % хімічної та нафтохімічної, 25 % електроенергетичної.

Друге місце за густотою населення та рівнем територіальної концентрації виробництва посідає Придніпров'я, зокрема міста Запоріжжя і Дніпропетровськ. На цей регіон припадає 9,8 % площі та близько 12 % населення країни (міського - 14 %). У цьому районі сконцентровано 18 % випуску промислової продукції України, зокрема 52 % металургійної, понад 22 %

електроенергетичної, 13 % хімічної та нафтохімічної. При цьому слід підкреслити, що у Придніпров'ї, як і на Донбасі, найбільші промислові підприємства розташовані на досить обмеженій площі - на вузькій смузі. Саме у названих регіонах через неприпустимо сильну забрудненість повітря, води й землі проблема охорони навколишнього середовища й раціонального використання природних ресурсів постає дуже гостро.

Таким чином, зони екологічної кризи сформувалися майже на третині території України. Це, насамперед, Донбас і середнє Придніпров'я, де впродовж десятиріч порушувався принцип раціонального природокористування та було перевищено антропогенним навантаженням природно-ресурсний потенціал. Високий рівень концентрації промислових об'єктів, нераціональна структура промислового виробництва з високою концентрацією екологічно небезпечних виробництв, відсутність належних природоохоронних систем зумовили тут високий рівень забруднення довкілля, дефіцит водних ресурсів та нестачу в безвітряні періоди кисню в приземних шарах атмосфери, що призводить до смогових явищ.

До числа екологічно найбільш напружених регіонів України відносяться також Прикарпаття, Північний Крим, північна частина Сумської та придніпровська частина Черкаської областей, м. Київ з їх потужним хімічним та нафтохімічним виробництвами; ряд районів Київської, Харківської, Івано-Франківська, Вінницької, Рівненської, Хмельницької, Запорізької та Одеської областей з розміщеними в них великими об'єктами енергетики, у тому числі атомної.

На екологічну обстановку негативно впливають швидко зростаючі міста. За останні 50 років чисельність міського населення в Україні зростає майже на 80 %. Саме у швидко зростаючих містах, особливо у великих, екологічна обстановка оцінюється як дуже напружена.

Крім основних компонентів, що утворюються в результаті спалювання органічного палива (вуглекислого газу і води), **викиди ТЕС** містять пилові частинки різного складу, оксиди сірки, оксиди азоту, фтористі сполуки, оксиди металів, газоподібні продукти неповного згоряння палива. Їх надходження в повітряне середовище завдає великої шкоди, як усіма основними компонентами біосфери, так і підприємствам, об'єктам міського господарства, транспорту і населенню міст.

При функціонуванні **великих ГЕС** швидкості течії річок можуть зменшуватися в десятки разів, крім того, в деяких ділянках водосховища можуть виникати повністю застійні зони, що спричиняє специфічні зміни термічного режиму водних мас водосховища. Помітною є зміна льодового режиму, що виражається у зсуві строків льодоставу, збільшенні товщини крижаного покриву водосховища на 15-20%, тоді як на водозливах утворюються ополонки. Змінюється тепловий режим в нижньому б'єфі: восени надходить більш тепла вода, нагріта у водосховищі за літо, а навесні - холодніша на 2-4°C в результаті охолодження в зимові місяці. Ці відхилення від природних умов поширюються на сотні кілометрів від греблі гідроелектроелектростанції.

Зміна гідрологічного режиму і затоплення територій викликає зміна гідрохімічного режиму водних мас. У верхньому б'єфі маси вода насичуються органічними речовинами, які надходять з річковим стоками і вимиваються з затоплених ґрунтів, а в нижньому - збіднюється, тому що мінеральні речовини з-за малих швидкостей течії осідають на дно. Як у верхньому, так і в нижньому б'єфі змінюється газовий склад і газообмін води. У результаті зміни руслових режимів у водосховищах утворюються наноси.

Створення водосховищ може викликати землетруси навіть у асейсмічних районах через просочування води в межі розломів. Підтвердженням цьому служать землетруси в долинах річок Міссісіпі, Чайри (Індія) ін.

Втрати, що наноситься ГЕС, багато в чому можна зменшити або компенсувати. Ефективним способом зменшення затоплення територій є збільшення кількості ГЕС у каскаді зі зменшенням на кожного ступеня натиску і, отже, дзеркала водоймищ. Незважаючи на зниження енергетичних показників, низьконапірні гідровузли, що забезпечують мінімальне затоплення земель, що лежать в основі всіх сучасних розробок. Затоплення земель також компенсується культивацією ґрунтів в інших районах і підвищенням рибної продуктивності водоймищ. Адже з кожного гектара акваторії можна одержувати більше тваринного білка, ніж з сільськогосподарських угідь. Для досягнення цього служать рибні заводи. Також слід зменшувати площу затопленої землі на одиницю створюваної потужності. Для полегшення проходження риби через споруди гідровузла вивчають поведінку риб у гідротехнічних спорудах, їх ставлення до потоку і температури води, до рельєфу дна і освітленості; створюють рибопропускні шлюзи - за допомогою спеціальних пристосувань її приваблюють в рибонакопитель, а потім з предплотинних ділянок річки переводять у водосховище. Радикальним же способом попередження евтрофікування водойм є припинення скидання стічних вод.

Атомні електростанції. Атомна електростанція (АЕС) - електростанція, в якій атомна (ядерна) енергія перетворюється в електричну. Генератором енергії на АЕС є атомний реактор. Тепло, що виділяється в реакторі в результаті ланцюгової реакції поділу ядер деяких важких елементів, потім так само, як і на звичайних теплових електростанціях (ТЕС), перетворюється в електроенергію. АЕС працює на ядерному пальному (в основному ^{233}U , ^{235}U , ^{239}Pu).

Твердження про безпеку атомної енергетики були спростовані після декількох великих аварій у Великобританії, США і СРСР, найбільш масштабною з яких стала катастрофа на Чорнобильській АЕС. В епіцентрі аварії рівень забруднення був настільки високий, що населення ряду районів довелося евакуювати, а ґрунти, поверхневі води, рослинний покрив виявилися радіоактивно зараженими на багато десятиліть. Усе це загостило розуміння того, що мирний атом вимагає особливого підходу.

Радіоактивні відходи з'являються на АЕС з двох джерел: головним є основний технологічний контур АЕС, іншим джерелом є допоміжні установки, наприклад, газовий контур, контур охолодження.

Технологічний процес на атомній станції передбачає постійне видалення з теплоносія присутніх і утворених в ньому газів. Газоподібні відходи утворюються і при дегазації різних протікань теплоносія, в басейнах витримки відпрацьованого палива, при дегазації розчинів в баках витримки.

Відведені з контуру і технологічного обладнання газу складаються звичайно з азоту і водню, містять домішки водяної пари і містять газоподібні продукти поділу - радіонукліди Kr, Xe, Ar. Перед викидом в атмосферу газу спочатку піддають витримці, протягом якої їх активність зменшується за рахунок розпаду радіоактивних нуклідів. Для виключення утворення вибухонебезпечних сумішей з воднем газу розбавляють азотом і спалюють у спеціальних пристроях.

Можуть також утворюватися радіоактивні відходи у формі аерозолів - це мікрокаплі рідких радіоактивних середовищ і тверді мікрочастинки, що виносяться газовим потоком. Аерозолі можуть також з'являтися у результаті протікання теплоносія. Радіоактивні аерозолі та ізомери радіоактивного йоду видаляються з приміщень вентиляційними системами. Перед викидом в атмосферу повітря, що містить газу та аерозолі, проходить очищення на аерозольних і йодних фільтрах, а також на вугільних фільтрах-адсорберах. Дозиметричний контроль за вмістом радіонуклідів у видаленому повітрі, контроль за роботою систем вентиляції та ефективністю фільтрів обов'язково супроводжує процес виведення газів з приміщень АЕС.

Основний *вплив АЕС* на живі організми визначається канцерогенним впливом радіонуклідів. Вони можуть викликати мутації, тобто змінювати генетичну будову клітини, порушувати проходження біохімічних процесів та ініціювати ракові захворювання.

Часто вважають важливим лише загальний рівень опромінення, тобто коли енергія атома розглядається з точки зору швидкого ураження живих організмів. Дійсно, у випадку з АЕС така дія трапляється лише при аваріях та катастрофах, проте при звичайних умовах експлуатації станції щодня відбувається поступове накопичення невеликих доз опромінення, радіонукліди здатні накопичуватися в органах, тканинах, ґрунтах, водоймах і т.і.; при цьому їх концентрація може зростати в тисячі, і навіть сотні тисяч разів - це добре вивчене в екології явище так званої біоаккумуляції радіоактивності.

Додаткову складність з'ясування ефекту біоаккумуляції надає той факт, що всередині організму радіонуклідів розподілені зазвичай нерівномірно. Одні (наприклад, тритій, радіоводень, рубідій-87, цезій-137) розподіляються більш-менш рівномірно, інші концентруються в певних органах (наприклад, стронцій - в скелеті, йод - у щитовидній залозі).

Необхідно відзначити, що концентрація радіонуклідів залежить від багатьох факторів, а це означає, що навіть незначні вихідні викиди і концентрації радіонуклідів можуть непередбачувано стати значущими і небезпечними.

Один із самих звичайних у викидах АЕС радіонуклід цезій-137. Він швидко "рухається" в харчових ланцюжках, і, потрапляючи в організм людини, затримується в м'язових клітинах.

Крім того, до недоліків АЕС можна віднести труднощі, пов'язані з похованням ядерних відходів, катастрофічні наслідки аварій і теплове забруднення використовуються водою.

Виділення тепла відбувається також в атмосферу, для чого на АЕС використовуються так звані градирні, які виділяють значну кількість тепла в атмосферу. Широке застосування потужних градирень висуває ряд нових проблем, що пов'язані із величезними витратами води. Крім того, при нормальному солевмісті підживлюючої води за рік виділяється близько 13,5 тис. т солей, що випадають на поверхню навколишньої території. Навіть на даний час немає достовірних даних про вплив на навколишнє середовище цих факторів.

На АЕС передбачаються заходи для повного виключення скидання стічних вод, забруднених радіоактивними речовинами. У водойми дозволяється відводити строго певну кількість очищеної води з концентрацією радіонуклідів, що не перевищує рівень для питної води. Дійсно, систематичні спостереження за впливом АЕС на водне середовище при нормальної експлуатації не виявляють суттєвих змін природного радіоактивного фону. Інші відходи зберігаються в ємностях в рідкому вигляді або попередньо переводяться в твердий стан, що підвищує безпеку зберігання.

Безпечна робота АЕС може бути забезпечена при дотримання наступних вимог:

1) дотримання принципу глибоко ешелонованого захисту, заснованого на застосуванні систем і бар'єрів на шляху можливого виходу радіоактивних продуктів в навколишнє середовище і системи технічних і організаційних заходів щодо збереження ефективності захисту;

2) існування системи локалізації аварії, яка включає в себе герметичні огорожі - захисну оболонку, що являє собою будівельну конструкцію з необхідним набором герметичного обладнання для транспортування вантажів при ремонті і проході через оболонку трубопроводів, електрокабелів і людей (люки, шлюзи, герметичні проходки труб і кабелів і т.д.).

3) наявність масивних будівельних конструкцій, які забезпечують надійний захист персоналу та населення від іонізуючого випромінювання.

4) постійний контроль параметрів в процесі експлуатації (тиску, температури, активності).

5) наявність спринклерної системи, яка розбризкує холодну воду всередині гермооболонки, конденсує пару, що утворюється при течах першого контуру і тим самим знижує тиск і температуру в оболонці. Спринклерна система використовується також для організації зв'язування йоду, що міститься в парі та повітрі герметичних приміщень, для чого на вході спринклерних насосів додається спеціальний розчин.

6) існування системи забезпечення радіаційної безпеки персоналу АЕС і населення.

Відновлювана енергетика. Все більшого розповсюдження отримують електростанції, що використовують відновлювані джерела енергії - вітрові, геотермальні, сонячні, та інші. Розробляються нові проекти, споруджуються

дослідні і промислові установки. На електростанції на основі відновлюваних джерел енергії покладають великі надії з точки зору зниження антропогенного навантаження на навколишнє середовище. Такі електростанції також не позбавлені екологічних недоліків. Так, вітрові електростанції є джерелами так званого шумового забруднення, сонячні електростанції високих потужностей займають великі площі, що псує ландшафт і вилучає землі з сільськогосподарського обігу. Дія космічних сонячних електростанцій (у проекті) пов'язана з передачею енергії на Землю за допомогою висококонцентрованого пучка мікрохвильового випромінювання. Його можлива дія не вивчена і характеризується як імовірно негативне. Окремо стоять геотермальні електростанції, їх вплив на атмосферу характеризується можливими викидами миш'яку, ртуті, сполук сірки, бору, силікатів, аміаку та інших речовин, розчинених у підземних водах. У атмосферу викидаються також водяні пари, що пов'язано з зміною вологості повітря, виділенням тепла, шумовими ефектами. Вплив геотЕС на гідросферу виявляється в порушенні балансів підземних вод, кругообігу речовин, пов'язаного з підземними водами. Вплив на літосферу пов'язано зі зміною геології пластів, забрудненням і ерозією ґрунту. Можливі зміни сейсмічності районів інтенсивного використання геотермальних джерел.

Таким чином, розвиток енергетики впливає на різні компоненти природного середовища: на атмосферу, на гідросферу, на літосферу. В даний час цей вплив набуває глобальний характер, зачіпаючи всі структурні компоненти нашої планети. Виходом для суспільства з цієї ситуації повинні стати: впровадження нових технологій (з очищення, рециркуляції викидів; з переробки та зберігання радіоактивних відходів та ін), поширення відновлюваної енергетики і використання нетрадиційних джерел енергії.

Використання територій з напруженими екологічними ситуаціями для потреб відновлюваної енергетики. Екологічна ситуація – це сукупність станів екологічних об'єктів в рамках визначеної території (ландшафт, річковий басейн, адміністративний район, територія міста, природний регіон або адміністративна область) у визначений період часу. Екологічна ситуація характеризується визначеним ступенем відповідності навколишнього середовища оптимальній життєдіяльності людини.

На території України в більшості випадків (крім зони Чорнобиля) напружені екологічні ситуації притаманні територіям з високою концентрацією виробництва та прилеглим територіям і для них характерні наступні риси:

- високі рівні хімічного забруднення атмосферного повітря, природних вод, ґрунтів,
- велика кількість відходів;
- велика питома щільність енергії;
- відчуження земель;
- постійність і повсюдність впливу на навколишнє природне середовище;
- негативний вплив на здоров'я людей.

Позитивні і негативні особливості впливу об'єктів відновлюваної енергетики на навколишнє природне середовище:

А. Позитивні:

- відсутність хімічного забруднення атмосферного повітря, природних вод, ґрунтів;
- відсутність відходів через те, що об'єкти альтернативної енергетики на відміну від усіх інших об'єктів промисловості використовують не речовину, а природну енергію;
- зменшення потреби у використанні невідновлюваних джерел енергії;
- більш природний (тобто менш штучний) спосіб енерговиробництва;
- зменшення потреби у великих ЛЕП і відповідних втрат енергії під час її транспортування через можливість наближення енерговиробництва до споживача;
- відповідно до попереднього пункту, відбувається зменшення потреби у чорних і кольорових металах для спорудження ЛЕП, що зменшує навантаження у цілому ланцюжку виробництв, що негативно впливають на довкілля, що добре відомі економіко-географові (від гірничодобувного до металопрокатного);
- для відновлюваних джерел енергії характерна зручність використання автоматизованих систем управління і роботи в режимах без участі людини.

Б. Негативні:

- велика територіальна і часова нерівномірність функціонування, що робить вплив на навколишнє середовище більш дискретним і концентрованим у часі;
 - низька питома щільність енергії (для СЕС густина потоку енергії дорівнює $1,6 \cdot 10^{-4}$ МВт/м², для ВЕС при швидкості вітру 5м/с – $7,6 \cdot 10^{-5}$ МВт/м² 10), через що вимагається будівництво більшої кількості об'єктів або охоплення більшої території, тобто значна землемісткість;
 - потреба у розсіяних елементах (германій тощо), видобування котрих спричинене з розвитком гірничодобувної промисловості – досить землеміскої і екологічно брудної;
 - істотний фізичний вплив (шумове, електромагнітне забруднення тощо).
- Таким чином, при розташуванні об'єктів відновлюваної енергетики на територіях з напруженими екологічними ситуаціями спостерігаються наступні зміни:
- зменшення хімічного забруднення;
 - зменшення кількості відходів за рахунок самовідновлення екосистем;
 - заміна континуального (постійного) впливу на навколишнє природне середовище дискретним (тимчасовим);
 - зниження питомої щільності енергії на одиницю площі;
 - комплексне використання земель;
 - використання автоматизованих систем управління і роботи в режимах без участі людини, зменшення впливу на здоров'я людей.

Таким чином, при використанні територій з напруженими екологічними ситуаціями для розвитку відновлюваної енергетики відбувається покращення стану навколишнього природного середовища без припинення господарської діяльності на даній території.

Охорона навколишнього природного середовища. З метою удосконалення екологічної політики у 2007 році Міністерством охорони навколишнього природного середовища України було розроблено «Концепцію національної екологічної політики України на період до 2020 року». Мета реалізації національної екологічної політики полягає в стабілізації та поліпшенні екологічного стану території держави шляхом утвердження національної екологічної політики як інтегрованого фактора соціально-економічного розвитку України для забезпечення переходу до сталого розвитку економіки та впровадження екологічно збалансованої системи природокористування.

Стратегічний документ «Стратегія національної екологічної політики. Національний План дій з охорони навколишнього природного середовища на 2009-2012 роки» враховує процеси глобалізації економіки, розвиток ринкових відносин та рішення Київської конференції міністрів навколишнього природного середовища «Довкілля для Європи» (2003 рік), Всесвітнього саміту зі сталого розвитку в м. Йоганнесбурзі (2002 рік), вступ України до СОТ, положення ряду міжнародних зобов'язань України в сфері охорони навколишнього природного середовища.

Міжнародне співробітництво України з іншими країнами в сфері охорони довкілля зосереджується на таких напрямках:

- охорона біорізноманіття;
- охорона транскордонних водотоків;
- охорона атмосферного повітря та озонового шару;
- мінімізація наслідків зміни клімату;
- оцінка впливу на довкілля у транскордонному контексті;
- поводження з відходами;
- деградація земель.

В останні роки спостерігається збільшення капітального інвестування екологічного призначення підприємствами, установами та організаціями України порівняно з їх загальними витратами на фінансування заходів з охорони та раціонального використання природних ресурсів.

Кадастри викидів та поглинання парникових газів. Станом на 2009 рік в Україні підготовлено вісім Національних кадастрів антропогенних викидів із джерел та абсорбції поглиначами парникових газів (ПГ).

У 5-му Національному повідомленні 2009 р., підготовленому підготовленому на виконання статті 4 та 12 Рамкової конвенції ООН про зміну клімату та статті 7 Кіотського протоколу, представлені дані стосовно тенденцій викидів п'яти ПГ прямої дії: діоксиду вуглецю (CO_2), метану (CH_4), закису азоту (N_2O), перфторвуглеців (ПФВ) і гідрофторвуглеців (ГФВ), а також поглинання діоксиду вуглецю, отримані в останньому Національному кадастрі викидів та поглинання ПГ за 1990-2007 рр. Національне повідомлення не містить оцінок викидів гексафториду сірки (SF_6), оскільки в Україні цей газ не виробляється, і в національній статистиці відсутня інформація про його застосування.

Найбільша частка викидів ПГ припадає на діоксид вуглецю – 75,4% від сумарних викидів у 1990 році. Викиди метану в 1990 році склали 17,7 %, а закиси азоту – 6,9 %. У 2007 році пропорція практично збереглася – 75,5 %, 18,4 % і 6,1 % для діоксиду вуглецю, метану і закиси азоту відповідно.

Найбільший вклад у загальні викиди ПГ в Україні вносить сектор енергетики.

Його частка в сумарних викидах за період 1990-2007 рр. в різні роки складала від 76 до 86 % (з урахуванням сектора ЗЗЗЛГ). Скорочення викидів у секторі енергетики у 2007 році в порівнянні з 1990 роком було одним з найбільших серед інших секторів (більш різке скорочення викидів ПГ спостерігалось тільки в секторі сільського господарства) і складало 56 % - з 685,5 до 299,7 млн. т CO₂-екв.

Сектор промислових процесів є другим за величиною джерелом викидів ПГ після енергетичного сектора. Частка викидів в промисловому секторі за вказаний період складала від 13 % до 25 % загальних національних викидів ПГ, причому її максимальні значення досягнуті в 2001-2007 рр., коли йшло швидке відновлення гірничо-металургійної галузі. Викиди ПГ в цілому по сектору скоротилися з 128,0 млн. т CO₂-екв. у 1990 році до 97,7 млн. т CO₂-екв. у 2007 році (на 24 %).

Викиди в секторі сільського господарства за період 1990-2007 рр. змінювалися в межах 7-14 % від загальних викидів (з урахуванням сектору ЗЗЗЛГ). Відносне скорочення викидів в 2007 році в порівнянні з 1990 роком в цьому секторі було найбільшим серед всіх секторів і склало 72% (з 103,8 до 28,8 млн. т CO₂-екв.). Це пояснюється, перш за все, істотним скороченням поголів'я худоби, прибраних площ культур і об'ємів мінеральних та органічних добрив, що вносяться в ґрунт, а також зміною практики прибирання, зберігання та використання гною.

Сектор «Відходи» є єдиним сектором в Україні, який має позитивну динаміку викидів за вказаний період. Зокрема, за період 1990-2007 рр. викиди в цьому секторі збільшилися на 12,5 %. Частка сектору «Відходи» у 1990 році була незначна і складала 8,4 млн. т CO₂-екв. або 1,0% у загальних викидах, проте до 2007 року частка зазначеного сектору збільшилася до 2,4% від сумарних викидів (9,5 млн. т CO₂-екв.).

Політика та заходи, спрямовані на зменшення викидів та збільшення поглинання парникових газів на території України, зокрема відповідно до ст. 2 Кіотського протоколу. Указом Президента України від 12 вересня 2005 року № 1239/2005 Мінприроди визначено координатором заходів щодо виконання зобов'язань України за Рамковою конвенцією ООН про зміну клімату та Кіотським протоколом до неї.

Національне агентство екологічних інвестицій України (Нацекоінвестагентство) забезпечує реалізацію державної політики у сфері регулювання негативного антропогенного впливу на зміну клімату. Основним завданням Нацекоінвестагентства є забезпечення виконання вимог Рамкової конвенції ООН про зміну клімату та впровадження механізмів, передбачених Кіотським протоколом до неї, в тому числі в частині залучення інвестицій та

реалізації проектів, спрямованих на охорону навколишнього природного середовища.

З метою організації розроблення та координації впровадження національної стратегії та національного плану дій з виконання зобов'язань України відповідно до Рамкової конвенції ООН про зміну клімату та Кіотського протоколу до неї створена Міжвідомча комісія із забезпечення виконання Рамкової конвенції ООН про зміну клімату (МВК).

МВК проводить свої засідання щокварталу, здійснює розроблення пропозицій щодо впровадження передбачених Кіотським протоколом механізмів виконання зобов'язань; координацію діяльності міністерств, інших центральних та місцевих органів виконавчої влади, підприємств, установ та організацій з питань впровадження національного плану дій з виконання зобов'язань України за Рамковою конвенцією ООН та Кіотського протоколу до неї, а також розгляд звітних документів, що надсилаються до Секретаріату Конвенції, проектів директив офіційним урядовим делегаціям і представникам Кабінету Міністрів України на міжнародні заходи з питань зміни клімату та звітів за результатами участі у зазначених заходах.

На початку 2009 року з урахуванням аспектів міжнародного переговорного процесу, Кабінетом Міністрів України були затверджені зміни до Національного плану заходів з реалізації положень Кіотського протоколу до Рамкової конвенції ООН про зміну клімату (розпорядженням Кабінету Міністрів України від 18.08.2005 № 346-р).

Новий Національний план заходів передбачає всі умови, необхідних для виконання зобов'язань за Рамковою конвенцією ООН про зміну клімату та повноцінної участі України у гнучких механізмах Кіотського протоколу.

Основні складові Національного плану заходів такі:

- проведення національного обліку антропогенних викидів і поглинання ПГ, оприлюднення отриманих результатів та робота по його вдосконаленню;
- розвиток інфраструктури проектів спільного впровадження;
- розробка Національної системи торгівлі викидами ПГ;
- регулярна підготовка Національних повідомлень з питань зміни клімату;
- розробка національного та регіональних планів заходів з пом'якшення наслідків зміни клімату;
- розробка національного, регіональних та галузевих планів заходів з адаптації до зміни клімату;
- створення бази даних екологічно безпечних технологій та методів;
- підготовка наукового, технічного та управлінського персоналу;
- інформування громадськості стосовно проблем зміни клімату.

На регіональному рівні більшість проблем зі зменшення викидів парникових газів вирішувалися шляхом розробки програм з енергозбереження. Ці регіональні програми були розроблені у відповідності до Комплексної державної програми енергозбереження України та Основних напрямів Державної політики України в галузі охорони довкілля, використання природних ресурсів та забезпечення екологічної безпеки.

Державна політика щодо стимулювання енергозбереження та скорочення викидів парникових газів у секторі енергетики викладена в програмному документі Уряду – Енергетичній стратегії до 2030 року.

У 2004 році було розроблено окремий План заходів щодо зменшення негативного впливу автомобільних транспортних засобів на довкілля на 2004-2010 рр. У 2006 році прийнята Галузева програма енергозбереження та впровадження альтернативних видів палива на транспорті на 2006-2010 рр.

Міністерством промислової політики України в рамках Енергетичної стратегії України було затверджено галузеву програму щодо збільшення енергоефективності до 2017 року. В державі потенціал для скорочення викидів парникових газів є, насамперед, на підприємствах чорної металургії, хімічного та паливно-енергетичного комплексів, інших галузей промисловості.

Політику щодо розвитку житлово-комунального господарства визначено в ухваленій Законом України Загальнодержавній програмі реформування і розвитку житлово-комунального господарства на 2009-2014 рр.

Стратегія розвитку лісового господарства окреслена в Концепції реформування та розвитку лісового господарства. А Державна програма «Ліси України» на 2010–2015 рр. передбачає посилення екологічних, соціальних та економічних функцій лісів.

Прогнози, загальний вплив політики та заходів, реалізація механізмів Кіотського протоколу. При розробці прогнозу економіки України приймалися припущення щодо розвитку світової економіки та реалізації внутрішнього потенціалу економічного розвитку України. Щодо світової економіки приймалося, що реалізація узгоджених антикризових заходів призведе до стабілізації функціонування фінансового сектору і, починаючи з 2010 року, світова економіка почне поступово відновлюватися.

Як результат, поступово відновиться зовнішній попит на українські товари та стане більш доступним зовнішнє фінансування. Перспективи розвитку економіки України залежатимуть від здійснення прогресивних інституційних та структурних перетворень, поглиблення європейської інтегрованості української економіки. При розробці прогнозу припускалося, що період 2009-2012 рр. для України буде етапом посткризового одужання фінансової та економічної системи, а період 2013-2020 рр. стане важливим етапом реструктуризації та закріплення позитивних тенденцій економічного та соціального розвитку.

Після значного падіння у 2009 році реальний ВВП у 2010-2015 рр. зростатиме темпами, які є вищими за потенційні темпи зростання ВВП, зменшуючи розрив між фактичним та потенційним ВВП. Такому зростанню сприятимуть покращення інвестиційного клімату, збільшення інвестицій в реальний сектор економіки та реалізація великих інфраструктурних проєктів. Протягом 2016-2020 рр. темпи зростання ВВП поступово знизяться до рівня потенційних темпів зростання.

Протягом прогнозного періоду очікується запровадження енергозберігаючих технологій, а також проєктів, спрямованих на екологізацію енергетики. Як результат, споживання енергоресурсів на вироблену одиницю

випуску скоротиться, що позначиться на зниженні енергоємності ВВП на 25,6% у 2020 році порівняно з енергоємністю у 2007 році.

Очікується збільшення потужностей по генерації електроенергії, головним чином за рахунок введення в дію нових енергоблоків АЕС та проведення модернізації ТЕС та збільшення потужності розподільчих мереж. Крім того, у 2015-2020 рр. очікується приєднання енергосистеми України до розподільчої системи ЄС (UCTE), що дозволить значно наростити обсяги експорту електроенергії.

Протягом прогнозного періоду очікується зростання кількості автомобілів в Україні, зумовлене стабілізацією і нарощуванням обсягів споживчого попиту населення на товари довгострокового використання та підвищення ділової активності в країні, що призведе до зростання товарообороту.

Українська металургія залишиться переважно експортно-орієнтованою у довгостроковій перспективі, незважаючи на поступове збільшення поставок сталі на внутрішній ринок.

Генерація твердих побутових відходів на одну особу буде зростати у відповідь на збільшення доходів населення та споживання промислових товарів. Разом з тим, використання екологічних пакувань та збільшення рівня та глибини переробки побутових відходів дозволить знизити екологічне навантаження на оточуюче середовище.

До 2020 року прогнозується зростання чисельності ВРХ, свиней та птиці по сільськогосподарським підприємствам та в господарствах населення. Зростання поголів'я відобразатиме ріст попиту на м'ясо та м'ясні продукти з боку населення.

Прогнозується збільшення посівних площ під кормові культури, що пов'язано з ростом поголів'я худоби в країні.

Збільшення лісистості території держави включено до пріоритетних напрямків розвитку лісогосподарської галузі, тому очікується збільшення площ лісових насаджень, що перевищують площу зрубів.

Лекція 26

Роль первинних джерел енергії при формуванні національної енергетичної політики

Формування ринків первинних енергоносіїв із застосуванням механізмів конкуренції. Вплив енергетики на рівень розвитку суспільства.

Умови Кіотського протоколу. Концепція ООН про зміну клімату. Квоти та зобов'язання регіонів і країн щодо рівнів викидів. Основні принципи, що закладені в основу Енергетичної хартії. Заходи енергозбереження, енергетичної політики, енергетичного законодавства в Україні та світі. Екологічна політика України. Роль виховання і освіти у забезпеченні раціонального використання енергії та вирішенні екологічних проблем. Енергозбереження та раціональне і економічне використання енергії як екологічний фактор.

Формування ринків первинних енергоносіїв із застосуванням механізмів конкуренції. Вплив енергетики на рівень розвитку суспільства.

Важливою складовою державного суверенітету є енергетична безпека. Наявність тих чи інших загроз енергетичній безпеці держави, яка є також невід'ємною складовою її економіки та політики, свідчить про обмеження державного суверенітету. Важливість забезпечення енергетичної безпеки пояснюється також її комплексною природою. Дуже часто питання енергетичної безпеки мають безпосередній вплив на розв'язання важливих політичних, економічних а також екологічних питань.

Питання енергетичної безпеки набувають особливої актуальності для України та держав-членів ЄС в контексті подій, які останнім часом у світі (в Японії, Північній Африці та на Близькому Сході), і які вплинули на енергетичну політику багатьох країн.

Такі глобальні виклики енергетичного характеру можна подолати лише спільними зусиллями. За деякими оцінками з вивчення світових енергетичних ринків в разі збереження та посилення нестабільності в країнах Північної Африки та Близького Сходу, ціни на газ в Європі можуть зрости на 60%, а в США – на 10%. При цьому слід врахувати, що держави цього регіону забезпечують 30% імпорту газу до Європи.

У зв'язку з цим питання диверсифікації енергоресурсів для ЄС набуває додаткової актуальності. Після катастрофічного землетрусу та вибухів на АЕС в Японії, ЄС змушений був переглянути свою політику в атомній енергетиці. З цією метою єврокомісар з енергетики Гюнтер Еттінгер провів екстрену зустріч міністрів енергетики спільноти, представників національних агентств з атомної енергії країн ЄС, представників компаній-операторів, розробників та будівельників АЕС. Вперше за багато років на подібній зустрічі не було гострих розбіжностей, незважаючи на очевидний контраргумент, що, на відміну від Японії, Європа знаходиться в сейсмічно стабільній зоні. Учасники зустрічі ухвалили три ключові рішення:

По-перше, негайно почати підготовку стрес-тестів всіх 143 європейських АЕС.

По-друге, провести повторний аналіз з точки зору безпеки всіх проектів споруджуваних станцій.

По-третє, на основі стрес-тестів і вивчення японського досвіду приступити до вироблення принципово нової єдиної європейської системи стандартів ядерної безпеки.

Вважається, що у перспективі дані заходи не тільки зміцнять основи енергетичної безпеки ЄС, але й забезпечать вироблення міжнародних норм ядерної безпеки, оскільки навіть на цій ранній стадії обговорення єврокомісар з енергетики вже висловився за приєднання до цього процесу інших ядерних партнерів ЄС таких як, Росія, Швейцарія та Японія.

Ще одним наслідком нещодавніх подій в Японії на національному рівні є відмова окремих держав-членів від використання атомної енергетики. Наприклад Уряд Швейцарії вже заявив, що виведе з експлуатації всі п'ять атомних електростанцій у країні. Як очікується, це станеться після закінчення 50-річного ресурсу нинішніх АЕС – у період з 2019 по 2034 рік. Дані події також вплинули на ядерну політику Німеччини. Згідно заяви Міністра навколишнього середовища Німеччини всі 17 атомних електростанцій в країні буде закрито до 2022 року (у Бундестазі вже прийнято відповідний закон).

Згадані події вкотре продемонстрували, нестабільність цін на нафту та газ, а також недостатній рівень забезпеченості власними енергоресурсами (напр. в Італії, Франції, Польщі, Чехії, країнах Прибалтики та ін.). Викладене підтверджує гостру необхідність зміцнення спільної зовнішньої енергетичної політики ЄС, центральним елементом якої має стати енергетична безпека.

У той самий час окремі держави-члени демонструють небажання передавати свої повноваження в сфері енергетики на наднаціональний рівень зберігаючи при цьому суверенітет в питаннях енергетики (Франція, Польща, Нідерланди). Тому, незважаючи на суттєве практичне та теоретичне значення енергетичної безпеки, ЄС на даний час не має єдиного підходу у розумінні цього поняття.

Однак є ряд положень, щодо яких європейська спільнота солідарна у визначенні стратегічних напрямків забезпечення енергетичної безпеки ЄС:

- 1) диверсифікація видів енергоносіїв;
- 2) диверсифікація шляхів постачання енергоносіїв;
- 3) формування внутрішнього енергетичного ринку та ведення прозорої цінової політики;
- 4) інформаційне забезпечення в сфері енергетики та проведення науково-дослідних робіт;
- 5) удосконалення внутрішньої правової бази в сфері енергетичної безпеки;
- 6) розвиток договірної бази з країнами постачальниками та країнами транзитерами енергетичних ресурсів;
- 7) підвищення енергоефективності споживання енергії;

Диверсифікації енергоресурсів розглядається в ЄС та Україні як один із першочергових заходів енергетичної безпеки. Це стосується насамперед постачання нафти та газу, однак з урахуванням нещодавніх подій актуальним стає також питання про диверсифікацію енергії ядерного походження (атомна енергетика забезпечує третину виробництва електроенергії в ЄС).

Енергетичний ринок ЄС та України характеризується з одного боку низьким рівнем запасів нафти і газу, а з іншого - постійним зростанням обсягів споживання даних енергоресурсів. Сьогодні ЄС є найбільшим газовим та нафтовим імпортером на світовому енергетичному ринку, тому диверсифікація енергоресурсів є спільним завданням для всіх держав-членів.

Одним із важливих заходів внутрішньої диверсифікації енергоносіїв є активне використання в ЄС відновлюваних та альтернативних джерел енергії. У цьому зв'язку слід відзначити, що сьогодні ЄС є лідером в світовій відновлюваній енергетиці. На жаль незважаючи на значний потенціал України в цьому напрямку, дані види енергоресурсів не отримали достатнього рівня освоєння в нашій країні (на сьогодні відновлювана енергетика задовольняє лише 1–2% потреб України в енергоресурсах).

Диверсифікація шляхів постачання енергоносіїв є похідним заходом від вищерозглянутого, який передбачає забезпечення надійного імпорту енергоресурсів за доступними цінами та на довгостроковій основі за двома основними напрямками: 1) диверсифікація маршрутів поставок, розрахованих на одну ресурсну базу, 2) диверсифікація маршрутів, обумовлена диверсифікацією джерел. Гарантією цього є модернізація системи нафто- та газопроводів, енергетичних мереж, а також постійний аналіз роботи діючої інфраструктури.

Щодо формування внутрішнього енергетичного ринку та ведення прозорої цінової політики ринкові механізми є основним методом регулювання відносин між Україною та ЄС в енергетичній сфері. Спільний енергетичний ринок ЄС, утворення якого розпочалося в 1996 році (після прийняття перших Директив Європейського Парламенту та Ради в газовій сфері та в галузі енергетики) спрямований на формування єдиної політики ЄС та правових механізмів регулювання в енергетичній сфері. Головними ознаками внутрішнього енергетичного ринку ЄС є:

- конкуренція;
- вільний доступ до транспортування;
- гарантований вибір виробника електроенергії.

Саме такі умови формування внутрішнього ринку можуть забезпечити підвищення ефективності виробництва, передачу та розподіл електроенергії, надійність постачань та рівень екології.

Ситуація з формуванням цін на енергоносії ускладнюється через різні підходи до розуміння механізмів ціноутворення. Так, ЄС виступає за ринкові механізми регулювання ціни на енергоносії, де визначальними факторами є балансування попиту і пропозиції. Росія прагне встановити максимально високу ціну на свої енергетичні ресурси в поєднанні з довгостроковими договорами. Україна протягом тривалого часу намагалася забезпечити собі нижчу у порівнянні з європейською ціну, результатом чого стала непропорційно висока енергоємність національної економіки і залежність від імпорту енергоносіїв. Внаслідок цього непрозорість відносин у енергетичній сфері дає можливість для процвітання корупції, що створює додаткові перешкоди для ефективної енергетичної політики.

Таким чином, важлива роль спільного енергетичного ринку при забезпеченні енергетичної безпеки полягає не лише у формуванні більш конкурентних цін, але й в спроможності державних органів країн-членів гарантувати надійність постачань енергоносіїв.

Інформаційне забезпечення в сфері енергетики та ведення науково-дослідної роботи надає можливість об'єктивно оцінити ситуацію в енергетичній сфері, спрогнозувати її розвиток та забезпечити розробку і впровадження нових, інноваційних технологій. Сьогодні ЄС займає провідні позиції у світі щодо розвитку інновацій у сфері енергетики. ЄС всебічно підтримує встановлення нових систем інформування про стан справ в енергетичній сфері на загальноєвропейському рівні через технологічні центри інформування в он-лайн режимі та через компетентні органи держав-членів ЄС. Наприклад у підсумковому документі засідання Ради Європи в Брюсселі від 4 лютого 2011 року містяться пропозиції щодо побудови єдиного європейського дослідницького простору, який має забезпечити роботу єдиного ринку знань, дослідницької діяльності та інновацій. В даному документі наголошується на необхідності розширення наукових досліджень в галузі енергозбереження, а також з посилення захисту прав споживачів і більш прозорого формування рахунків.

Удосконалення внутрішньої правової бази в сфері енергетичної безпеки. Метою даного заходу є усунення колізій між правовими системами держав-членів ЄС, а також їх партнерів в сфері енергетики, які перешкоджають надійному забезпеченню енергоресурсами. Важливим при цьому є вироблення подібних або спільних правових механізмів, їх єдине тлумачення та застосування.

Україна розглядається найпершим кандидатом на адаптацію, або ж часткове наближення національного енергетичного законодавства до права ЄС. При цьому українське законодавство, яке має гарантувати енергетичну безпеку України, поєднало сьогодні демократичні формулювання законів із застарілими механізмами їх втілення, що залишилися від радянських часів. Недосконала нормативно-законодавча база створює додаткові труднощі у вирішенні проблем енергетичної безпеки, наслідками цього є:

- 1) відсутність системи контролю за стратегічними державними рішеннями;
- 2) корумпованість енергетичного сектору;
- 3) відсутність структурних реформ в енергетичному секторі;
- 4) відсутність контролю за природними монополіями і незалежного регулювання їхньої діяльності;
- 5) неефективність тарифів для підприємств і населення;
- 6) відсутність стимулювання щодо впровадження енергетичної ефективності та розвитку нетрадиційної і відновлюваної енергетики.

Розвиток договірної бази з країнами постачальниками та країнами транзитерами енергетичних ресурсі є важливим для досягнення рівноправності у відносинах сторін та забезпечення належного виконання ними своїх зобов'язань. Зважаючи на необхідність розвитку взаємовигідного

партнерства в енергетичній сфері з третіми країнами, Єврокомісія запропонувала Верховному представнику ЄС із питань зовнішньої політики та політики безпеки у своїй роботі брати до уваги питання енергетичної безпеки. Крім того лідери ЄС вважають, що питання безпеки енергопостачання мають знайти своє відображення і в Європейській політиці сусідства.

Разом з тим положення угод, що регулюють співробітництво між Україною та ЄС в енергетичній галузі, здебільшого, є *рекомендаційними*. Незважаючи на значний прогрес, енергетичні питання не стали предметом окремих домовленостей у двосторонніх відносинах Україна-ЄС. Найбільш нерегульованою залишається газова сфера. Вважається, що за умов проведення більш активної «енергетичної дипломатії» в цьому напрямку Україна могла б забезпечити реалізацію міжнародних енергетичних проєктів диверсифікації джерел зовнішнього постачання енергоносіїв, а також збільшити обсяги транзиту газу та нафти через нашу територію.

Підвищення енергоефективності споживання енергії. Сьогодні забезпечення енергетичної безпеки Європи можливе лише за умов посилення позиції енергоефективності та формування енергоощадливої свідомості суспільства. Внутрішня політика енергозбереження країн ЄС, враховуючи наявність значних факторів ризику на зовнішніх ринках, ґрунтується на максимально можливому збільшенні власного видобутку енергоносіїв, врахуванні диверсифікації внутрішніх джерел постачання, а також на більш ефективному енергозбереженні та створенні (збільшенні) їх резервних запасів.

З метою забезпечення енергетичної безпеки Україна та ЄС визнають необхідність розробки спільної програми дій щодо поглиблення співробітництва в галузі енергоефективності. Дана програма сприятиме впровадженню відновлювальних джерел енергії та проведенню заходів, спрямованих на вирішення проблеми глобальної зміни клімату, включаючи викиди в атмосферу електростанціями які працюють на органічному паливі, а також використання спільного механізму реалізації за Кіотським протоколом.

Зменшення споживання палива та енергії на основі енергозбереження може забезпечити значно більший ефект, аніж очистка чи зменшення питомих викидів, хоча ці заходи повинні впроваджуватись паралельно. За оцінками Ради національної безпеки і оборони на сьогодні рівень енергоефективності національної економіки залишається у 2-3 рази вищим за рівень держав - членів Європейського Союзу.

Незважаючи на наявність більш ніж 200 діючих актів законодавства у сфері енергоефективності, в Україні не існує чіткого механізму стимулювання енергоощадних заходів, немає правил і механізмів їх регуляції та впровадження. Енергетична стратегія України не задає жорсткого і чіткого курсу на забезпечення енергоефективності та переходу на альтернативні джерела енергії. Даним документом передбачається збільшення використання енергетичних ресурсів та отримання більших прибутків від фінансових потоків у енергетиці. Таким чином, надмірна енергоємність та незначні темпи її зниження не дозволяють підвищувати конкурентоспроможність економіки, знижувати енергетичну залежність країни.

Стан справ у сфері енергетичної безпеки в значній мірі впливає на характер взаємовідносини між Україною та ЄС в енергетичній галузі. Для дослідження стану цих відносин та їх специфіки вважається за доцільне також розглянути участь України в основних європейських ініціативах у сфері енергетики. У цьому контексті слід відмітити, що на сьогоднішній день енергетичне співробітництво між Україною та Європейським Союзом здійснюється в рамках:

- *Угоди про партнерство та співробітництво від 16.06.1994 р.*, яка започаткувала співпрацю в сфері енергетики;

- *Європейської енергетичної хартії, від 17.12.1991 р.*, і ратифікованої Україною 06.02.1998 р. Однак проект Протоколу про транзит досі не узгоджено та до його прийняття немає реального зобов'язального механізму гармонізації інтересів між постачальниками, транзитерами та споживачами енергоносіїв.

- *Плану дій Україна-ЄС, від 12.02.2005р.*, який відображає наміри обох сторін щодо посилення енергетичного співробітництва Україна – ЄС в контексті європейської політики сусідства;

- *Меморандуму про взаєморозуміння щодо співробітництва у сфері енергетики між Україною та ЄС, від 01.12.2005 р.*, який став основним двостороннім документом щодо співробітництва в енергетичній галузі. Меморандум передбачає здійснення реформ і спільних заходів для гармонізації енергетичної системи України до системи ЄС, але не зобов'язує до цього;

- *Спільна Заява за результатами Спільної міжнародної конференції ЄС–Україна щодо модернізації газотранспортної системи України, від 23.03.2009 р.*, яка досі не реалізується через відсутність державних гарантій від України для отримання позики на модернізацію газотранспортної системи України, відсутність нагальної потреби в її модернізації та впевненості у збільшенні обсягу транспортування газу після її завершення;

- *Договір про Енергетичне співтовариство від 25.11.2005 р.*, до якого Україну прийнято на засіданні Ради Міністрів Енергетичного співтовариства 18.12.2009 р. Протокол від 24.09.2010 року про приєднання до Енергетичного співтовариства Україна ратифікувала 15.12.2010 р. Дана ініціатива передбачає, що впровадження норм європейського енергетичного законодавства сприятиме розширенню доступу українських експортерів до енергетичних ринків держав-членів ЄС, надасть можливість прямого виходу на кінцевих споживачів, дозволить уникнути посередницьких послуг, сприятиме подальшому розвитку та інтеграції українських енергетичних мереж до європейської системи;

- *Східноєвропейське партнерство щодо енергоефективності та довкілля*, до якого Україна приєдналася 26.11.2009 р. Вказана ініціатива передбачає створення Фонду Східноєвропейського партнерства у розмірі 100 млн. євро у рамках Європейського банку реконструкції та розвитку. Угоду про внесок між Україною та Європейським банком реконструкції та розвитку стосовно участі України у Фонді Східноєвропейського партнерства з енергоефективності та довкілля підписано 24.02.2011 р.

Участь України у згаданих європейських ініціативах щодо зміцнення енергетичного співробітництва свідчить про зацікавленість ЄС в Україні як надійному партнері.

Енергетичною стратегією України на період до 2030 року (145а-2006-р) визначено основні завдання та напрями, реалізація яких дасть змогу створити умови для постійного та якісного задоволення попиту на енергетичні ресурси, безпечного, надійного та сталого функціонування енергетики та її максимально ефективного розвитку, забезпечить енергетичну безпеку держави. Одним із таких напрямів є формування цілісної та дієвої системи управління і регулювання в паливно-енергетичному комплексі, розвиток конкурентних відносин на ринках енергоносіїв. Пріоритетними завданнями державної політики розвитку паливно-енергетичного комплексу є розвиток ринкових засад його функціонування та впровадження ефективних механізмів антимонопольного регулювання.

Необхідною умовою для збалансованого розвитку паливно-енергетичного комплексу є поєднання реального дієвого конкурентного середовища в енергетичній сфері із проведенням державної цінової політики, спрямованої на формування конкуренції взаємозамінних видів паливно-енергетичних ресурсів.

Проте на даний час в Україні не вдається налагодити ефективне функціонування ринкових механізмів у паливно-енергетичному комплексі. Впровадження нової моделі конкурентного ринку електричної енергії в країні здійснюється повільніше, ніж було передбачено Концепцією функціонування та розвитку оптового ринку електричної енергії України, схваленою постановою Кабінету Міністрів України від 16 листопада 2002 року № 1789 (1789-2002-п), оскільки основні зусилля органів виконавчої влади та суб'єктів ринку протягом 2003-2006 років були спрямовані на створення визначених Концепцією (1789-2002-п) передумов для переходу до ринку двосторонніх договорів купівлі-продажу електричної енергії - забезпечення розрахунків за спожиту електричну енергію у повному обсязі, часткове розв'язання проблеми заборгованості, впровадження необхідних інформаційних систем та систем обліку тощо. У рамках існуючої моделі ринку електричної енергії не вдалося повною мірою забезпечити дієву конкуренцію серед виробників і постачальників електроенергії та утворення цін на електроенергію, яке б стимулювало енергетичні компанії до підвищення ефективності роботи та збільшення інвестицій в енергетичну галузь.

Необґрунтоване стримування на низькому рівні тарифів для окремих груп споживачів, у тому числі населення, призвело до збільшення перехресного субсидіювання одних споживачів та регіонів іншими споживачами і регіонами. Зокрема, частка дотаційних сертифікатів у оптовій ціні продажу електроенергії на сьогодні становить більше 25 відсотків і продовжує зростати, що стає перешкодою впровадженню економічних інструментів регулювання енергетичного ринку.

Подальші структурні реформи на ринках енергоресурсів повинні базуватись на узгодженні процесів лібералізації окремих ринків, усуненні

перехресного субсидіювання, впровадженні єдиних принципів, правил і механізмів торгівлі на ринках природних монополій (електроенергії та газу) і потенційно конкурентних ринках (нафтопродуктів, вугілля та ядерного палива).

Необхідно запровадити прозору співпрацю з інвесторами, що сприятиме поліпшенню загального інвестиційного клімату в державі, зміцненню її енергетичної безпеки, впровадженню новітніх екологічно чистих технологій, оновленню матеріально-технічної бази підприємств паливно-енергетичного комплексу, а також утвердженню іміджу України як надійного та передбачуваного ділового партнера.

Умови Кіотського протоколу. Концепція ООН про зміну клімату. Квоти та зобов'язання регіонів і країн щодо рівнів викидів. Основні принципи, що закладені в основу Енергетичної хартії.

Україна входить до переліку країн, що підписали та ратифікували Рамкову конвенцію ООН про зміну клімату та Кіотський протокол до неї та взяли на себе зобов'язання не тільки захищати кліматичну систему на благо сучасного і майбутнього поколінь людства, але й виконувати свої індивідуальні зобов'язання як Сторони Конвенції та Протоколу. Зокрема, Україна зобов'язалася проводити політику та заходи, спрямовані на боротьбу зі зміною клімату, враховуючи реальні соціально-економічні умови країни, охоплювати всі джерела і поглиначі парникових газів, а також відповідні сектори економіки.

Кіотський протокол — міжнародна угода про обмеження викидів в атмосферу парникових газів. Головна мета угоди: стабілізувати рівень концентрації парникових газів в атмосфері на рівні, який не допускав би небезпечного антропогенного впливу на кліматичну систему планети.

Протокол зобов'язує розвинуті країни та країни з перехідною економікою скоротити або стабілізувати викиди парникових газів у 2008-2012 роках до рівня 1990 року.

Кіотський протокол — додатковий документ до ***Рамкової конвенції ООН зі змін клімату***, підписаної 1992 року на міжнародній конференції в Ріо-де-Жанейро. Конвенція набрала силу у 1994 році. Сам протокол прийнято в Кіото 11 грудня 1997 року. Період підписання протоколу відкрився 16 березня 1998 року і завершився 15 березня 1999 року. Кіотський протокол почав діяти з 16 лютого 2005 року.

На сьогоднішній день підписала та ратифікувала протокол 191 країна, в тому числі більшість промислово розвинутих країн, крім США, які підписали, але не ратифікували угоду.

Ним було узгоджено, що країни-учасниці зобов'язані зменшити середньорічні обсяги викидів парникових газів в період 2008—2012 рр. в середньому на 5,2 % (у порівнянні з 1990 р.). Окреме зобов'язання щодо їх зниження взяли Японія — на 6 %, США — на 7 % та ЄС — на 8 %. В межах ЄС на окремі країни були накладені різні обмеження. Зокрема, в червні 1998 року Міністри навколишнього середовища країн ЄС своєю постановою зобов'язали Австрію зменшити їх викиди на 13 % (для порівняння: північні країни ЄС зобов'язались досягти максимального їх пониження, на 28 %).

Для вступу в дію протоколу, цей документ зобов'язані були ратифікувати країни, які відповідають за якнайменш 55 % викидів парникових газів. Після ратифікації протоколу Росією в кінці 2004 року (17,4 % світових викидів парникових газів), зазначений документ набув чинності 16 лютого 2005 року. Частка викидів парникових газів країн, які приєдналися до протоколу, складає в цей час 62 %. Проте, країни, що ратифікували протокол, не мають особливих стимулів його виконувати, допоки США (25 % світових викидів CO₂) не ратифікували зазначений документ. Україна ратифікувала Кіотський протокол 4 лютого 2004 (повідомлення про ратифікацію подане 12 квітня 2004 Status of ratification).

Зменшення викидів кожна країна може здійснювати за допомогою збільшення ефективності виробництва, зменшення обсягів виробництва, раціональнішого використання енергоресурсів, а також виконання проектів, які призводять до зменшення викидів парникових газів у інших країнах. Кіотським протоколом передбачаються гнучкі механізми щодо зменшення викидів парникових газів шляхом закупівлі відповідних сертифікатів за кордоном:

1. Механізм чистого розвитку (англ. *Clean Development Mechanism, CDM*) - передбачає співпрацю між країною, яка розвивається, та індустріалізованою країною;
2. Торгівля викидами (англ. *International Emission Trading, IET*) - передбачає прямий продаж викидів від однієї індустріалізованої країни до іншої;
3. Спільне впровадження (англ. *Joint Implementation, JI*) - передбачає співпрацю між двома індустріалізованими країнами.

Для врегулювання викидів парникових газів, країни ЄС роблять ставку на внутрішню торгівлю сертифікатами викидів, які, "де факто", репрезентують право на забруднення навколишнього середовища парниковими газами. Починаючи з 2005, кожне європейське промислове підприємство, яке відповідає вимогам Схеми Торгівлі Викидами EU ETS отримує певну кількість таких сертифікатів. Якщо деякі підприємства в стані зменшувати шкідливі викиди, наприклад, шляхом технологічних новацій, то вони зможуть продавати залишкові сертифікати іншим фірмам, які перевищують норми наданого їм ліміту. Аналогічно, невикористані внаслідок зниження виробництва сертифікати, можуть бути продані. Таким чином, ініціюється національний, а згодом, і європейський ринок сертифікатів, який з точки зору економічної теорії є одним із найкращих методів регулювання ринку.

Незалежно від Кіотського протоколу існує також європейське законодавство в галузі захисту якості повітря, зміни клімату та озонового шару. Відповідно до постанови Європейської Комісії (№ 2037/2000) щодо захисту навколишнього середовища і, зокрема, озонового шару країни-члени ЄС повинні інформувати про вжиті заходи стосовно повторного використання ("Recycling"), оновлення та знищення шкідливих речовин, типу фторхлорвуглеводневих (ФХВВ) та інших газів з подібним негативним впливом на озон. На сьогоднішній день, як і було погоджено Монреальським протоколом 1987 року, замість ФХВВ використовуються фторовуглеводневі

гази (ФВВ), які не впливають на озон в атмосфері. Але за рахунок цього вирішується тільки питання озонових дір, а проблема парникового ефекту залишається.

Енергетична хартія є наслідком політичної ініціативи початку 1990-х років в Європі, коли, в результаті глобалізації, стало зрозуміло, що багатобічні правила можуть забезпечити збалансованіші і ефективніші рамки для міжнародної співпраці, ніж ті, які передбачені лише в двосторонніх угодах або документах, що не мають законодавчої сили. Тому Договір до Енергетичної Хартії грає важливу роль в контексті зусиль зі створення правового поля для глобальної енергетичної безпеки, на основі відкритих, конкурентних ринків і принципів стійкого розвитку. Договір до Енергетичної Хартії і Протокол до Енергетичної Хартії з питань Енергетичної Ефективності та Відповідним Екологічним Аспектам були підписані в грудні 1994 року і набрали чинності в квітні 1998 року. Договір розроблено на основі Європейської Енергетичної Хартії 1991 року. В той час як останній із названих документів був розроблений як декларація політичних намірів щодо стимулювання співробітництва між Сходом і Заходом в галузі енергетики, Договір до Енергетичної Хартії є юридично зобов'язуючим багатостороннім документом, єдиним у своєму роді, конкретно присвяченим міжурядовому співробітництву в енергетичному секторі.

Україна підписала і ратифікувала Договір та Протокол 6 лютого 1998 року.

Для України ці документи вступили в силу 27 січня 1999 року, це дозволяє їй не тільки мати доступ до відкритих енергоринків країн Європи, а і залучитися до політичного діалогу з сучасних та перспективних енергетичних питань.

Завданнями процесу Енергетичної Хартії є:

- намагання до відкритих, ефективних і надійних енергетичних ринків;
- сприяння забезпеченню клімату, який сприяє взаємозалежності в галузі енергетики, та базується на основі довіри між країнами.

Ці завдання будуть виконуватись за допомогою:

- розширення і зміцнення "верховенства права" для сприяння розвитку ринку в енергетичному секторі;
- встановлення правил поведінки, принципів і рекомендацій стосовно відкритих та ефективних енергетичних ринків;
- розробка чітких загальноприйнятих правил по транзиту енергоносіїв; допомога країнам щодо розробки національної політики в галузі енергетичної ефективності;
- розширення географічного охоплення процесу Енергетичної Хартії;
- розвиток ролі Конференції з Енергетичної Хартії як найважливішого міжурядового форуму для політичних дискусій між Сходом і Заходом.

Головним завданням Енергетичної Хартії є прагнення до відкритих, ефективних, стійких та надійних енергоринків на підставі довіри та відкритості.

Заходи енергозбереження, енергетичної політики, енергетичного законодавства в Україні та світі. Екологічна політика України.

Енергоефективність. Енергетична ефективність є одним із головних елементів енергетичної політики будь-якої держави. Особливо значною ця проблема є для України де рівень енергоемності ВВП, як один із показників ефективності, значно перевищує показники не тільки провідних країн ЄС, а й майже усіх країн СНД. Таке становище в значній мірі гальмує, як сам процес ринкових перетворень в економіці держави, так і є значною перешкодою щодо досягнення економічного рівня європейських країн.

Саме високий рівень енергоемності ВВП України визначає такі несприятливі моменти розвитку, як: значні потреби в ПЕР, високу собівартість виробництва, значні рівні забруднення навколишнього природного середовища та багато інших.

Проблеми енергоефективності не є виключно українськими, а характерні для багатьох країн СНГ та європейських країн претендентів на вступ до ЄС.

У квітні 1998 року в рамках ДЕХ був розроблений та вступив в силу Протокол щодо питань енергетичної ефективності та відповідних екологічних аспектів (ПЕЕВЕА). В рамках цього протоколу (підписаний Україною) перед урядом ставляться такі завдання, як:

- - визначення політики в області енергетичної ефективності та формулювання програмних цілей та стратегії у відповідності до власних умов;
- - встановлення правових та нормативних рамок, які необхідні для сприяння енергетичної ефективності;
- - розробка, виконання та оновлення визначених програм;
- - забезпечення належних інституційних та правових інфраструктур та актів;
- - співробітництво та сприяння прогресу на міжнародному рівні.

Слід зазначити, що Україна в цілому досягла певного прогресу в питаннях енергоефективності, а саме: сформовані основні принципи державної політики у сфері енергозбереження (на підставі Національної Енергетичної програми розроблена та прийнята Комплексна державна програма енергозбереження (схвалена постановою КМ України від 05.02.1997 року)); прийнято Закон “Про енергозбереження” ряд інших нормативно-правових актів, які сприяють підвищенню енергоефективності; розроблені та затверджені цільові програми підвищення ефективності використання енергоресурсів (однією з них є Програма заходів щодо скорочення споживання природного газу, прийнята постановою КМ України від 15.07.1997 року); створені певні структурні підрозділи та установи, які відповідальні за виконання державних програм (це в першу чергу Державний комітет України з енергозбереження, який потім було реорганізовано в Національне агентство з енергоефективності та енергозбереження України, НАЕР).

Оскільки використання енергії відновлюваних джерел є одним із ефективних заходів заощадження традиційних енергоносіїв, свого часу важливим державним заходом для розвитку відновлюваної енергетики в Україні було створення Програми державної підтримки розвитку нетрадиційних та відновлюваних джерел енергії та малої гідро- і

теплоенергетики (далі - Програма НВДЕ), розробленої в 1997 р. як складової частини Національної енергетичної програми України і схваленої Постановою Кабінету Міністрів України № 1505 від 31.12.1997р.

Україна приймає активну участь у міжнародному співробітництві (найбільш важливими можна вважати підписання Кіотських домовленостей).

Незважаючи на це, реального прогресу в частині енергоефективності не досягнуто. Рівень енергоємності ВВП тільки в останні роки трохи зменшився, але відставання від середньоєвропейського рівня зостається ще досить значним. Однією із причин цього слід вважати структуру промисловості в Україні, де значне місце займають технічно застарілі енергоємні виробництва. Перебудова таких виробництв до сучасного європейського рівня потребує значних капіталовкладень та часу.

Серед важливих заходів, які б могли корінним чином змінити ситуацію з енергозбереження, пропонується введення показників енергоефективності для споживачів усіх форм власності, та системи заохочення, чи навпаки - покарання.

Впровадження **заходів енергозбереження в Україні** за рахунок підвищення рівня енергоефективності та обсягів освоєння енергії відновлюваних джерел повинно здійснюватись шляхом застосування основних факторів енергозбереження: **технологічного, структурного, економічного, правового та організаційного.**

Державна політика інформатизації у сфері ПЕК щодо енергозбереження в Автономній Республіці Крим повинна формуватися як складова частина соціально-економічної політики автономії і спрямовуватися на раціональне використання технологічного та інформаційного потенціалу, на створення сучасної інформаційної інфраструктури в інтересах розв'язання комплексу поточних та перспективних завдань розвитку ПЕК, енергозбереження, автоматизації процесів обґрунтування прийняття рішень при управлінні функціонуванням та розвитком енергетичних систем, модернізації паливно-енергетичних об'єктів, впровадження заходів з енергозбереження та в галузі відновлюваної енергетики при безумовному додержанні вимог щодо реалізації природоохоронних заходів.

Основними принципами державної політики у сфері енергозбереження та розвитку відновлюваної енергетики є:

- створення економічних і правових умов зацікавленості в енергозбереженні юридичних та фізичних осіб;
- широке впровадження енергозберігаючих технологій;
- поєднання методів економічного стимулювання та фінансової відповідальності з метою раціонального та економічного використання паливно-енергетичних ресурсів;
- стимулювання раціонального використання паливно-енергетичних ресурсів шляхом комбінованого виробництва електричної та теплової енергії (когенерації).

Екологічна політика України.

Нинішню екологічну ситуацію в Україні можна охарактеризувати як кризову, що формувалася протягом тривалого періоду.

Економіці України притаманна висока питома вага ресурсомістких та енергоємних технологій. Низький рівень екологічної свідомості суспільства призвели до значної деградації довкілля України, надмірного забруднення поверхневих і підземних вод, повітря і земель, зменшення народжуваності та збільшення смертності, а це загрожує вимиранням і біологічно-генетичною деградацією народу України.

Промисловість. Головними причинами, що призвели до загрожуючого стану довкілля є:

- застаріла технологія виробництва та обладнання;
- високий рівень концентрації промислових об'єктів;
- несприятлива структура промислового виробництва з високою концентрацією екологічно небезпечних виробництв;
- відсутність належних природоохоронних систем;
- відсутність належного правового та економічного механізмів;
- відсутність належного контролю за охороною довкілля.

Енергетика і підприємства ядерної галузі. Серед промислових об'єктів одним з основних забруднювачів атмосферного повітря є підприємства теплоенергетики.

У галузі екології в тепловій енергетиці домінують дві найважливіші проблеми: забруднення атмосфери повітря і забруднення земель. Ядерна енергія в Україні використовується в усіх галузях народного господарства. Головними місцями накопичення радіоактивних відходів є атомні станції - Чорнобильська АЕС. У шести областях України розташовані регіональні підприємства УкрДО "Радон" з переробки та зберігання радіоактивних відходів. Україна належить до країн з дуже розвинутим використанням джерел іонізуючого випромінювання.

Сільське господарство. Сільське господарство України - найбільш трудомістка галузь, що має могутній природно-ресурсний потенціал. У сільськогосподарському виробництві щороку використовуються понад 10,9 млрд. куб.м води. Якщо Україна в Європі займає 5,7% території, то її сільськогосподарські угіддя - 18,9%, а рілля - 26,9 %.

Основними причинами низької віддачі земельного потенціалу в Україні є безгосподарське ставлення до землі, недосконалі техніка і технологія обробітку землі, повсюдне недотримання сівозмін і ін. Якісний стан земельного фонду погіршується. Використання у великій кількості мінеральних добрив, пестицидів ускладнює екологічну ситуацію в Україні.

Транспорт. Значним забруднювачем довкілля є транспортна галузь, значної шкоди довкіллю завдають відпрацьовані гази автомобілів, паливно-мастильні матеріали, пари шкідливих речовин.

Через великі обсяги використання пального автотранспорт забруднює навколишнє середовище токсичними компонентами: 25% - солями свинцю; 50% - оксидом вуглецю. Основні забруднювачі залізничного транспорту - це

відпрацьовані гази тепловозів, фенол, аерозолі, сміття. Морський транспорт забруднює море відходами харчування, сміттям, нафтою.

Житлово-комунальне господарство. В Україні інтенсивно відбуваються процеси урбанізації. Їх негативними наслідками є:

1) концентрація і навантаження промислових об'єктів на обмеженій території;

2) несприятлива територіально-планувальна структура міст;

3) другорядність проблем містобудування;

4) руйнування природного середовища великих міст.

Система водопровідно-каналізаційного господарства нині перебуває в кризовому екологічному стані з таких причин:

- водопровідні мережі не мають внутрішнього антикорозійного покриття;

- понад 17% води не відповідають вимогам стандарту;

- не мають централізованих систем каналізації;

- промислові підприємства скидають у водойми шкідливі речовини.

Промислові відходи. Багаторічна енергетично-сировинна спеціалізація поклала Україну в число країн з найбільшими високими абсолютними обсягами утворення відходів.

Недостатні норми адміністративної та кримінальної відповідальності за порушення правил збирання, зберігання, транспортування промислових відходів.

Існуючи рівень утилізації відходів вторинних ресурсів не впливає на поліпшення стану довкілля.

Військова діяльність та конверсія військово-промислового комплексу. Геополітичне розташування України на Європейському континенті історично зумовило роль і місце її території, а також військово-економічного потенціалу в проектах і програмах реалізації військових доктрин.

Щоденна військова діяльність негативно впливає на довкілля. Екологічний стан може погіршитися у ході проведення широкомасштабної військової реформи, ліквідації ракетно-ядерної зброї та хімічної зброї.

Водні ресурси та екосистеми. Основні джерела прісної води на території України - стоки річок Дніпра, Дністра, Пд. Бугу, Сіверського Дінця, Дунаю. З метою забезпечення населення та народного господарства необхідною кількістю води в Україні збудовано 1087 водосховищ. Для екосистем водних об'єктів України властиві елементи екологічного та метаболічного регресу.

До основних забруднюючих речовин належать нафтопродукти, феноли, важкі метали.

Основними причинами забруднення вод України є:

- скид неочищених та не досить очищених комунально-побутових і промислових стічних вод у водні об'єкти;

- надходження до водних об'єктів забруднюючих речовин;

- ерозія ґрунтів на водозабірній площі.

Значної шкоди екосистемі Дніпра поряд з щорічним забрудненням басейну органічними речовинами, завдає забруднення біогенними речовинами.

Екологічне оздоровлення басейну Дніпра є одним з найважливіших пріоритетів державної політики у галузі охорони та відтворення водних ресурсів.

Земельні ресурси. Сучасне використання земельних ресурсів України не відповідає вимогам раціонального природокористування. Порушено екологічно допустимі співвідношення площ ріллі, природних кормових угідь, що негативно впливає на стійкість агроландшафту.

Значної екологічної шкоди земельні ресурси зазнають через забруднення ґрунтів викидами промисловості та використання засобів хімізації. Ситуація з забрудненням території ускладнилася після аварії на Чорнобильській АЕС.

Корисні копалини . Мінерально-сировинна база є основою виробництва понад 90% продукції важкої промисловості. На частку мінерально-сировинного комплексу припадає третина виробничих фондів.

Нерозв'язаною є проблема геологічного вивчення і використання техногенних родовищ корисних копалин.

Охорона природи на державному та міждержавному рівнях. До головних складових механізму реалізації державної екологічної політики належать:

- державна інституційна інфраструктура проведення природоохоронної політики;
- законодавчо-правовий механізм регулювання виробничої діяльності юридичних і фізичних осіб щодо охорони;
- економічний механізм природокористування та природоохоронної діяльності.

Забруднення ґрунту, повітря, води, які утворюють біосферу нашої планети всього за декілька десятиріч досягнуло таких масштабів, що нерідко можна зустріти доволі песимістичні прогнози стосовно майбутнього людства у зв'язку з деградацією навколишнього середовища. Ще в 1969 р. в доповіді Генерального секретаря ООН Економічній та соціальній раді було відзначено, що "в історії людства виникає криза всесвітнього масштабу, яка загрожує в однаковій мірі як розвинутим, так і нерозвинутим країнами, - криза середовища, яке оточує людину". Стає очевидним, що при розвитку існуючих тенденцій життя надалі буде поставлене під загрозу.

Законом України № 2818-VI від 21 грудня 2010 року прийнято основні засади національної **державної екологічної політики України на період до 2020 року**, метою якої є стабілізація і поліпшення стану навколишнього природного середовища України шляхом інтеграції екологічної політики до соціально-економічного розвитку України для гарантування екологічно безпечного природного середовища для життя і здоров'я населення, впровадження екологічно збалансованої системи природокористування та збереження природних екосистем.

Основними принципами національної екологічної політики є:

- посилення ролі екологічного управління в системі державного управління України з метою досягнення рівності трьох складових розвитку (економічної, екологічної, соціальної), яка зумовлює орієнтування на пріоритети сталого розвитку;

- врахування екологічних наслідків під час прийняття управлінських рішень, при розробленні документів, які містять політичні та/або програмні засади державного, галузевого (секторального), регіонального та місцевого розвитку;

- міжсекторальне партнерство та залучення зацікавлених сторін;

- запобігання надзвичайним ситуаціям природного і техногенного характеру, що передбачає аналіз і прогнозування екологічних ризиків, які ґрунтуються на результатах стратегічної екологічної оцінки, державної екологічної експертизи, а також державного моніторингу навколишнього природного середовища;

- забезпечення екологічної безпеки і підтримання екологічної рівноваги на території України, подолання наслідків Чорнобильської катастрофи;

- відповідальність нинішнього покоління за збереження довкілля на благо прийдешніх поколінь;

- участь громадськості та суб'єктів господарювання у формуванні та реалізації екологічної політики, а також урахування їхніх пропозицій при вдосконаленні природоохоронного законодавства;

- невідворотність відповідальності за порушення законодавства про охорону навколишнього природного середовища;

- пріоритетність вимоги "забруднювач навколишнього природного середовища та користувач природних ресурсів платять повну ціну";

- відповідальність органів виконавчої влади за доступність, своєчасність і достовірність екологічної інформації;

- доступність, достовірність та своєчасність отримання екологічної інформації;

- державна підтримка та стимулювання вітчизняних суб'єктів господарювання, які здійснюють модернізацію виробництва, спрямовану на зменшення негативного впливу на навколишнє природне середовище.

Роль виховання і освіти у забезпеченні раціонального використання енергії та вирішенні екологічних проблем. Енергозбереження та раціональне і економічне використання енергії як екологічний фактор.

Виховання і освіта у забезпеченні раціонального використання енергії та вирішенні екологічних проблем має надзвичайно велике значення. Основними сучасними тенденціями у розвитку людства є: створення загального глобального інформаційного простору; інтерес громадян різних країн до прогнозування спільного майбутнього для жителів Землі (концепція стійкого розвитку); формування нової спільної цінності людства – збереження екологічної якості середовища життя. Тому екологічне виховання та освіта в даній галузі є одним із пріоритетних напрямків, особливо це стосується підростаючого покоління. Екологічна освіта і виховання справедливо вважаються одними з найпотужніших важелів повороту людства від руйнівного споживацького способу життєдіяльності до конструктивного, бережливо-відновлювального. Їх інтенсивний розвиток стає найактуальнішою проблемою всіх цивілізованих країн і розглядається як один із засобів подолання глобальної екологічної кризи, оптимізації взаємодії людини і природи за

рахунок підвищення екологічної культури населення. Сьогодні у всіх розвинених країнах світу екологічна культура стає невід'ємною частиною функціональної грамотності населення.

Державна політика в галузі освіти визначається Верховною Радою України відповідно до Конституції України, Законів України «Про освіту», «Про загальну середню освіту», «Про дошкільну освіту», «Про позашкільну освіту», «Про професійно-технічну освіту», «Про вищу освіту» та інших законодавчих і нормативно-правових документів, і здійснюється органами державної виконавчої влади та органами місцевого самоврядування.

Указом Президента України «Про Національну програму “Діти України”», постановою Верховної Ради України від 5 березня 1998 р. №188/98-ВР, в якій затверджено, що створення системи екологічної освіти й виховання є одним із пріоритетів державної політики України в галузі охорони довкілля, використання природних ресурсів та забезпечення екологічної безпеки.

Вивчення екологічних питань та екологічне виховання у початковій школі здійснюються як у рамках інваріативної частини програм для початкової школи на уроках природознавства (предмет «Я і Україна») і на уроках з основ здоров'я, так і в рамках варіативної частини програм на уроках регіонаознавства.

Підготовка наукових кадрів здійснюється через аспірантуру Українського науково-дослідного гідрометеорологічного інституту НАН України.

У 1998 році Україна ратифікувала Конвенцію про доступ до інформації, участь громадськості в прийнятті рішень і доступ до правосуддя з питань, що стосуються навколишнього середовища, і сьогодні вже створена відповідна законодавча база щодо виконання вимог даної Конвенції. Мінприроди України постійно вдосконалює механізм взаємодії з громадськістю у процесі прийняття екологічно важливих рішень. Так у 2003 році в рамках реалізації українсько-датського проекту «Допомога Україні в провадженні Орхуської конвенції» було відкрито Орхуський інформаційний центр.

В Україні з 2001 року діє асоціація з 18 легалізованих екологічних громадських організацій з різних регіонів України, які спрямовують свої дії на вирішення проблем з глобальної зміни клімату – Робоча група неурядових екологічних організацій з питань зміни клімату. Серед основних видів її діяльності є: підготовка пропозицій по формуванню державної кліматоохоронної політики в Україні; моніторинг діяльності органів державної влади з питань, що стосуються зміни клімату; підготовка аналітичних звітів стосовно ведення міжнародних переговорів ООН зі зміни клімату; проведення кампаній по інформуванні громадськості про проблеми зміни клімату.

Розвиток освіти з енергозбереження. Освітня система – найважливіший канал інформації для зміни громадської поведінки щодо енергозбереження. Необхідність навчання з енергозбереження викликана сучасним економічним станом країни, глибоким проникненням енергетики в усі галузі виробництва і побут, збільшенням забруднення навколишнього середовища. Потрібно не лише впровадження нового змісту навчання, а і формування іншого світогляду людини, загальнолюдських цінностей та активної життєвої позиції.

Основними стратегічними завданнями освіти з питань енергозбереження, визначеними у Законі України «Про енергозбереження» є наступні:

- розбудова системи освіти з питань енергозбереження і виведення її на рівень концептуальних, структурних та організаційних засад освіти розвинених країн;

- набуття всіма громадянами України необхідного рівня побутових знань з енергозбереження;

- усвідомлення необхідності та набуття необхідних знань та вмінь з раціонального використання природних ресурсів;

- підготовка висококваліфікованих фахівців у галузі енергозбереження різних галузей регіональної економіки.

Виставкова, видавнича та інформаційна діяльність у сфері енергозбереження. Розв'язання проблем енергозбереження вимагає проведення комплексу робіт з інформатизації паливно-енергетичних галузей та енергозбереження України.

Першочерговими заходами щодо розвитку інформатизації є:

- 1) створення центрів інформаційно-аналітичного забезпечення паливно-енергетичних галузей;

- 2) розробка системи інформаційно-аналітичного забезпечення ПЕК;

- 3) створення демонстраційно-учбових центрів.

Інформаційно-рекламна та просвітницька діяльність. Для надання споживачам енергоресурсів різноманітних інформаційно-рекламних послуг, починаючи з проведення комплексного інформаційного обслуговування підприємств, проведення різноманітних виставок, конференцій, семінарів, і завершуючи виданням та розповсюдженням різноманітної поліграфічної продукції та створенням відповідних громадських організацій, в Україні необхідно проведення заходів щодо пропаганди енергозбереження.

Усі заходи повинні бути підтримані рекламною компанією у засобах масової інформації (ЗМІ). 60-секундні ролики на телебаченні (ТБ) повинні висвітлювати, як енергія підтримує наше щоденне життя, у приблизних статистичних даних указати на середню денну вартість забезпечення енергією промисловості, транспорту, оздоровчих установ та будинків. Відеоролики на ТБ повинні виявити марнотратні звички невідповідальних користувачів гарячої води. Аудіоролики повинні носити схожий зміст; їх необхідно ретранслювати національною мережею радіо.

Нагороди за енергоефективність. Відзначення досягнень нагородами є випробуванним та відомим способом визнання, зокрема:

- розробка регіональним центром з енергозбереження спеціальних умов та різних категорій конкурсів з енергозбереження та використання ВДЕ;

- проведення відбору лауреатів та презентація призів переможцям;

- висвітлення результатів конкурсів у засобах масової інформації.

Лекція 27

Національні пріоритети і необхідність врахування вимог міжнародних договорів і зобов'язань. Уніфікація законодавства різних країн. Концепція розвитку нетрадиційної та відновлюваної енергетики України. Законодавчо-правова та нормативна база нетрадиційної та відновлюваної енергетики України

Національні пріоритети і необхідність врахування вимог міжнародних договорів і зобов'язань. Уніфікація законодавства різних країн.

Важливість вирішення проблемних питань розвитку відновлюваної енергетики в Україні обумовлена дефіцитністю і обмеженістю запасів енергоресурсів і погіршенням стану навколишнього середовища. Широкомасштабне освоєння енергії відновлюваних джерел дозволить створити нову екологічно безпечну галузь енергетики, що сприятиме підвищенню рівня диверсифікації енергоресурсів та зміцненню енергетичної і екологічної безпеки держави.

Основними чинниками, що визначають необхідність розвитку відновлюваної енергетики в Україні, є:

- зростання дефіцитності традиційних енергоресурсів, підвищення їх вартості на світовому ринку та проблеми із зовнішнім постачанням;
- негативний стан і тенденції у паливно-енергетичному комплексі, зокрема недостатня ефективність використання традиційних паливно-енергетичних ресурсів;
- екологічні проблеми, зокрема необхідність виконання міжнародних зобов'язань щодо дотримання норм Кіотського протоколу;
- виконання вимог Європейського Союзу, згідно яких частка енергії відновлюваних джерел у національному енерговиробництві країн, що прагнуть до вступу у співдружність, повинна складати не менше 6%, або, з урахуванням великої гідроенергетики, – не менше 12%.

Активні науково-технічні розробки в галузі освоєння відновлюваних джерел енергії почалися порівняно недавно, декілька десятків років тому – розробка планів розвитку відновлюваної енергетики припадає на 1973-1975 роки. Значних успіхів у цьому досягли ті країни, де ці роботи одержали державну, економічну і законодавчу підтримку.

Після реорганізації колишньої радянської централізованої економіки серед країн СНД найбільш підготовленою до широкомасштабного освоєння енергії відновлюваних джерел виявилась Україна, в якій ініціативу щодо розвитку відновлюваної енергетики взяли на себе наукові, науково-технічні, громадські організації та приватні фірми.

Україна, незважаючи на низькі обсяги використання ВДЕ (близько 1% у загальному енергозабезпеченні України), на даний час за рівнем їх освоєння вийшла на перше місце серед країн СНД і, при послідовній державній підтримці, є всі підстави для оптимістичних прогнозів її подальшого розвитку.

Подальший розвиток відновлюваної енергетики потребує створення ефективної законодавчо-правової бази, уніфікованої до законодавства різних країн, із врахуванням вимог міжнародних договорів і зобов'язань.

В міжнародному приватному праві суттєве значення має узгодження норм, що містяться в нормативних актах різних держав, з метою досягнення одноманітності в правовому регулюванні відносин з іноземним елементом. Розрізняють такі підходи до узгодження:

1) зближення законодавства, тобто визначення загальних програм, напрямів, етапів та способів зближення законодавства в певній сфері;

2) гармонізація законодавства, що полягає в запровадженні спільних правових принципів наукових концепцій. Гармонізація може здійснюватися в односторонньому порядку або на основі взаємності.

Прикладом односторонніх дій з метою зближення національного законодавства з іноземним є Закон України від 18 березня 2004 року “Про загальнодержавну програму адаптації законодавства України до законодавства Європейського Союзу”, яким, як випливає з його назви, затверджена програма, що визначає адаптацію національного законодавства, утворення відповідних інституцій та інші додаткові заходи, необхідні для ефективного правотворення та правозастосування, як складової механізму набуття Україною членства в Європейському Союзі.

Відповідно до програми адаптація законодавства України є планомірним процесом, що включає декілька послідовних етапів, на кожному з яких повинен досягатися певний ступінь відповідності законодавства України до вимог Європейського Союзу.

Концепція розвитку нетрадиційної та відновлюваної енергетики України.

Основною метою розвитку нетрадиційної та відновлюваної енергетики є створення та забезпечення необхідних умов для розробки і впровадження ефективних технологій та устаткування з використанням нетрадиційних і відновлюваних джерел енергії, що дасть можливість скоротити обсяги споживання традиційних паливно-енергетичних ресурсів, поліпшити стан в екологічній та соціальній сферах держави. Для ефективного освоєння НВДЕ необхідно виконання ряду основних завдань, що сприятиме створенню ефективних механізмів їх реалізації, зокрема нормативно-правового, економічного, методичного, інформаційного, кадрового та організаційно-керівного забезпечення:

- визначення ресурсів та створення кадастрів НВДЕ України;
- підготовка та першочергове впровадження закінчених науково-технічних проектів;
- визначення перспективних науково-дослідних і проектно-конструкторських розробок та організація їх впровадження;
- розробка нормативно-правової бази та законів прямої і непрямої дії, що сприяють впровадженню розробок на основі НВДЕ;
- залучення коштів усіх зацікавлених суб'єктів господарювання та забезпечення сприятливих умов для впровадження запропонованих заходів;
- формування і реалізація управління у сфері відновлюваної та нетрадиційної енергетики;

- організація контролю за ефективністю здійснення заходів та використання коштів;
- створення сертифікаційної та метрологічної бази;
- будівництво базових демонстраційних об'єктів по напрямках НВДЕ;
- створення бази для виробництва технічних пристроїв та обладнання, монтажу, експлуатації, ремонту та сервісу;
- створення профільної інфраструктури на основі вже існуючих навчальних, проектно-конструкторських та науково-дослідницьких організацій;
- сприяння утворенню приватних та громадських організацій по розповсюдженню та популяризації нетрадиційної енергетики.

Шляхи і способи розвитку нетрадиційної та відновлюваної енергетики України. Для ефективного впровадження обладнання на основі НВДЕ необхідно виконання ряду основних завдань, що сприятиме створенню ефективних механізмів їх реалізації, зокрема нормативно-правового, економічного, методичного, інформаційного, кадрового та організаційно-керівного забезпечення:

1) Створення законодавчо-правової та нормативно-технічної бази, впровадження демонстраційних проектів:

- Створення законодавчо-правової та нормативно-технічної бази відновлюваної та нетрадиційної енергетики з врахуванням особливостей освоєння кожного з видів НВДЕ;
- Створення основ державної політики економічного стимулювання, що базується на впровадженні системи пільг для виробників та споживачів енергії з НВДЕ (стимулюючі тарифи, пільгові податки кредитні ставки та інше);
- Визначення механізмів фінансування;
- Адаптація положень державних програм, законодавчо-правової бази та нормативно-технічної бази відновлюваної енергетики до вимог ЄС;
- Створення державної сертифікаційної та метрологічної бази.
- Розробка науково-технічних державних програм, у тому числі по створенню демонстраційних об'єктів з використанням НВДЕ.

2) Створення науково-технічного забезпечення:

- Координація робіт по науковому супроводу;
- Удосконалення існуючого і створення нового обладнання та технологій, що забезпечить ефективне використання НВДЕ;
- Удосконалення та створення нових засобів і систем автоматичного контролю та управління режимами роботи обладнання на основі НВДЕ;
- Створення систем аналітично-інформаційного забезпечення науково-технічного розвитку відновлюваної енергетики;
- Створення інформаційних і науково-технічних центрів метрологічного та сертифікаційного забезпечення;
- Вирішення питань ефективності і доцільності реалізації конкретних проектів та заходів;
- Розробка методичного та інформаційно-аналітичного забезпечення для постійного моніторингу і супроводу впровадження НВДЕ та для оперативного

внесення коректив при змінах в законодавстві і нормативній базі, кон'юнктурі ринку, в екологічних та інших факторах.

3) Створення інформаційного забезпечення та освіти:

- Створення освітньої системи – як спеціальної технічної за всіма напрямками НВДЕ, в тому числі прискореної, так і для формування екологоенергетичної свідомості населення;

- Створення системи підготовки та перепідготовки фахівців в галузі НВДЕ;

- Створення належної інформаційної, аналітичної, науково-технічної бази для підготовки спеціалістів за всіма напрямками розвитку технологій з НВДЕ.

- Проведення заходів для формування позитивного іміджу в суспільній свідомості для подолання відсталості і недовіри потенційних інвесторів і споживачів з використанням усіх наявних засобів масової інформації;

- Проведення інформаційно-пропагандистських заходів з перспектив використання технологій на базі НВДЕ. Проведення науково-практичних конференцій, семінарів для представників влади, регіональних лідерів, науковців, фахівців в галузі енергетики, наукової молоді. Проведення інформаційних турів, підготовка та друк інформаційних та науково-технічних матеріалів щодо використання технологій НВДЕ.

4) Організація управління та контролю за виконанням Додаткових заходів до Державної програми НВДЕ:

- Визначення органів керівництва роботами і постійного контролю за їх виконанням, а також щорічного коригування складу завдань з метою запобігання неефективних витрат, своєчасного виявлення заходів, впровадження яких неефективне, та включення нових перспективних проектів;

- Розробка механізмів та методів адміністративного контролю за прийнятою в країні системою організації роботи виконання програм такого рівня з урахуванням міжгалузевого характеру деяких завдань додаткових заходів та використання специфічних для даної галузі методів контролю;

- Розробка форм звітності та формування системи забезпечення контролю в галузевих та регіональних напрямках виконання програми;

- Створення системи моніторингу супроводу робіт для оперативного збору та обробки інформації про хід виконання Додаткових заходів до Державної програми НВДЕ;

- Створення науково-технічної Ради із залученням провідних спеціалістів у галузі відновлюваної та нетрадиційної енергетики.

5) Визначення механізмів реалізації та фінансового забезпечення освоєння НВДЕ:

- Розробка методів визначення попиту на основні види НВДЕ у всіх галузях господарювання на території України;

- Розробка конкретного набору важелів фінансово-економічних механізмів реалізації освоєння НВДЕ із врахуванням умов, в яких вони будуть здійснюватись (стан розвитку окремих підприємств, галузей і економіки країни

в цілому, фінансовими можливостями держави) із забезпеченням гарантій уряду;

- Розподіл відповідальності між виконавцями, міністерствами і відомствами, які вказані в переліку завдань із поєднанням традиційних адміністративних методів з ринковими методами, що базуються на застосуванні конкурентності в питаннях розподілу фінансових ресурсів;

- Визначення основних елементів механізму фінансування заходів;
- Визначення механізму залучення коштів з державного бюджету, в тому числі для фінансування науково-дослідних і дослідно-конструкторських робіт та створення демонстраційних об'єктів;

- Розробка механізму залучення іноземних інвестицій через міжнародні фінансові організації, окремі країни, фірми та приватних інвесторів, у тому числі залучення міжнародної технічної допомоги;

- Розробка механізму створення приватних або акціонерних підприємств (об'єктів) на основі відновлюваної та нетрадиційної енергетики за участю іноземних інвесторів як додаткового стимулу для інвестицій в економіку держави.

б) Розробка методів економічного стимулювання:

- Розробка методів економічного стимулювання науково-дослідних і дослідно-конструкторських робіт (НДДКР) відновлюваної та нетрадиційної енергетики;

- Розробка методів економічного стимулювання загальноосвітніх програм, курсів для підготовки фахівців з відповідних напрямів, програм навчального характеру на телебаченні, радіо, у спеціальних центрах;

- Розробка методів економічної підтримки виробників і користувачів устаткування відновлюваної та нетрадиційної енергетики, в тому числі субсидування нових зразків устаткування на основі НВДЕ за рахунок зниження податків на виробників. Особливо важливою є розробка державної підтримки користувачів і власників невеликих приватних станцій на основі НВДЕ.

- Розробка різних механізмів економічного стимулювання, що будуть сприяти подальшому розвитку відновлюваної та нетрадиційної енергетики:

- Розробка базових основ стимулювання розвитку НВДЕ з огляду на рішення Європейської Комісії.

7) Створення системи міжнародного співробітництва:

- Сприяння міжнародній співпраці з провідними світовими інституціями в області освоєння НВДЕ;

- В рамках робіт по адаптації українського законодавства згідно вимогам ЄС забезпечувати розробку сумісних проектів з провідними європейськими організаціями з розвитку НВДЕ. (Eurosolar, Всесвітня Рада з відновлюваної енергетики і ін.).

8) Створення методичного забезпечення:

- Розробка методики визначення грошового еквіваленту заощаджених в соціально-бюджетній сфері ПЕР та системи їх використання під енергозберігаючі заходи;

- Створення методики розробки регіональних програм НВДЕ;
- Розробка методик та критеріїв відбору проектів, проведення їх експертизи та оцінки ефективності;

9) *Визначення енергетичних ресурсів та створення кадастрів НВДЕ України:*

- Створення регіональних збірників енергетичного потенціалу НВДЕ для кожної із областей України;
- Створення атласу енергетичних ресурсів НВДЕ України на районному територіальному рівні.

Законодавчо-правова та нормативна база нетрадиційної та відновлюваної енергетики України.

Законодавчо-правове забезпечення відновлюваної енергетики України.

Головним завданням для нашої країни в даний час є створення науково-технічної бази відновлюваної енергетики з метою поступової заміни в Україні традиційних методів отримання енергії на практично невичерпні екологічно чисті відновлювані джерела енергії в межах доцільної реалізації їх потенціалу. Пошук перспективних шляхів розвитку паливно-енергетичної техніки на основі використання енергії відновлюваних джерел є однією з проблем, вирішення якої в Україні дасть гарантію енергетичної безпеки, що є одночасно і гарантією незалежності держави.

Крім того, для України надзвичайно важливим є більш тісне співробітництво з країнами ЄС, продовжується адаптація положень державних програм з освоєння ВДЕ до вимог Євросоюзу за розпорядженням КМ України №111 від 4 березня 2004р. “Про заходи для реалізації пріоритетної політики Програми інтеграції України в ЄС”.

Серед комплексу питань, вирішення яких забезпечить широкомасштабне впровадження обладнання на основі ВДЕ і які необхідно вирішувати першочергово, ключовими є питання суттєвого покращення техніко-економічних показників існуючого енергетичного обладнання, створення і впровадження нового устаткування, новітніх технологій та матеріалів. Оскільки ВДЕ поки що не можуть на рівних умовах конкурувати з традиційними джерелами енергії, їх освоєння потребує спеціальних заходів підтримки і методів стимулювання розвитку відновлюваної енергетики, закріплених законодавчими актами на державному рівні.

Для ефективною реалізації завдань Програми НВДЕ першочерговим завданням є створення законодавчо-правової та нормативної бази з врахуванням особливостей освоєння кожного з видів НВДЕ, визначення основ економічної стимулюючої політики держави і визначення механізмів пільгової політики для виробників та споживачів енергії НВДЕ, визначення механізмів фінансування.

З метою покращення ситуації свого часу були прийняті наступні програми і постанови:

- Національна енергетична програма України до 2010 року. Постанова Верховної Ради України №191,96-ВР від 15.05.96р.

- Указ Президента України від 2 квітня 1997 року №285 “Про рішення Ради національної безпеки і оборони України від 22 березня 1997 року “ Про невідкладні заходи щодо забезпечення України енергоносіями та їх раціонального використання”.

- Основні напрямки державної політики України у галузі охорони довкілля, використання природних ресурсів та забезпечення екологічної безпеки. Постанова Верховної Ради України №188.98-ВР від 05.03.98р.

- Екологічно чиста геотермальна енергетика України. Державна програма Кабінету Міністрів України на 1996-1998 роки.

- Нетрадиційні і поновлювані джерела енергії та ефективна система їх використання. Державна програма на 1997-1998 роки. Схвалена Постановою Верховної Ради України.

- Високоєфективні енергозберігаючі технологічні системи. Державна програма на 1997-1999 роки. Схвалена Постановою Верховної Ради України.

- Комплексна державна програма енергозбереження України, схвалена постановою Кабінету Міністрів України від 5 лютого 1997 р. №148 .

- Програма державної підтримки розвитку нетрадиційних та відновлюваних джерел енергії та малої гідро- і теплоенергетики, схвалена постановою Кабінету Міністрів України від 31.12.1997 року №1505.

Як видно з переліку документів, Президент, Верховна Рада, Уряд України приділяли значну увагу розвитку відновлюваних джерел енергії, але в усіх програмних документах були відсутні механізми реального фінансового забезпечення, крім того, часті зміни урядів унеможливили їх виконання в повному обсязі. Однак усі ці енергетичні програми і постанови стали важливими етапами на шляху до прийняття закону про ВДЕ.

5 липня 2001 року Верховна Рада України прийняла закон “Про альтернативні джерела енергії” у першій редакції, який розглядався на виконання Національної енергетичної програми України до 2010 року. Згідно закону, до альтернативних джерел енергії віднесені: енергія сонця, вітру, морів, рік, біомаси, тепло Землі, вторинних енергоресурсів. В цій редакції закону передбачалось багато податкових пільг для підприємців, які працюють в сфері виробництва енергії за рахунок ВДЕ. Президент наклав вето стосовно податкових пільг, після доопрацювання нового проекту закону України про ВДЕ, 20 лютого 2003 року Верховна Рада України прийняла закон “Про альтернативні джерела енергії”. Державне керування в галузі ВДЕ покладається на Кабінет Міністрів і спеціально уповноважений центральний орган виконавчої влади. Фінансування заходів у галузі ВДЕ проводиться за рахунок коштів, передбачених в оптових тарифах на електричну та теплову енергію, коштів з державного й місцевого бюджетів та інших, не заборонених законодавством України джерел. За пропозицією Президента із закону було вилучено положення про податкові пільги, що стало перешкодою для розвитку відновлюваної енергетики України.

Рішенням Ради національної безпеки і оборони України від 9 грудня 2005 року "Про стан енергетичної безпеки України та основні засади державної

політики у сфері її забезпечення", введеним у дію Указом Президента України №1863, одним із пріоритетних завдань державної політики у сфері забезпечення енергетичної безпеки України визначено використання нетрадиційних та відновлюваних джерел енергії.

Важливим етапом розвитку відновлюваної енергетики стало прийняття в 2009р. Закону України "Про внесення змін до деяких законів України щодо встановлення "зеленого" тарифу" №601-VI про встановлення спеціального тарифу, за яким закуповується електроенергія, вироблена на об'єктах електроенергетики, що використовують альтернативні джерела енергії.

Зелений тариф (в англійській мові зазвичай використовується термін *Feed-in tariff*) - економічний механізм, спрямований на заохочення генерації електроенергії відновлюваною енергетикою. Застосування зеленого тарифу зазвичай включає використання наступних інструментів:

- гарантований доступ до енергомережі;
- довгострокові контракти на придбання електроенергії;
- встановлення відносно високих закупівельних цін, які враховують вартість відновлюваних джерел енергії.

Регіональні або національні енергопостачальники зазвичай зобов'язані купувати електроенергію, вироблену з відновлюваних джерел. У багатьох країнах гарантується придбання електроенергії, що отримується з відновлюваних джерел енергії в рамках довгострокових (15-25 років) контрактів.

Станом на 2009 рік зелені тарифи використовувались в тій чи іншій формі у 63 країнах світу, включно з Україною.

Закон України "Про внесення змін до деяких законів України щодо встановлення "зеленого" тарифу" передбачає обов'язкове придбання постачальниками електроенергії (енергоринком) від наступних джерел:

- малі гідроелектростанції (встановленою потужністю до 10 МВт);
- вітрові електростанції;
- сонячні електростанції;
- електростанції, що використовують біомасу в якості палива.

Зелений тариф може використовуватись виробником протягом 10 років з моменту встановлення. Експерти критикують поточну редакцію закону, зокрема через неможливість застосування зеленого тарифу для виробників електроенергії, які використовують біогаз.

Для вирішення головних проблем, що виникають при впровадженні техніки та технологій відновлюваної енергетики, необхідно:

- визначення порядку відведення земельних площадок під установку обладнання відновлюваної енергетики;
- проведення робіт щодо підвищення потужності електромереж для забезпечення приймання електроенергії, отриманої від обладнання на основі відновлюваних джерел.

Актуальність удосконалення нормативно-правової бази відновлюваної енергетики обумовлена недостатнім забезпеченням України власними традиційними паливно-енергетичними ресурсами, що негативно впливає на

економічну стабільність і енергетичну незалежність держави. Тому одним з пріоритетних напрямків розвитку паливно-енергетичного комплексу України визначено максимальне забезпечення потреб за рахунок власних вторинних енергоресурсів, а також використання альтернативних видів рідкого та газового палива та джерел енергії. Таким чином, розробка законопроектів, направлених на розвиток відновлюваної енергетики, свідчить про важливість справи, яку надає Уряд України у вирішенні проблеми щодо, забезпечення надійного і диверсифікованого енергопостачання суспільного виробництва й населення з підвищенням екологічної чистоти енерговиробляючого та паливо- і енерго-споживаючого обладнання.

Нормативно-правове забезпечення України представлено в таблиці 27.1.

Таблиця 27.1 - Нормативно-правове забезпечення України

Закони та підзаконні акти	Дата прийняття
1	2
<i>Законодавча база з енергозбереження</i>	
Про енергозбереження	1 липня 1994 року № 74/94-ВР
Про електроенергетику	16 жовтня 1997 року № 575/97-ВР
Про ратифікацію Договору до Енергетичної Хартії та Протоколу до Енергетичної Хартії з питань енергетичної ефективності і суміжних екологічних аспектів	6 лютого 1998р. №89/98-ВР
Про ратифікацію Кредитної угоди (Фінансування Української енергозберігаючої сервісної компанії (УкрЕско) між Україною та Європейським банком реконструкції та розвитку	13 травня 1999р. №648-XIV
Про альтернативні види палива	14 січня 2000 року № 1391-XIV із змінами назви Закону 21 травня 2009 року N 1391-VI);
Про внесення змін до деяких законів України щодо стимулювання розвитку вітроенергетики України	8 червня 2000 року № 1812-III
Про альтернативні джерела енергії	20 лютого 2003 року № 555-IV
Про комбіноване виробництво теплової та електричної енергії (когенерацію) та використання скидного енергопотенціалу	5 квітня 2005 року № 2509-IV
Про теплопостачання	2 червня 2005 року № 2633-IV
Про внесення змін до деяких Законів України, що стосуються стимулювання виробництва бензинів моторних сумішевих	від 23 лютого 2006 р. №3502-IV

1	2
Про внесення змін до деяких законодавчих актів України щодо стимулювання заходів з енергозбереження	16 березня 2007 року № 760-V
Про внесення змін до деяких законів України щодо встановлення "зеленого" тарифу	25 вересня 2008 року № 601-VI
Про внесення змін до Закону України "Про електроенергетику" щодо стимулювання використання альтернативних джерел енергії	1 квітня 2009 року N 1220-VI
<i>Законодавча база з біоенергетики</i>	
Про внесення змін до деяких законів України щодо сприяння виробництву та використанню біологічних видів палива	21 травня 2009 року N 1391-VI
Про заходи щодо розвитку виробництва палива з біологічної сировини	Постанова Кабінету Міністрів України 26.09.03 р. № 1094/2003
Про затвердження Програми розвитку спиртової, лікєро-горілчаної та виноробної галузей на 2003-2007 роки	Постанова Кабінету Міністрів України 01.04.03 р. № 451
Про затвердження програми «Етанол»	Постанова Кабінету Міністрів України від 04.07.2000 р. № 1044
Про перелік об'єктів, що фінансуються у 2006 році за рахунок субвенцій з державного бюджету місцевим бюджетам відповідно до статті 54 Закону України «Про Державний бюджет України на 2006 рік	Постанова Кабінету Міністрів України від 10.07.06 р. № 951
Про схвалення Концепції Програми розвитку виробництва дизельного біопалива на період до 2010 року	Розпорядження Кабінету Міністрів України від 28.12.05 р. № 576-р
Про схвалення Енергетичної стратегії України на період до 2030 року	Розпорядження Кабінету Міністрів України від 15.03.06 р. № 145-р
Про схвалення Концепції Комплексної державної програми реструктуризації і розвитку бурякоцукрової галузі на період до 2010 року	Розпорядження Кабінету Міністрів України від 24.12.05 р. № 566-р
Про визначення пріоритетних напрямів енергозбереження	Наказ Мінфіну від 04.07.06 р. № 631
Про програми підвищення енергоефективності і зменшення споживання енергетичних ресурсів	Розпорядження Кабінету Міністрів України від 17 грудня 2008 року №1567-р
Про першочергові заходи по скороченню об'ємів споживання природного газу в період до 2010 року	Розпорядження Кабінету Міністрів України від 19 лютого 2009 року № 256-р
Деякі питання реалізації державної політики у сфері ефективного використання паливно-енергетичних ресурсів	11 лютого 2009 р. №159-р
Питання організації виробництва та використання біогазу	Розпорядження Кабінету Міністрів України від 12 лютого 2009 р. №217-
Про особливості приєднання до електричних мереж об'єктів електроенергетики, що виробляють електричну енергію з використанням альтернативних джерел	Постанова Кабінету Міністрів України від 19 лютого 2009 р. №126

1	2
Стандарти	
Енергозбереження. Методи визначення економічної ефективності заходів з енергозбереження. Установлює загальні положення для заходів з енергозбереження для підприємств.	ДСТУ 2155-93 від 01.01.95
Енергозбереження. Нетрадиційні джерела енергії. Терміни та визначення (Визначає термінологію для науково-технічної документації)	ДСТУ 2275-93 від 01.01.95
Енергозбереження. Основні положення. Встановлює загальні положення з енергоощадності.	ДСТУ 2339-94 від 01.01.95
Енергозбереження. Терміни та визначення. Визначає основні поняття для використання в науково-технічній літературі.	ДСТУ 2420-94
Ресурсозбереження. Основні положення. Встановлює основні вимоги та принципи ресурсозбереження.	ДСТУ 3051-95 від 01.01.97
Ресурсозбереження. Порядок установлення показників ресурсозбереження і документації на продукцію. Використовується при розробці проектної документації.	ДСТУ 3052-95 від 01.01.97
Методи визначення енергоспоживання гірничих підприємств. Використовується для економічної оцінки енергозбереження в галузі гірничо-видобувної промисловості.	ДСТУ 3176-95 від 01.01.97
Енергозбереження. Методи і засоби вимірювань теплових величин. Загальні положення. Регламентує правильність розрахункової бази при вимірюванні теплових величин.	ДСТУ 3401-97
Енергозбереження. Нетрадиційні та відновлювані джерела енергії. Основні положення	ДСТУ 3569-97 (ГОСТ 30514-97)
Енергозбереження. Методика визначення повної енергоемності робіт та послуг. Дає змогу визначити вартість робіт та послуг.	ДСТУ 3635-98
Енергозбереження. Нетрадиційні джерела енергії. Основні положення. Вимоги до нормативних документів в галузі ВДЕ.	ДСТУ 3569-97
Енергозбереження. Методи вимірювання і розрахунку теплоти згоряння палив. Визначає способи вимірювання та розрахунку теплоти згоряння для твердого, рідкого та газоподібного палива	ДСТУ 3581-97
Енергозбереження. Номенклатура показників енергоефективності та порядок їхнього внесення в нормативну документацію. Стандартизує і узагальнює показники енергоефективності.	ДСТУ 3755-98
Енергозбереження. Методи аналізу та розрахунку витрат палива та енергії на металургійних підприємствах. Використовується для оцінки заходів з енергоощадності на металургійних підприємствах.	ДСТУ 3740-98
Енергозбереження. Методика оцінювання енергетичного стану систем енергопостачання промислових підприємств для їх паспортизації. Дає змогу оцінити енергетичний стан промислового підприємства.	Р 50-081-2000

1	2
Енергоощадність. Методи аналізу та розрахування питомих витрат енергоресурсів. Використовується для статистичної оцінки питомих витрат енергоресурсів.	ДСТУ 4110-2002
ДСТУ Енергозбереження. Будівлі і споруди. Методи вимірювання щільності теплових потоків і коефіцієнтів теплообміну. Покращення заходів з енергозбереження для будівельної промисловості.	<i>Представлено на затвердження</i>
Енергозбереження. Теплові споживачі електроенергії промислових підприємств. Методика визначення норм витрат електроенергії. Дає змогу визначити норми витрат електроенергії для теплових споживачів промислових підприємств.	<i>Представлено на затвердження</i>
<i>Міждержавні стандарти</i>	
Энергетика и электрификация. Термины и определения	ГОСТ 19431-84
Системы энергетические. Термины и определения	ГОСТ 21027-75
Электрическая часть электростанции и электрической сети. Термины и определения	ГОСТ 24291-90
Энергосбережение. Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии. Основные положения	ГОСТ 30514-97
<i>Гармонізовані зарубіжні</i>	
Системи енергетичні технічні. Основні положення . Визначає систематизацію в галузі енергетики.	ДСТУ ISO 13600-2001
Системи енергетичні технічні. Структура для аналізу. Сектори постачання та споживання енергопродукту. Дає змогу оцінити рух енергетичної продукції.	ДСТУ ISO 13601-2001
<i>Відновлювана енергетика:</i>	
Енергозбереження. Установки теплоутилізаційні. Загальні технічні вимоги. Установлює загальні положення на енерготехнологічні установки	ДСТУ 3635-98 01.07.00
Енергозбереження. Ресурси енергетичні вторинні. Терміни та визначення. Визначає термінологію для науково-технічної документації.	ДСТУ 3818-98 (01.01.00) .
Енергозбереження. Ресурси енергетичні вторинні. Методика визначення показників виходу та використання	ДСТУ 4090-2001 01.01.03 .
Енергозбереження. Ресурси енергетичні вторинні. Коксохімічне виробництво. Методика визначення показників виходу та використання. Дає загальну оцінку кількості ВЕР коксохімічного виробництва.	Р (представлено на затвердження)
<i>Вітроенергетика</i>	
Ветер. Пространственное и временное распределение характеристик.	ГОСТ 24728-81 (с 01.07.1982)
Вітроенергетика. Вітроенергетичні установки і вітроелектричні станції. Терміни та визначення.	ДСТУ 3896-99 (від 01.07.00)
Вітроенергетика. Установки електричні вітрові. Загальні технічні вимоги. Дозволяє узагальнити вимоги до проектної документації.	ДСТУ 4037-2001 (від 01.01.02)

1	2
Вітроенергетика. Станції електричні вітрові. Загальні технічні вимоги. Узагальнює вимоги до розроблення проектів ВЕС.	ДСТУ 4051-2001 (від 01.04.02)
Вітроенергетика. Установки електричні вітрові. Методи випробування. Дає змогу стандартизувати методику випробування ВЕУ.	ДСТУ 4225-2003
Установки вітронасосні. Загальні технічні умови	ДСТУ 4407:2005 (від 30.05.2005) .
Установки електричні вітряні малої потужності. Загальні технічні вимоги. Загальні технічні умови до вітроелектричних установок (ВЕУ) малої потужності.	ДСТУ 4859:2007 (05.11.2007)
Гармонізовані зарубіжні	
Системи турбогенераторні вітряні. Частина 1: Вимоги безпеки. (ІЕС 61400-1:1999, IDT). Поширюється на ВТГС з площею обмаху, що дорівнює або більше 40 м ² .	ДСТУ ІЕС 61400-1-2001 від 01.07.02
Системи турбогенераторні вітряні. Частина 2: Вимоги безпечності малих вітряних турбін. (ІЕС 61400-2:1996, IDT). Поширюється на МВТГС з площею обмаху менше 40 м ² .	ДСТУ ІЕС 61400-2-2001 від 01.01.03.
Системи турбогенераторні вітряні. Частина 11: Методика вимірювання акустичного шуму. Дає змогу оцінити рівень акустичного шуму ВТГС.	ДСТУ ІЕС 61400-11-2001 від 01.07.04. ІЕС 61400-11:1997, IDT
Системи турбогенераторні вітряні. Частина 12: Випробування вітряних турбін для визначення енергетичних характеристик. Установлює методику вимірювання енергетичних експлуатаційних характеристик окремої вітрової турбогенераторної системи і його застосування для випробування ВТГС усіх типів і розмірів, під'єднаних до електричної мережі. Оцінює абсолютні та експлуатаційні характеристики ВТГС.	ДСТУ ІЕС 61400-12-2001 від 01.07.03 ІЕС 61400-12:1998, IDT
Системи турбогенераторні вітряні. Частина 13: Вимірювання механічних навантажень. Дає змогу визначити механічні навантаження ВТГС.	ДСТУ ІЕС /TS 61400-13-2003 від 01.07.05. ІЕС 61400-13:2001, IDT
Системи турбогенераторні вітряні. Частина 21: Вимірювання та оцінювання характеристик якості енергії вітряних турбін, під'єднаних до мережі. Дозволяє запровадити єдину методику для оцінки характеристик якості енергії вітряних турбін.	ДСТУ ІЕС 61400-21-2001 від 01.07.04. ІЕС 61400-21:2001, IDT.
Системи турбогенераторні вітряні. Частина 22: Сертифікація вітряних турбін. , IDT. Дає змогу сертифікувати обладнання ВЕС.	ДСТУ ІЕС /TS 61400-22-2003 ІЕС 61400-22:1999.

1	2
Системи турбогенераторні вітряні. Частина 23: Повне випробування конструкцій лопатей ротора. Характеризує надійність ВЕУ.	ДСТУ ІЕС /TS 61400-23-2003 ІЕС 61400-23:2001, IDT.
Системи турбогенераторні вітряні. Частина 24: Захист вітряних турбін. . Узагальнює та систематизує методи захисту ВТ від блискавки.	ДСТУ ІЕС 61400-24-2001 від 01.07.03 ІЕС 61400-24:2000, IDT
Галузеві керівні документи	
Вітроенергетика. Установки електричні вітряні. Порядок проведення приймальних випробувань дослідних зразків.	ГКД 3-001-2000
Вітрові електричні установки. Основні положення щодо складання та монтажу. Цей документ (ГКД) поширюється на горизонтально- та вертикально-осьові вітроелектричні установки і встановлює порядок та основні положення щодо складання, монтажу, випробування, пуску, комплексної перевірки та обкатки ВЕУ на місці експлуатації.	ГКД 3-002-2000 Київ 2001.
Вітроенергетика. Установки електричні вітряні. Порядок поставлення на серійне виробництво.	ГКД 3-003-2000
Вітроенергетика. Установки електричні вітряні. Визначення характеристик потужності.	ГКД 3-004-2000
Під'єднання об'єктів вітроенергетики до електричних мереж.	ГКД 341.003.001.001-2000
Правила проектування вітряних електричних станцій.	ГКД 341.003.001.002-2000
Вітроенергетика. Вітряні електричні станції. Вимоги до обсягів приймальних випробувань, комплектації документацією і технічними засобами.	ГКД 341.003.003.001-2000
Вітроенергетика. Доповнення до Інструкції про розслідування і облік технологічних порушень на об'єктах електроенергетики і об'єднаній енергетичній системі України ГКД 34.08.551-99. Розслідування та облік технологічних порушень на ВЕС.	ГКД 341.003.003.002-2000
Вітроенергетика. Площадки для вітряних електростанцій. Вимоги щодо відбору. Даний нормативний документ формує вимоги до відбору потенційних площадок для розміщення вітрових електричних станцій (ВЕС) у визначеному районі.	ГКД 341.003.003.003-2000
Вітроенергетика. Вітряні електричні станції. Типові посадові інструкції персоналу.	ГКД 341.003.003.004-2000
Нормативи чисельності працівників вітряних електростанцій.	ГКД 341.003.003.005-2000

1	2
Нормативи чисельності працівників вітряних електростанцій.	ГКД 341.003.003.005-2000
Площадки для вітряних електростанцій. Метеорологічні дослідження характеристик вітру. Цей нормативний документ (НД) встановлює порядок проведення метеорологічних досліджень на стадіях, що передують розробці техніко-економічного обґрунтування інвестицій у нове будівництво ВЕС на території України.	ГКД 341.003.003.006-2000 від 2000-11-12.
Примірні інструкції з охорони праці під час виконання робіт на вітряних електричних станціях.	ГКД 241.003.003.007-2001
Техніко-економічне обґрунтування інвестицій у будівництво вітряних електростанцій.	ГКД 341.003.004.001-2000
Організаційні структури управління вітряних електричних станцій. Рекомендації.	ГКД 341.003.004.002-2000
Сонячна енергетика	
Енергозбереження. Нетрадиційні та поновлювані джерела енергії. Колектори сонячні. Методи випробувань. Характеризує якість роботи СК.	ДСТУ 4034-2001
Системи теплові сонячні та їх компоненти. Колектори сонячні. Частина 1. Загальні технічні вимоги.	ДСТУ EN 12975-2001
Системи теплові сонячні та їхні компоненти. Колектори сонячні. Частина 1: Загальні технічні вимоги. Використовується при розробленні технічної документації на СТС.	ДСТУ EN 12975-1-2001
Фотоэлектрические приборы из кристаллического кремния. Методика коррекции по температуре и облученности результатов измерения вольт-амперной характеристики. Використовується при розробці сонячних фотоперетворювачів	ГОСТ 28976-91 (МЭК-891-87)
Фотоэлектрические приборы. Измерения фотоэлектрических вольт-амперных характеристик. Дозволяє оцінити якість СФ.	ГОСТ 28977-91 МЭК-904-1-87
Енергозбереження. Геліоенергетика. Методика визначення ресурсів. Дозволяє оцінити потенціал сонячних ресурсів.	ДСТУ Стадія розроблення
Скидний потенціал та енергія довкілля	
Теплові насоси "повітря-вода" для комунально-побутового теплопостачання. Загальні технічні вимоги і методи випробувань. Дає можливість оцінити якість і надійність роботи ТНУ.	ДСТУ 3859-99 від 01.01.01.
Мережні повітряні кондиціонери і теплові насоси. Випробування та оцінка якості. Дає можливість оцінити якість і надійність роботи для потреб комунально-побутового теплопостачання.	ДСТУ ISO 13253-97

1	2
<i>Геотермальна енергетика</i>	
Енергозбереження. Поновлювані джерела енергії. Геотермальні установки. Загальні технічні вимоги. Використовується при розробленні проектної документації.	ДСТУ Стадія розроблення
<i>Біоенергетика</i>	
Енергоощадність. Поновлювані джерела енергії. Біогазові установки. Загальні технічні вимоги. Використовується при розробленні проектної документації.	ДСТУ 4516:2006 01.01.2007
<i>Мала гідроенергетика</i>	
Енергозбереження. Гідроенергетика мала. Методика визначення ресурсів. Дас змогу оцінити гідроенергетичний потенціал.	ДСТУ Стадія розроблення

Список літератури

1. Энергетика /Учеб. пособие/ Под общ. ред. Академика Швеца И.Т. Москва-Киев, Машгаз, 1961. - 505 с.
2. В.А.Веников, Е.В.Путятин. Введение в специальность. Электроэнергетика. М.: Высш. школа, 1988.
3. М.О.Дикий. Поновлювані джерела енергії К.: Вища школа, 1993.
4. Екологізація енергетики: Навч. пос. / Шевчук В.Я., Бічивський Г.О., Сатолкін Ю.М., Навроцький В.М. - К.: Вища освіта, 2002. - 111 с.
5. Енергія навколо нас: Посібник / Конеченков А.С., К. 1999. - 191 с.
6. Півняк Г.Г. Раціональне використання енергії: Навч. пос. Дніпропетровськ, 2002. - 193 с.
7. Сибикин Ю.Д., Сибикин М.Ю. Нетрадиционные возобновляемые источники энергии. /Учебное издание. – М.: ИП РадиоСофт, 2008. – 228 с.
8. Кривцов В.С., Олейников А.М., Яковлев А.И. Неисчерпаемая энергия. Кн. 3. Альтернативная энергетика. / Учебник. – Харьков: Нац. Аэрокосм. ун-т "Харьк. авиац. ин-т", Севастополь: Севаст. Нац. техн. ун-т, 2006. – 643 с.
9. Соловей О.І. та ін. Нетрадиційні та поновлювані джерела енергії: Навчальний посібник. Черкаси б ЧДТУ, 2007. – 483 с.
10. Левківський С.С., Падун С.С. Раціональне використання і охорона водних ресурсів: Підручник. К.: Либідь, – 2006. – 280 с.
- 11.Ион Д. Мировые энергетические ресурсы. - М.: Недра, 1984. - 368 с.
12. Энергетика мира - М.: Энергоиздат, 1984.
13. Дэвинс Д. Энергия: Энергоатомиздат, 1985. - 360 с.
14. В.Р. Котлер, Д.Е. Серков. Потребление первичной энергии и структура топливопотребления в мире. // Электрические станции. – 2002. - №7. – с.71-73.
15. Паливно-енергетичний комплекс України на порозі третього тисячоліття // Під заг. ред. Шидловського А.К., Ковалка М.П. - Київ: Українські енциклопедичні знання, 2001. - 400 с.
- 16.В.А. Махова, Л.Б. Преображенская, Мировая атомная электроэнергетика: конец XX и начало XXI века. // Энергия: Экономика, техника, экология. – 2001. - №12. – с. 3-10.
- 17.В.П. Семиноженко, П.М. Канило, В.Н. Остапчук, А.И. Ровенский. Энергия. Экология. Будущее. Х.: Прапор, 2003. – 461с.
18. Енергоефективність та відновлювані джерела енергії. Під заг. ред. Шидловського А.К. – Київ: Українські енциклопедичні знання, 2007. – 559 с.
- 19.Карп И.Н. Нефтегазовый сектор Украины и его роль в Черноморско-Каспийском межрегиональном сотрудничестве // Экотехнологии и ресурсосбережение. - 2003. - №1. - с. 3-10.
- 20.Н.М.Мхитарян. Энергетика нетрадиционных и возобновляемых источников. К., Наукова думка, 1999. – 314 с.

21. Атлас енергетичного потенціалу відновлюваних джерел енергії України. Київ.: ТОВ "Віол Принт", – 2008. – 55 с.
22. Белая книга (финальный документ Комиссии Европейского Союза). Стратегия и план действий Европейского Союза. Энергия будущего: возобновляемые источники энергии. – 1997. – 43 с.
23. Энергетика: история, настоящее и будущее. Т. 4. Возобновляемая энергетика. Функционирование и развитие энергетики в современном мире. – Киев, 2010. – 612 с.
24. Ахмедов Р.Б. Технология использования нетрадиционных и возобновляемых источников энергии. Сер.: Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии. Т.2 – М.: ВИНТИ, 1987. – 174 с.
25. Твайделл Дж., Уэйр А. Возобновляемые источники энергии. – М.: Энергоатомиздат. 1990. – 344 с.
26. Щербина О. Енергія для всіх. Технічний довідник з енергоощадності та відновних джерел енергії. – Ужгород., 2007. – 336 с.
27. Ветроэнергетика/Под ред. Д. де Рензо; Пер. с англ. – М.: Энергоатомиздат, 1982. – 72 с.
28. Волшаник В.В., Зубарев В.В., Франкфурт М.О. Использование энергии ветра, океанских волн и течений. Сер.: Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии. Т. I. – М.: ВИНТИ, 1983. – 100 с.
29. Андрианов В.Н., Быстрицкий Д.Н., Вашкевич К.П. и др. Ветроэлектрические станции. – М. – Л.: Государственное энергетическое изд-во, 1960. – 320 с.
30. Безруких П.П. Использование энергии ветра. Техника, экономика, экология. М.: Колос, 2008 – 196 с.
31. Андерсон Б. Солнечная энергия. – М. – Стройиздат, 1982. – 374 с.
32. Даффи У.Дж., Бекман У.А. Тепловые процессы с использованием солнечной энергии /Под ред. Ю.Н.Малевского – М., 1977.
33. Яцик А.В., Бишовець Л.Б., Богатов Є.О. Малі річки України. Довідник. – Київ: Урожай, 1991. – 296 с.
34. Техничко-економическіє характеристики малої гідроенергетики (справочн. м-лы). Методич. Пособіє /В.И. Виссарионов, Н.К. Малинин, Г.В. Дерюгина и др.. М.: Изд-во МЭИ, 2001. – 120 с.
35. Соуфер О., Заборски О. Биомасса как источник энергии. - М.: Мир, 1985. - 375 с.
36. Я.Б. Блюм, Г.Г. Гелетуша, І.П. Григорюк, В.О. Дубровін, А.І. Ємець, Г.М. Забарний, Г.М. Калетнік, М.Д. Мельничук, В.Г. Мироненко, Д.Б. Рахметов, С.П. Циганков. Новітні технології біоконверсії – К: "Аграр Медіа Груп", 2010. – 326 с.
37. Саплин Л.А. и др. "Энергоснабжение сельскохозяйственных потребителей с использованием возобновляемых источников электроэнергии" – Челябинск – 2000, 203 с.
38. Забарний Г.М., Кудря С.О., Кондратюк Г.Г., Четверик Г.О. Термодинамічна ефективність та ресурси рідкого біопалива України. – Київ. – 2006. – 226 с.
39. Горбов В.М. Енергетичні палива. – Миколаїв: УДМТУ. – 2003. – 327 с.

40. Бекман Н.Г., Гилли П. Тепловое аккумулирование энергии – М.: Мир, 1987.
41. Левенберг В.Д., Ткач М.Р., Гольстрем В.А. Аккумулирование тепла. – Киев: Техника, 1991.
42. Водород. Свойства, получение, хранение, транспортирование, применение. Под редакцией Гамбурга Д.М. – Москва.: Химия, 1989. – 671 с.
43. Шпильрайн Э.Э., Малышенко С.П., Кулешов Г.Г. Введение в водородную энергетику, М., Энергоатомиздат. 1984. – 264 с.
44. Дмитриев А.Л., Прохоров Н.С. Перспективы применения водорода в качестве энергоносителя. "Химическая промышленность", т. 80, №10 (455), 2003. – С. 27.
45. В. П. Клавдиенко, А. П. Тарасов. Нетрадиционная энергетика в странах ЕС: экономическое стимулирование развития. №9. "Наука". М: 2006. – С. 42–46.
46. Енергетична безпека України: чинники впливу, тенденції розвитку / Під ред. Ковалка М.П., Шидловського А.К., Кухаря В.П. - Київ: Українські енциклопедичні знання, 1998. - 160 с.
47. Васильев Ю.С., Хрисанов Н.И. Экология использования возобновляющихся энергоисточников. – Л.: Изд-во Ленингр. ун-та, 1991. – 343с.
48. Крачило М.П. Основы экології та економіка природокористування. - Київ: Крамар, 1998.-170 с.
49. Енергетичне законодавство. Збірник нормативно-правових актів України (станом на 1 лютого 2003р.). за заг. Ред. Ю.С.Шемшученка, В.П. Нагребельного. Київ. 2003. – 731с.