

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ



ЗАТВЕРДЖУЮ

Ректор, професор

Олександр ШЕВЧЕНКО

«23» _____ 2023 р.

Н.О. Бублієнко

О.М. Салавор

О.В. Ничик

Альтернативна енергетика

КУРС ЛЕКЦІЙ

для здобувачів освітнього ступеня «Бакалавр» спеціальності 101 «Екологія»
освітньо-професійної програми «Екологія та екоменеджмент»
денної та заочної форм здобуття освіти

Всі цитати, цифровий та фактичний
матеріал, бібліографічні відомості
перевірені.

Написання одиниць відповідає
стандартам

СХВАЛЕНО

на засіданні кафедри
екології та екоменеджменту

Протокол № 4

від «13» жовтня 2023 р.

Підписи укладачів

/Наталія БУБЛІЄНКО/

/Оксана САЛАВОР/

/Оксана НИЧИК/

«13» жовтня 2023 р.

Регістраційний номер електронних
методичних рекомендацій у НМУ

57. 232 - 2023

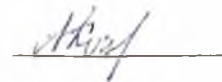


Co-funded by the
European Union

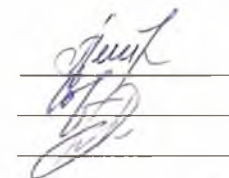
Київ НУХТ 2023

Бублієнко, Н.О. Альтернативна енергетика [Електронний ресурс]: курс лекцій для здобувачів освітнього ступеня «Бакалавр» спеціальності 101 «Екологія» освітньо-професійної програми «Екологія та екоменеджмент» денної та заочної форм здобуття освіти / Н.О. Бублієнко, О.М. Салавор, О.В. Ничик. – К.: НУХТ, 2023. – 70 с.

Рецензент: Андрій КОТИНСЬКИЙ, канд. техн. наук, доц.



Укладачі: Наталія БУБЛІЄНКО, канд. техн. наук, доц.
Оксана САЛАВОР, канд. техн. наук, доц.
Оксана НИЧИК, канд. техн. наук, доц.



Відповідальний за випуск: Ігор ЯКИМЕНКО, д-р. біолог. наук, проф.



Подано в авторській редакції

© Бублієнко Н.О., 2023
© Салавор, О.М. 2023
© Ничик О.В., 2023
© НУХТ, 2023

ЗМІСТ

	Стор.
Вступ	5
ЗМІСТОВИЙ МОДУЛЬ 1. ТРАДИЦІЙНА ЕНЕРГЕТИКА ТА ЇЇ ВПЛИВ НА ДОВКІЛЛЯ. ЗАКОНОДАВСТВО УКРАЇНИ ТА ЄС ЩОДО АЛЬТЕРНАТИВНОЇ ЕНЕРГЕТИКИ.....	7
Тема 1. Класифікація енергоресурсів Землі	7
Запитання для самоперевірки.....	10
Тема 2. Енергетичні ресурси України. Енергоресурси країн Європейського Союзу: загальні запаси, розподіл по країнах, проблема енергозалежності від країни-агресорки.....	10
Запитання для самоперевірки.....	13
Тема 3. Законодавство України щодо альтернативної енергетики. Директиви Європейського Союзу щодо відновлюваної енергетики.....	13
Запитання для самоперевірки.....	20
ЗМІСТОВИЙ МОДУЛЬ 2. ГЕЛІО-, ВІТРО-, ГЕОТЕРМАЛЬНА ТА ВОДНЕВА ЕНЕРГЕТИКИ.....	21
Тема 4. Геліо- і вітроенергетика: історія розвитку, основні процеси і обладнання, найбільші СЕС та ВЕС у світі, перспективи розвитку в Україні. Досвід ЄС у розвитку сонячної та вітроенергетики.....	21
4.1. Геліоенергетика.....	21
4.2. Вітроенергетика.....	24
Запитання для самоперевірки.....	26
Тема 5. Геотермальна та воднева енергетика: історія розвитку, основні процеси і обладнання, найбільші ГеоТЕС, ГеоЕС у світі, досвід ЄС, перспективи розвитку в Україні. Воднева стратегія ЄС.....	27
5.1. Геотермальна енергетика.....	27
5.2. Воднева енергетика. Воднева стратегія ЄС.....	30
Запитання для самоперевірки.....	33
ЗМІСТОВИЙ МОДУЛЬ 3. БІО-, ГІДРО- ТА ІНШІ ВИДИ АЛЬТЕРНАТИВНОЇ ЕНЕРГЕТИКИ.....	33
Тема 6. Біоенергетика (біогаз, біометан і біоспирти): історія розвитку, біохімічні процеси і обладнання, мікроорганізми-продуценти, найбільші біогазові комплекси у світі, перспективи розвитку в Україні. Досвід країн ЄС у розвитку біогазових, біометанових і біоспиртових технологій. Директиви ЄС та передові практики країн Європейського Союзу щодо біотехнологій переробки виробничих та муніципальних відходів, очищення стоків.....	33
6.1. Біогазові технології.....	33
6.2. Біометан.....	44
6.3. Біоспирти – рідке альтернативне біопаливо.....	45
6.3.1. Біоетанол.....	45
6.3.2. Біобутанол.....	47
6.3.3. Біометанол.....	48

Запитання для самоперевірки.....	49
Тема 7. Біоенергетика (біодизель, біонафта, біоводень, термічні способи перетворення біомаси на паливо): історія розвитку, основні процеси і обладнання, найбільші комплекси у світі, досвід країн Європейського Союзу, перспективи розвитку в Україні.....	50
7.1. Біодизель.....	50
7.2. Виробництво вуглеводнів за допомогою мікроводоростей. Біонафта..	51
7.3. Біотехнологічне виробництво водню за допомогою водоростей.....	52
7.4. Пряме спалювання біомаси.....	53
7.5. Піроліз біомаси.....	54
7.6. Газифікація біомаси.....	55
7.7. Біогаз зі звалищ.....	56
Запитання для самоперевірки.....	57
Тема 8. Альтернативна гідроенергетика: історія розвитку, основні процеси і обладнання, найбільші ПЕС, ХЕС у світі, впровадження технологій ОТЕС, досвід країн ЄС, перспективи розвитку в Україні.....	57
8.1. Енергія припливів та відпливів.....	58
8.2. Енергія хвиль.....	59
8.3. Енергія течій.....	61
8.4 Теплова енергія океанів (енергія температурного градієнта морської води).....	62
8.5 Енергія взаємодії прісних і солоних вод.....	63
Запитання для самоперевірки.....	64
Тема 9. Грозова, гравітаційна та кріоенергетики – погляд у майбутнє: основні процеси і обладнання, країни-зачинателі, досвід країн ЄС.....	64
9.1. Грозова енергетика.....	64
9.2. Кріоенергетика (низькотемпературна енергетика).....	65
9.3. Гравітаційна енергетика.....	66
Запитання для самоперевірки.....	67
Рекомендована література.....	68

ВСТУП

Курс лекцій підготовано відповідно до робочої програми вибіркової навчальної дисципліни «Альтернативна енергетика», яка входить до навчального плану підготовки здобувачів освітнього ступеня «Бакалавр» спеціальності 101 «Екологія» освітньо-професійної програми «Екологія та екоменеджмент».

Метою навчальної дисципліни є засвоєння здобувачами основних понять дисципліни; отримання знань щодо поновлюваних екологічно безпечних та економічно ефективних джерел енергії, альтернативних традиційному викопному паливу; ознайомлення з передовими практиками Європейського Союзу в галузі відновлюваної енергетики.

Міждисциплінарні зв'язки:

- пререквізити дисципліни – Охорона довкілля; Біотрансформація органічних речовин в живих організмах; Фізика; Хімія навколишнього середовища;
- постреквізити дисципліни – Менеджмент міських та промислових систем; Природоохоронні технології та обладнання.

Згідно з вимогами освітньо-професійної програми «Екологія та екоменеджмент» здобувачі повинні набути **здатності** отримувати компетентності:

інтегральна:

- розв'язувати складні спеціалізовані задачі та вирішувати практичні проблеми у сфері екології, охорони довкілля і збалансованого природокористування, або у процесі навчання, що передбачає застосування основних теорій та методів наук про довкілля, та характеризуються комплексністю і невизначеністю умов;

загальні:

- знання та розуміння предметної області та професійної діяльності;
- навички використання інформаційних і комунікаційних технологій;

фахові:

- знання та розуміння теоретичних основ екології, охорони довкілля та збалансованого природокористування;
- до критичного осмислення основних теорій, методів та принципів природничих наук;
- до оцінки впливу процесів техногенезу на стан навколишнього середовища та виявлення екологічних ризиків, пов'язаних з виробничою діяльністю;
- до впровадження вітчизняних та міжнародних практик, спрямованих на регулювання екологічної та техногенної безпеки.

Здобувачі повинні досягти таких **програмних результатів навчання**:

- розуміти основні екологічні закони, правила та принципи охорони довкілля та природокористування;

- розуміти основні концепції, теоретичні та практичні проблеми в галузі природничих наук, що необхідні для аналізу і прийняття рішень в сфері екології, охорони довкілля та оптимального природокористування;
- розв'язувати проблеми у сфері захисту навколишнього середовища із застосуванням загальноприйнятих та/або стандартних підходів та міжнародного і вітчизняного досвіду;
- уміти проводити пошук інформації з використанням відповідних джерел для прийняття обґрунтованих рішень;
- демонструвати навички оцінювання непередбачуваних екологічних проблем і обдуманого вибору шляхів їх вирішення;
- уміти прогнозувати вплив технологічних процесів та виробництв на навколишнє середовище;
- усвідомлювати відповідальність за ефективність та наслідки реалізації комплексних природоохоронних заходів.

ЗМІСТОВИЙ МОДУЛЬ 1. ТРАДИЦІЙНА ЕНЕРГЕТИКА ТА ЇЇ ВПЛИВ НА ДОВКІЛЛЯ. ЗАКОНОДАВСТВО УКРАЇНИ ТА ЄС ЩОДО АЛЬТЕРНАТИВНОЇ ЕНЕРГЕТИКИ

Тема 1. Класифікація енергоресурсів Землі

У процесі розвитку людство постійно вирішує три взаємопов'язані проблеми:

- забезпечення продуктами харчування;
- створення середовища для нормальної життєдіяльності;
- забезпечення енергією.

Нині перше місце належить саме проблемі енергозабезпечення, від ефективності і якості вирішення якої залежить як рівень життя людства, так і стан навколишнього середовища.

Зростання енергоспоживання є прямим наслідком росту населення планети та покращення його добробуту.

Згідно закону зниження енергоефективності природокористування: у процесі одержання з природних систем корисної продукції з часом (в історичному аспекті) на її виготовлення в середньому витрачається дедалі більше енергії.

Загальна енергетична ефективність сільськогосподарського виробництва (співвідношення вкладень і одержуваної з готовою продукцією енергії) в промислово розвинених країнах приблизно в 30 разів нижча, ніж при примітивному землеробстві: підсічно-вогневе землеробство в басейні р. Конго – 1/65; таке ж землеробство, Нова Гвінея – 1/20; обробіток кукурудзи із застосуванням добрив в Нігерії – 1/10,5; обробіток кукурудзи із застосуванням добрив і використанням сільськогосподарських машин, Філіппіни – 1/5; виробництво кукурудзи в США – 1/2...2,5. Зростання енергоспоживання в сільськогосподарському та іншому виробництві звільняє робочі руки, але різко збільшує енергоспоживання.

Збільшуються і енергетичні витрати на одну людину. Так, зараз витрати енергії на одну людину за добу майже в 60 разів більші, ніж кілька тисяч років тому. Витрата енергії на одну людину в кам'яну добу була близько 4 000 ккал/добу, в аграрному суспільстві – 12 000, в індустріальну епоху – 70 000, а в передових розвинених країнах нині – 230 000...250 000 ккал/добу, тобто в 58...62 разів вище, ніж у наших далеких пращурів.

Пригадаємо при цьому темпи приросту населення і проблема стане ще вагомішою. Протягом багатьох тисячоліть кількість населення на планеті збільшувалася повільно: понад мільйон років знадобився, щоб до 1800 р. вона досягла 1 млрд. осіб. Однак далі темп почав різко зростати: наступний мільярд додався вже за 130 років, третій – за 30, четвертий – за 15 і п'ятий – усього за 12 років! На вересень 2023 р. чисельність населення в світі становить 8 056 715 000 осіб.

На сайті <https://www.worldometers.info/uk/> в режимі реального часу можна слідкувати за приростом населення на планеті, а також витратами води, енергії, викидами, скидами тощо.

У 1850-ті рр. основним джерелом енергії в світі були дрова (85 %) і лише 15 % – вугілля. У 1910 р. в паливному балансі країн світу широко використовували вугілля (65 %), дрова (16 %), рослинні і тваринні відходи (16 %); нафта – всього 3 %, природний газ взагалі практично не застосовували. У 30-х рр. XX ст. в паливному балансі знизилася частка кам'яного вугілля (55 %), значно зросла питома вага нафти (15 %), почали застосовувати природний газ (3 %).

Загальне світове споживання первинної енергії на паливо (2018 р.): нафта (34 %), вугілля (27 %), природний газ (24 %), гідро (поновлювані джерела енергії) (7 %), ядерна (4 %), інші (поновлювані джерела енергії) (4 %).

Відновлювані джерела енергії (ВДЕ) активно заміщують викопні палива. Частка ВДЕ у світовому виробництві електроенергії зросла з 27 % у 2019 році до 29 % у 2020 році, що є найбільшим щорічним приростом.

Ще на початку XX ст. ніхто не задумувався про запаси корисних копалин. Нині ж підраховані терміни вичерпання основних видів світових запасів *розвіданих* енергоресурсів: вугілля – 200 (400 за іншими даними) років, нафта, природний газ, ядерне паливо – по 35...50 років.

Згідно даних Світової енергетичної ради (заснована у 1920 р.) *енергетичні ресурси Землі* включають 16 видів (табл. 1.1), які поділяють на взаємопов'язані групи:

1. За природою енергоутворення: відновлювані і невідновлювані.

2. За рівнем і масштабами використання: традиційні і нетрадиційні (альтернативні).

Таблиця 1.1 – Класифікація енергоресурсів Землі

Невідновлювані	1. Вугілля.	Традиційні
	2. Сира нафта і природний газовий конденсат.	
	3. Важка нафта, горючі сланці.	
	4. Природний газ.	
	5. Уран.	
	6. Ядерна енергія.	
	7. Торф.	
Відновлювані	8. Дрова.	Нетрадиційні
	9. Гідроенергія.	
	10. Біомаса (за винятком дров).	
	11. Сонячна енергія.	
	12. Геотермальна енергія.	
	13. Вітрова енергія.	
	14. Енергія припливів.	
	15. Енергія хвиль.	
	16. Теплова енергія океанів.	

Невідновлювані – не здатні до самовідновлення або відновлюються в сотні і тисячі разів повільніше, ніж використовуються (всі види викопного палива тощо). Ці види ресурсів мають скінченні запаси і практично не відновлюються на Землі, їх поповнення неможливе із-за відсутності умов, при яких вони виникли мільйони років тому.

Відновлювані – відновлення їх постійно здійснюється в природі і вони існують на основі постійних чи періодично виникаючих у природі потоків енергії.

Вугілля, викопне вугілля – тверда осадова порода, горюча копалина, утворена вуглефікацією рослинних залишків під дією тиску та високих температур без доступу кисню.

Сира (видобувна) нафта – суміш нафти, газу, мінералізованої води, механічних домішок та інших супутніх компонентів, безпосередньо видобута з пласта.

Газовий конденсат – суміш рідких вуглеводнів (C_5H_{12} і вищі), що виділяється з природних газів при експлуатації газоконденсатних покладів в результаті зниження температури і пластового тиску.

Важка нафта – нафта з високою в'язкістю і густиною, розробка покладів аномально в'язких нафт ускладнена.

Горючі сланці – тверді горючі корисні копалини, осадові (глинисті, вапнякові та піщанисті) гірські породи, що містять 10...50 %, рідше до 60 % органічної речовини (керогену). Зазвичай це рештки найпростіших водоростей.

Сланцевий газ і нафтоподібну рідину, умовно звану сланцевою нафтою, добувають із горючих сланців. Загальні запаси горючих сланців у світі становлять близько 650 трлн тонн.

Природний газ – це суміш газоподібних вуглеводнів (метану, етану, пропану, бутану тощо).

Уран – радіоактивний хімічний елемент, що використовують як ядерне паливо в ядерних реакторах.

Ядерна енергія (атомна енергія) – внутрішня енергія атомних ядер, що виділяється при деяких ядерних перетвореннях. Використовують ядерні реакції поділу урану, торію, плутонію тощо.

Торф – порода рослинного походження, утворена протягом тисяч років із недорозкладених рослинних залишків (трав, мохів та деревини), які внаслідок високої вологості та поганого доступу повітря частково (приблизно на 50 %) мінералізувалися.

Видобуток *вугілля* пов'язаний із руйнуванням гірських масивів над виробками, просіданням землі, осушенням водоносних горизонтів, засоленням та забрудненням ґрунтів, ґрунтових і поверхневих вод, утворенням техногенних ландшафтів із порушених земель та териконів відходів, ерозією ґрунтів тощо.

При видобуванні з надр *нафти і газу* під землею утворюються пустоти, що може призвести до просідань землі, а деколи й до обвалів. Хронічні розливи нафти, нафтопродуктів, солоних пластових вод, що виносяться експлуатаційними свердловинами разом із нафтою і газом, призводять до зменшення продуктивності земель, деградації ландшафтів, загибелі живих

організмів. Вплив нафтопроводів на ґрунтовий покрив виявляється в його механічному порушенні під час будівництва та ремонтних робіт трубопроводів, а також у хімічному забрудненні ґрунтів у разі аварій. Надзвичайно несприятливим є вплив нафти і нафтопродуктів на існування гідробіонтів.

Видобуток урану є причиною руйнування величезних територій, утворення великих запасів непридатної для експлуатації уранової руди, величезних хвостосховищ із отруйними стічними водами. Ядерний паливний цикл продукує парникові гази.

Теплові електростанції, які виробляють електричну енергію, використовуючи різні викопні палива – вугілля, природний газ, мазут тощо, викидають в атмосферу забруднювальні речовини (табл. 1.2).

Таблиця 1.2 – Забруднювальні речовини від теплових електростанцій

Паливо	Забруднювальні речовини							
	попіл	сажа	H ₂ O	CO ₂	CO	SO ₂	NO	NO ₂
Природний газ	–	–	+	+	+	–	+	+
Мазут	+	+	+	+	+	+	+	+
Вугілля	++	+	+	+	+	+	+	+

Так, під час спалювання 1 т вугілля в атмосферу потрапляє до 23 кг попелу, 15 кг оксиду сірки (IV) і значна кількість сажі. Теплові електростанції світу щороку викидають 120 млн. т попелу і приблизно 60 млн. т оксиду сірки.

Також виділяються інші продукти згоряння палива: ртуть, свинець, бензпірен. Забруднення атмосфери свинцем зумовлено в основному спалюванням рідкого і твердого палива.

Значною проблемою є забруднення атмосфери автомобільними викидами, що містять продукти неповного згоряння палива, у тому числі і компоненти тетраетилсвинцю.

Також при спалюванні палива відбувається теплове забруднення, яке потрапляє в довкілля з димовими газами, охолоджуючою водою, частково в системі попело- і шлаковидалення.

Запитання для самоперевірки

1. Назвіть основні види традиційних енергоресурсів.
2. Охарактеризуйте традиційні енергоресурси.
3. Які екологічні проблеми виникають під час їх видобування?
4. Які екологічні проблеми виникають в традиційній енергетиці?
5. Охарактеризуйте вплив поллютантів викидів традиційної енергетики на довкілля та людину.

Тема 2. Енергетичні ресурси України. Енергоресурси країн Європейського Союзу: загальні запаси, розподіл по країнах, проблема енергозалежності від країни-агресорки

Україна має значні запаси кам'яного (Донецький та Львівсько-Волинський басейни) і бурого вугілля (Дніпровський басейн); невеликі родовища нафти і

природного газу розташовані в Прикарпатті і на північному сході країни. Ці енергетичні ресурси можуть використовувати на ТЕС, (Вуглегірська, Криворізька, Бурштинська, Змієвська, Курахівська і інші).

На Дніпрі побудований каскад ГЕС (Каховська, Дніпровська, Канівська, Київська тощо). Також електроенергію генерують АЕС (Рівненська, Хмельницька, Запорізька, Південно-Українська).

Основні запаси урану зосереджені в Кіровоградському урановорудному районі (оцінювані запаси понад 100 тис. т.); а також у Центральноукраїнському урановорудному районі.

Власні паливні ресурси забезпечують близько 60 % потреб України, іншу їх частину імпортують.

В останні роки зросла частка відновлюваних джерел енергії (переважно біопаливо та відходи).

Вугілля в Україні при нинішніх темпах видобутку вистачить на більш, ніж на 1 000 років, урану – майже на 300 років, газу та нафти – на пів століття.

У значної частини ресурсів, що залишились, ускладнений або занадто дорогий процес видобування.

Європа має досить різноманітні ресурси паливної, мінеральної та енергетичної сировини.

Особливості ресурсозабезпечення Європи можна пояснити трьома факторами:

- це відносно невелика територія, отже, обсяги природних ресурсів відносно незначні;
- Європа – один із найгустонаселеніших регіонів у світі, тому ресурси використовують досить активно;
- європейці одними із перших у світі пішли шляхом промислового розвитку, що призвело не тільки до значного виснаження всіх видів ресурсів, а й до погіршення стану навколишнього природного середовища. Відповідно цей регіон більше інших у світі потребує імпорту ресурсів.

Серед паливних ресурсів провідне місце належить *вугіллю*. Із загальних ресурсів вугілля приблизно 60 % припадає на кам'яне і 40 % на буре вугілля. Понад 90 % усіх вугільних ресурсів знаходяться у північній півкулі (головним чином на північ від 30° пн. ш.). Найбагатшими на вугілля є Азія, Північна Америка та Європа. У Європі поклади кам'яного і бурого вугілля – 20 % світового запасу.

Серед країн найбільші запаси вугілля мають РФ, США, КНР (80 % загальних запасів). Великі запаси мають Німеччина, Великобританія, Канада, ПАР. Більша частина запасів зосереджена в економічно розвинутих країнах. Із країн, що розвиваються, значні поклади є у Індії, Ботсвані. Всього запаси вугілля розвідані у 75 країнах світу.

Значна частина світових запасів вугілля сконцентрована у 10 найбільших басейнах. Найбільшими басейнами у світі є Апалачський (США), Рурський (Німеччина), Верхньосілезький (Польща), Кузнецький, Кансько-Ачинський, Фушунський (Китай).

Найбільші кам'яно-вугільні басейни Європи: Нижньорейнсько-Вестфальський (Рурський), Саарський, Ахенський, Крефельдський (ФРН), Донецький (Україна), Південно-Уельський, Йоркширський, Південно- і Північно-Шотландський (Велика Британія), Лотарінгський, Нор-Па-де-Кале (Франція), Верхньосілезький, Люблінський (Польща), Остравсько-Карвінський (Чехія), Добруджанський (Болгарія), Шпіцберген (Норвегія), Астурійський (Іспанія).

Завдяки відносній дешевизні видобутку, високій калорійності, зручності у використанні важливе значення мають *нафта і газ*. Сьогодні запаси нафти оцінюють приблизно у 140 млрд. т. Розвідані запаси природного газу у світі досягли 135 трлн. м³.

Розміщення запасів нафти і газу в світі дуже нерівномірне. Якщо в економічно розвинутих країнах забезпеченість розвіданими запасами нафти становить усього 10 – 12 років, то у країнах, що розвиваються, у середньому 80 років, а у країнах Близького та Середнього Сходу навіть 120 – 180 років.

Основні запаси нафти (105 млрд. т) зосереджені у країнах ОПЕК. Найбільші запаси нафти мають Саудівська Аравія, Іран, Кувейт, Ірак, Росія. Значні запаси нафти є у Південно-Східній Азії (Індонезія, Малайзія), Африці (Алжир, Лівія, Нігерія), Латинській Америці (Венесуела, Мексика, Колумбія, Еквадор). Є великі запаси нафти у Північному морі.

Запасів нафти і газоконденсату в Європі – 2,3 – 6 % від загальносвітових.

Найзначніші запаси нафти у Великій Британії і Норвегії (газу – також і у Нідерландах).

Поклади природного газу часто збігаються з покладами нафти. Найбільші вони у рф, Ірані, Туркменистані, країнах Близького Сходу, США, Канаді, Індонезії. При цьому в країнах ОПЕК зосереджено 20 %, а у країнах СНД – 35 % світових запасів газу.

Запасів природного газу в Європі – 4,6 % від загальносвітових.

Серед багатьох тисяч родовищ нафти і природного газу особливе місце займають родовища-гіганти із запасами понад 1 млрд. т нафти та 1 трлн. м³ газу у кожному.

Таких гігантських родовищ нафти у світі всього близько 50.

Газових родовищ-гігантів у світі близько 20, однак містять вони понад 70 % усіх запасів.

Серед найбільших нафтогазоносних басейнів у першу чергу слід виділити Західно-Сибірський, Перської затоки, Сахарський, Західно-Канадський, Мексиканської затоки, Техаський, Суматринський, Волго-Уральський, Північноморський, Орінокський, Аляскінський.

Уран поширений у земній корі. Однак економічно вигідно розробляти тільки родовища з вмістом урану не менше 0,1 %, таких запасів. Найбільші запаси мають Австралія, Канада, ПАР, Казахстан, рф, Нігер, Бразилія, Намібія.

Загальні підтверджені запаси урану на Європейському континенті – 93,84 тис. т (3,7 % світових). При цьому найбільші запаси урану в Україні (1,9 % світових), є в Іспанії, Швеції, Словенії.

Найбільші запаси *торфу* – у рф (Західний Сибір та північні райони Європейської частини), Ірландії, Німеччині, Польщі, Канаді, Фінляндії.

Наявність значних природних ресурсів на території рф та їх активних експорт у країни Європейського Союзу зумовили досить потужну енергозалежність від країни-агресорки. Через це в ЄС останніми роками проводять активну політику щодо ліквідації цієї залежності.

Запитання для самоперевірки

1. Охарактеризуйте особливості розподілу викопного палива територією України.
2. Проаналізуйте темпи вичерпання викопного палива в країні.
3. Проаналізуйте структуру енергетичного балансу країни.
4. Як ви можете охарактеризувати темпи розвитку потужностей ВДЕ в Україні?
5. Які особливості розподілу енергоресурсів по території країн Європейського Союзу?

Тема 3. Законодавство України щодо альтернативної енергетики. Директиви Європейського Союзу щодо відновлюваної енергетики

В Україні прийняті такі закони в енергетичній сфері: Про альтернативні джерела енергії (2003 р., зі змінами 2009...2019 рр.), Про альтернативні види палива (2000 р. зі змінами 2009...2019 рр.), Про енергозбереження (1994 р. зі змінами 1999...2019 рр.), Про внесення змін до деяких законів України щодо удосконалення умов підтримки виробництва електричної енергії з альтернативних джерел енергії (липень 2020 р.) тощо. Також розроблена Енергетична стратегія України на період до 2035 року.

Альтернативна енергетика – сукупність способів отримання, передачі і використання енергії (найчастіше із відновлюваних джерел), які розповсюджені не так широко, як традиційні, але є вигідними для використання і безпечними для довкілля.

Альтернативна енергетика – сфера енергетики, що забезпечує вироблення електричної, теплової та механічної енергії з альтернативних джерел енергії.

Альтернативні джерела енергії – відновлювані джерела енергії, до яких належать енергія сонячна, вітрова, геотермальна, гідротермальна, аеротермальна, енергія хвиль та припливів, гідроенергія, енергія біомаси, газу з органічних відходів, газу каналізаційно-очисних станцій, біогазів, та вторинні енергетичні ресурси, до яких належать доменний та коксівний газ, газ метан дегазації вугільних родовищ, перетворення скидного енергопотенціалу технологічних процесів.

Основними засадами державної політики у сфері альтернативних джерел енергії є:

- нарощування обсягів виробництва та споживання енергії, виробленої з альтернативних джерел, для економного витрачання традиційних паливно-енергетичних ресурсів та зменшення залежності України від їх імпорту;

- покращення екологічної ситуації в Україні (зменшення кількості викидів, скидів і відходів при добуванні та використанні традиційних природних ресурсів; утилізація відходів як джерела для отримання нетрадиційних видів палива тощо);

- науково-технічне забезпечення розвитку альтернативної енергетики, популяризація та впровадження науково-технічних досягнень у цій сфері, підготовка фахівців у навчальних закладах;

- додержання умов раціонального споживання та економії енергії, виробленої з альтернативних джерел;

- залучення вітчизняних та іноземних інвестицій і підтримка розвитку української промисловості у сфері альтернативних джерел енергії тощо.

Особливості використання альтернативних джерел енергії. Використання альтернативних джерел енергії має особливості, зокрема зумовлені природними умовами, а саме:

- залежністю від атмосферних та інших умов довкілля;

- наявністю водних ресурсів малих річок, необхідних для роботи гідроенергетичного обладнання;

- наявністю біомаси, кількість якої залежить від обсягів щорічних урожаїв;

- наявністю геотермальних джерел та свердловин, придатних для виробництва та використання геотермальної енергії;

- наявністю теплових викидів, обсяги яких залежать від функціонування підприємств промисловості;

- періодичністю природних циклів, внаслідок чого виникає незбалансованість виробництва енергії;

- необхідністю узгодження та збалансування періодичності передачі обсягів енергії, виробленої з альтернативних джерел, зокрема передачі електричної енергії в об'єднану енергетичну систему України.

Стимулювання виробництва електричної енергії з альтернативних джерел енергії.

Встановлюють «зелений» тариф – це спеціальний тариф, за яким закупають електричну енергію, вироблену на об'єктах електроенергетики (електричних станціях, генеруючих установках приватних домогосподарств тощо) з альтернативних джерел енергії (крім доменного та коксівного газів, а з використанням гідроенергії – вироблену лише мікро-, міні- та малими гідроелектростанціями).

«Зелений» тариф встановлено на електричну енергію, вироблену з енергії сонячного випромінювання, енергії вітру, біомаси, біогазу, з використанням гідроенергії, геотермальної енергії генеруючими установками, комбінованими вітро-сонячними генеруючими системами, мікро-, міні- та малими гідроелектростанціями тощо).

«Зелений» тариф встановлюють для кожного суб'єкта господарювання, який виробляє електричну енергію з альтернативних джерел енергії, за кожним видом альтернативної енергії та для кожного об'єкта електроенергетики.

«Зелений» тариф отримують множенням роздрібного тарифу для споживачів другого класу напруги на січень 2009 року (0,5846 грн/кВтгод) на коефіцієнт для кожного виду альтернативної енергетики. У результаті виходить 9,2...46 євроцентів/кВтгод залежно від типу енергооб'єкту та дати введення його в експлуатацію.

Законом Про альтернативні джерела енергії прийнята надбавка до «зеленого» тарифу за умови використання обладнання українського виробництва (табл. 3.1).

Таблиця 3.1 – Надбавки до «зеленого» тарифу

Розмір надбавки до «зеленого» тарифу, %	Рівень використання обладнання українського виробництва, %
5	30 та більше, але менше 50
10	50 та більше, але менше 70
20	70 та більше

Єдина компанія в Україні, яка має додаткову надбавку до «зеленого» тарифу (+10 %), це Українська технологічна компанія (за рахунок виробництва на власній матеріальній базі вітчизняного обладнання для біоенергетичних комплексів (Козятинський експериментальний машинобудівний завод)).

Високі тарифи спричинили бум у зеленій енергетиці. 2017 року встановлена потужність ВДЕ в Україні зросла на 30 %, 2018-го – на 66 %, 2019-го – на 200 %, тобто втричі. На кінець весни вона сягнула рівня 7 117 МВт. Близько 80 % зеленої енергетики в Україні припадає на сонячні станції, ще 17 % – на вітряки. Решта – електростанції на біопаливі та біогазі (спалювання відходів рослинництва та тваринництва), геотермальні станції, а також малі гідроелектростанції.

Влітку 2020 р. «зелені» тарифи зменшені встановленням понижувальних коефіцієнтів залежно від виду електростанції (сонячна чи вітрова), потужності і термінів введення в експлуатацію:

- 0,925 – для суб'єктів господарювання, які виробляють електричну енергію з енергії вітру на об'єктах електроенергетики або чергах їх будівництва (пускових комплексах), що введені в експлуатацію з 1 липня 2015 року до 31 грудня 2019 року та складаються з вітроустановок одиничною встановленою потужністю від 2 000 кВт та більше;

- на рівні 0,975 – для суб'єктів господарювання, які виробляють електричну енергію з енергії вітру на об'єктах електроенергетики або чергах їх будівництва (пускових комплексах), що введені в експлуатацію з 1 січня 2020 року;

- на рівні 0,85 – для суб'єктів господарювання, які виробляють електричну енергію з енергії сонячного випромінювання на об'єктах електроенергетики або чергах їх будівництва (пускових комплексах) встановленою потужністю 1 МВт та більше, що введені в експлуатацію з 1 липня 2015 року до 31 грудня 2019 року;

- на рівні 0,925 – для суб'єктів господарювання, які виробляють електричну енергію з енергії сонячного випромінювання на об'єктах електроенергетики або чергах їх будівництва (пускових комплексах) встановленою потужністю до 1 МВт, що введені в експлуатацію з 1 липня 2015 року до 31 грудня 2019 року;

- на рівні 0,975 – для суб'єктів господарювання, які виробляють електричну енергію з енергії сонячного випромінювання на об'єктах електроенергетики або чергах їх будівництва (пускових комплексах) встановленою потужністю 1 МВт та більше, що введені в експлуатацію з 1 січня 2020 року до 31 жовтня 2020 року;

- на рівні 0,7 – для суб'єктів господарювання, які виробляють електричну енергію з енергії сонячного випромінювання на об'єктах електроенергетики або чергах їх будівництва (пускових комплексах) встановленою потужністю від 1 МВт до 75 МВт, що введені в експлуатацію з 1 листопада 2020 року до 31 березня 2021 року;

- на рівні 0,975 – для суб'єктів господарювання, які виробляють електричну енергію з енергії сонячного випромінювання на об'єктах електроенергетики або чергах їх будівництва (пускових комплексах) встановленою потужністю до 1 МВт, що введені в експлуатацію з 1 січня 2020 року;

- на рівні 0,4 – для суб'єктів господарювання, які виробляють електричну енергію з енергії сонячного випромінювання на об'єктах електроенергетики або чергах їх будівництва (пускових комплексах) встановленою потужністю від 1 МВт до 75 МВт, що введені в експлуатацію з 1 квітня 2021 року;

- на рівні 0,4 – для суб'єктів господарювання, які виробляють електричну енергію з енергії сонячного випромінювання на об'єктах електроенергетики або чергах їх будівництва (пускових комплексах) встановленою потужністю 75 МВт та більше, що введені в експлуатацію з 1 листопада 2020 року.

Верховна Рада в прийнятому законі гарантувала, що «зелені» тарифи більше не будуть переглядати.

Термін дії «зеленого» тарифу залишили старим – до кінця 2029 р.

Альтернативні види палива – тверде, рідке та газове паливо, яке є альтернативою відповідним традиційним видам палива і яке виробляють (видобувають) із нетрадиційних джерел та видів енергетичної сировини.

Ознаки альтернативних видів палива:

- повністю виготовлене (видобуте) з нетрадиційних та поновлювальних джерел і видів енергетичної сировини (включаючи біомасу) або є сумішшю традиційного палива з альтернативним, вміст якого має відповідати технічним нормативам моторного палива;

- виготовлене (видобуте) з нафтових, газових, нафтогазоконденсатних родовищ непромислового значення, вичерпаних родовищ, з важких сортів нафти тощо і за своїми ознаками відрізняється від вимог до традиційного виду палива. Якщо таке паливо за своїми ознаками відповідає вимогам до

традиційного виду палива, дія цього Закону поширюється тільки на його виробництво (видобуток) і не поширюється на споживачів палива;

- нормативи екологічної безпеки і наслідки застосування альтернативних видів палива для довкілля і здоров'я людини відповідають вимогам, встановленим законодавством України для традиційних видів палива.

Альтернативні види рідкого палива:

- горючі рідини, одержані під час переробки твердих видів палива (вугілля, торфу, сланців);

- спирти (біоетанол, біобутанол) та отримані на їх основі синтетичні продукти, що можуть використовуватись як паливо або компоненти палива (добавки на основі біоетанолу та біобутанолу), олії, інші види рідкого палива з біомаси (у тому числі біодизель);

- горючі рідини, одержані з промислових відходів, у тому числі газових викидів, стічних вод, виливів та інших відходів промислового виробництва;

- паливо, одержане з нафти і газового конденсату нафтових, газових та газоконденсатних родовищ непромислового значення та вичерпаних родовищ, з важких сортів нафти та природних бітумів, якщо це паливо не належить до традиційного виду.

Альтернативні види газового палива:

- газ (метан) вугільних родовищ, а також газ, одержаний у процесі підземної газифікації та підземного спалювання вугільних пластів;

- газ, одержаний під час переробки твердого палива (кам'яне та буре вугілля, горючі сланці, торф), природних бітумів, важкої нафти;

- газ, що міститься у водоносних пластах нафтогазових басейнів з аномально високим пластовим тиском, в інших підземних газонасичених водах, а також у газонасичених водоймищах і болотах;

- газ, одержаний із природних газових гідратів, та підгідратний газ;

- біогаз, звалищний, генераторний газ у будь-якому стані, біоводень, інше газове паливо, одержане з біомаси; газ у будь-якому стані, одержаний під час переробки твердого палива (кам'яне та буре вугілля, горючі сланці, торф), природних бітумів, важкої нафти, нафтової сировини;

- газ, одержаний з промислових відходів (газових викидів, стічних вод промислової каналізації, вентиляційних викидів, відходів вугільних збагачувальних фабрик тощо);

- стиснений та зріджений природний газ, зріджений нафтовий газ, супутній нафтовий газ, вільний газ метан, якщо вони одержані з газових, газоконденсатних та нафтових родовищ непромислового значення та вичерпаних родовищ і не належать до традиційних видів палива.

Альтернативні види твердого палива:

- продукція та відходи сільського господарства (рослинництва і тваринництва), лісового господарства та технологічно пов'язаних з ним галузей промисловості, а також гранули, брикети, деревне вугілля та вуглиста речовина, вироблені з цієї продукції та відходів, що використовуються як паливо;

- органічна частина промислових та побутових відходів, а також гранули та брикети, вироблені з них;

- торф, а також гранули та брикети, вироблені з нього.

Правопорушеннями у сфері альтернативних видів палива є:

- збут підприємствами-виробниками, юридичними та фізичними особами альтернативних видів палива, що не відповідають вимогам нормативно-правових актів;

- виробництво, збут і споживання традиційних видів палива як альтернативних;

- надання пільг виробникам та споживачам альтернативних видів палива, діяльність яких не відповідає вимогам законодавства про альтернативні види палива;

- невиконання розпоряджень, приписів органів, які здійснюють державний нагляд та контроль за дотриманням чинного законодавства про альтернативні види палива, а також створення перешкод для їх діяльності;

- необґрунтована відмова від надання відповідним органам необхідної інформації щодо виробництва (видобутку) та споживання альтернативних видів палива.

Відповідальність за порушення законодавства про альтернативні види палива: порушення законодавства про альтернативні види палива тягне за собою встановлену законами України дисциплінарну, адміністративну, цивільну чи кримінальну відповідальність.

Зважаючи на обмеженість джерел паливно-енергетичних ресурсів у європейських країнах, активне використання і, як наслідок, їх виснаження, а також екологічні проблеми, пов'язані із застосуванням традиційних видів палива, європейське співтовариство приймає законодавчі акти, спрямовані на покращення ситуації в цих сферах.

По суті, першим основоположним документом, який би регулював використання відновлювальних джерел енергії, була Директива 2009/28/ЄС Європейського Парламенту та Ради щодо стимулювання використання енергії з відновлюваних джерел від 23.04.2009 р., або, як її ще називають «RED – 1». Вона була впроваджена на 10-річний термін, з 2010 до 2020 року.

Положення директиви були розроблені з метою досягти до 2020 року частки споживання енергії у державах-членах ЄС з відновлювальних джерел у 20 %, а також задля заміни 10 % частки споживання транспортом енергії з викопних джерел на енергію з відновлювальних джерел, про що свідчить ст. 3 Директиви 2009 року.

Також було впроваджено поняття «режим надання допомоги», що означає заохочення до використання енергії, що була видобута з відновлюваних джерел допомогою на інвестування; скорочення податків або звільнення від сплати податків; відшкодування податків; зобов'язання використовувати енергію, видобуту з відновлюваних джерел; спеціальні закупівельні ціни та виплати премій.

24 грудня 2018 року набула чинності нова Директива 2018/2001 Європейського Парламенту та Ради «Про сприяння використанню енергії з відновлюваних джерел», так звана «RED – 2». Держави-члени ЄС мали її імплементувати у своє внутрішнє законодавство до 30 червня 2021 року.

Ця Директива сприяє подальшому розвитку відновлюваної енергетики в ЄС, що має на меті також надати більшу впевненість для інвесторів. Її головна мета викладена в статті 3, а саме: «Держави-члени колективно забезпечують те, щоб частка енергії з відновлюваних джерел у валовому кінцевому споживанні енергії Союзу до 2030 року становила щонайменше 32 %».

У Директиві увага сфокусована на таких питаннях:

- удосконалення системи підтримки розвитку відновлюваної енергетики;
- зменшення адміністративних процедур;
- запровадження прозорості та стабільної регуляторної системи щодо споживання відновлюваних джерел енергії;
- стимулювання розвитку відновлюваної енергетики у транспорті;
- підвищення стабільності розвитку біоенергетики.

Задля цього Директива передбачає низку заходів, що сприяють подальшому розвитку відновлюваних джерел енергії у секторах електроенергії, опалення й охолодження та транспорту, аби зменшити на загальному викиди парникових газів, при цьому покращуючи енергетичну безпеку та посилюючи технологічне та промислове лідерство Європи у галузі відновлюваної енергетики та, таким чином, створюючи робочі місця для європейців.

Щодо «критерію сталості», то слід відзначити, що Директива посилює його роль та встановлює додатковий критерій для біопалива.

Також було започатковано ряд положень, які пов'язані із розповсюдженням використання відновлюваної електрики у транспортному секторі. Зокрема, це вбачається можливим через розвиток галузі електричного транспорту, що стало новацією у порівнянні з 2009 роком. Більш того, статтею 25 запроваджено, що «в транспортному секторі кожна держава-член зобов'язує постачальників палива забезпечити, щоб мінімальна частка відновлюваної енергії в кінцевому споживанні енергії в транспортному секторі становила щонайменше 14 % до 2030 року».

Також в ЄС прийнята Директива 2018/2002 «Про енергоефективність», яка встановлює загальну структуру заходів для сприяння енергоефективності в межах Союзу.

Задля припинення залежності від російського викопного палива, котре використовується як економічна і політична зброя, ЄС сформувала ще амбітнішу мету. На пленарному засіданні Європейського парламенту закріплена нова ціль ЄС: 45% відновлюваної енергії до 2030 року.

Європейський зелений курс (англ. The European Green Deal) – це набір політичних ініціатив, висунутих Європейською Комісією із загальною метою зробити Європейський континент кліматично нейтральним до 2050 року. ЄЗК був представлений Президентом Європейської Комісії Урсулою фон дер Ляєн 11 грудня 2019 року в Європарламенті.

10 основних пунктів плану Комісії:

1. «Кліматично нейтральна» Європа. Це головна мета Європейської зеленої угоди. ЄС прагне досягти нульових викидів парникових газів до 2050 року.

Це означає оновлення кліматичних амбіцій ЄС на 2030 рік із скороченням викидів парникових газів на 50 – 55 % замість поточної мети в 40 %.

2. Циклічна економіка (циркулярна, замкненого типу) – модель економічного розвитку, заснована на відновленні та раціональному споживанні ресурсів, альтернатива традиційній (лінійній) економіці. Характеризується створенням нових альтернативних економічних підходів, завданням яких є мінімізація негативного людського впливу на довкілля.

3. Оновлення будівель. Основна мета – принаймні подвоїти або навіть потроїти рівень реконструкції будівель, який зараз становить близько 1 %.

4. Нульове забруднення. Незалежно від того, чи йдеться про повітря, ґрунт чи воду, мета полягає в тому, щоб до 2050 року досягти довкілля, вільного від забруднення.

5. Екосистеми та біорізноманіття. Європа хоче подати приклад за допомогою нових заходів для усунення основних причин втрати біорізноманіття. Це включає заходи щодо боротьби із забрудненням ґрунту та води, а також нову лісову стратегію (ефективне лісонасадження та збереження і відновлення лісів у Європі).

6. Стратегія «Від ферми до столу» спрямована на систему «зеленого та здоровішого сільського господарства». Це включає в себе плани суттєво скоротити використання хімічних пестицидів, добрив і антибіотиків тощо.

7. Транспорт. Електричні транспортні засоби будуть додатково заохочуватися з метою розгортання 1 мільйона громадських зарядних точок по всій Європі до 2025 року. Кожна сім'я в Європі повинна мати можливість керувати своїм електромобілем, не турбуючись про наступну зарядну станцію.

Альтернативні види палива (біопаливо та водень) будуть просуватися в авіації, судноплавстві та важких автомобільних перевезеннях, де електрифікація зараз неможлива.

8. Гроші. Щоб нікого не залишити позаду, Комісія пропонує механізм справедливого переходу, щоб допомогти регіонам, які найбільше залежать від викопного палива.

9. Дослідження, розробки та інновації. Із запропонованим бюджетом у 100 мільярдів євро на сім років (2021 – 2027) програма досліджень та інновацій Horizon Europe сприятиме Зеленій угоді.

10. Зовнішні зв'язки. Дипломатичні зусилля ЄС також будуть мобілізовані на підтримку Зеленої угоди. Один із заходів – це пропозиція щодо прикордонного податку на викиди вуглецю. Оскільки Європа посилює свої кліматичні амбіції, вона очікує, що решта світу також відіграє свою роль.

Запитання для самоперевірки

1. Назвіть особливості використання альтернативних джерел енергії.
2. Охарактеризуйте особливості встановлення «зеленого» тарифу в Україні.

3. Назвіть причини зниження «зеленого» тарифу у 2020 р.
4. Які понижувальні коефіцієнти до «зеленого» тарифу встановлені в країні?
5. У яких випадках передбачені надбавки до «зеленого» тарифу?
6. Які альтернативні види палива ви знаєте?
7. Які види відповідальності за порушення законодавства про альтернативні види палива?
8. Які законодавчі акти Європейського Союзу щодо відновлюваної енергетики вам відомі?
9. Охарактеризуйте основні положення The European Green Deal.

ЗМІСТОВИЙ МОДУЛЬ 2. ГЕЛІО-, ВІТРО-, ГЕОТЕРМАЛЬНА ТА ВОДНЕВА ЕНЕРГЕТИКИ

Тема 4. Геліо- і вітроенергетика: історія розвитку, основні процеси і обладнання, найбільші СЕС та ВЕС у світі, перспективи розвитку в Україні. Досвід ЄС у розвитку сонячної та вітроенергетики

4.1 Геліоенергетика

Сонце складається з водню (~73 % від маси і ~92 % від об'єму), гелію (~ 25 % від маси і ~ 7 % від об'єму) та інших елементів: кисень, вуглець, залізо, неон, азот, кремній, магній, сірка. Середня густина Сонця 1 400 кг/м³. Температура поверхні Сонця близько 6 000 К, у центрі Сонця температура – близько 15 000 000 К.

Сонце щосекунди випромінює $12 \cdot 10^{20}$ кВт·год теплоти. На Землю потрапляє лише частина цієї енергії – близько 10^{18} кВт·год за рік.

Величина сонячної енергії, що потрапляє на Землю, залежить від висоти Сонця над горизонтом, тривалості дня, хмарності, вологості і прозорості атмосфери (рис. 4.1).

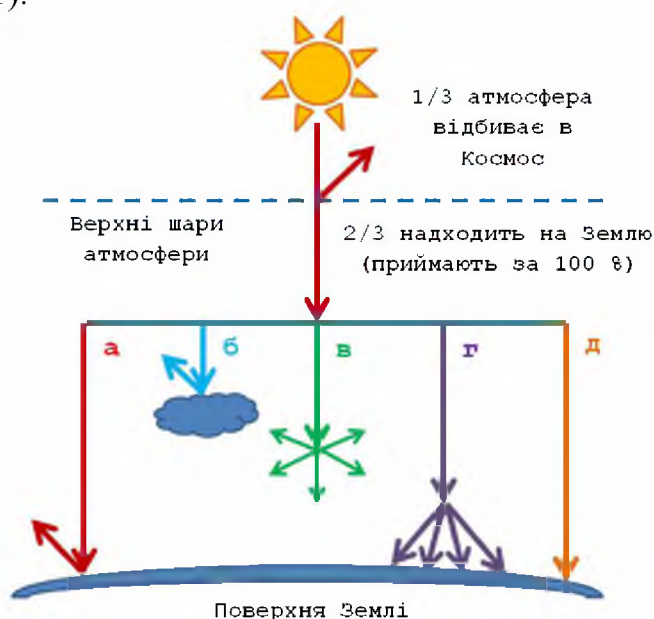


Рисунок 4.1 – Розподіл сонячного випромінювання

Середньорічна кількість сумарної енергії сонячного випромінювання, яка надходить на територію України, перебуває в межах від 1 070 кВт·год/м² в північній частині України до 1 400 кВт·год/м² і вище в АР Крим.

Загальний потенціал сонячної енергії в Україні (сумарна сонячна енергія, що потрапляє на площу регіону протягом року) – $720 \cdot 10^{12}$ кВт·год/рік.

Технічний потенціал сонячної енергії України (сумарна сонячна енергія, що може бути отримана в регіоні від сонячного випромінювання протягом року при сучасному рівні розвитку науки і техніки та дотриманні екологічних норм) – $3,46 \cdot 10^{12}$ кВт·год/рік.

Економічно доцільний потенціал сонячної енергії України – $5,4 \cdot 10^9$ кВт·год/рік.

Сонячна енергетика (геліоенергетика – дав.-гр. ἥλιος, «сонце») – це використання сонячної енергії для отримання електричної або теплової енергії.

Переваги:

1. Загальнодоступність і практична невичерпність джерела енергії (Сонця).
2. Теоретично повна екологічна безпека (хоча є нюанси – див. недоліки).
3. Сонячні батареї мають досить тривалий термін експлуатації без погіршення характеристик.
4. Сонячні батареї безшумні, що вигідно відрізняє їх від вітрових систем.
5. Енергія, що генерується сонячними батареями фактично є безкоштовною (звісно тільки після того, як у сонячну енергосистему вже був вкладений початковий капітал і він окупився).

Недоліки:

1. Досить висока вартість сонячної батареї (з розвитком науки і техніки вартість буде знижуватись).
2. Відносно невисокий ККД сонячних елементів.
3. Сонячні батареї малоефективні взимку, при хмарній і туманній погоді. Через це треба використовувати акумулюючі пристрої для безперебійності в електропостачанні споживачів.
4. Потік сонячної енергії на поверхню Землі залежить від географічної широти і клімату місцевості.
5. Для розміщення потужних електростанцій промислового призначення – потрібні величезні вільні території. Для електростанції 1 ГВт потрібно декілька десятків квадратних кілометрів площі.
6. Поверхні сонячних панелей потрібно періодично очищати від пилу та інших забруднень.
7. З часом ефективність фотоелектричних елементів знижується.
8. Наявність отруйних речовин у складі самих фотоелементів (свинцю, кадмію, галію, миш'яку тощо).

Робота сонячних електроенергетичних установок найчастіше ґрунтується на використанні фотоелектричного і термодинамічного методів.

Фотоелектричний метод – електромагнітне випромінювання оптичного діапазону Сонця перетворюють в електроенергію постійного струму.

Історія фотоелектричних перетворювачів почалась у 1839 р. з відкриття французького фізика Александра Едмона Беккереля ефекту перетворення світла

в електрику. У 1873 році англійський інженер електрик Віллоубі Сміт виявив чутливість селену до світла.

У 1877 році професор королівського коледжу в Англії Вільям Гріллс Адамс і його студент Річард Еванс Дей визначили, що селен під впливом світла виробляє електричний струм.

Американський винахідник Чарльз Фрітц в 1883 році використав покритий золотом селен для виробництва першого сонячного елемента, який мав ефективність 1 %.

Сонячні елементи сучасного типу на основі кремнієвих напівпровідників були запатентовані в 1946 році американським інженером Расселом Олом.

Перші кремнієві сонячні батареї були створені в 1954 році фахівцями компанії Bell Laboratories, а вже в 1958 році супутники з сонячними батареями були запуснені в США (в березні) і в СРСР (у травні).

Застосовують фотоелемент – це електричний пристрій, який перетворює світлову енергію в електричну за допомогою фотоелектричного ефекту.

Фотоелементи виготовляють із різноманітних напівпровідникових матеріалів. Нині використовують для фотоелектричних сонячних елементів такі матеріали: монокристалічний кремній, полікристалічний кремній, аморфний кремній, телурид кадмію, арсенід галію, сульфат кадмію тощо.

Кілька фотоелектричних комірок, електрично з'єднаних між собою і загорнутих у пластик і скло, утворюють модуль. Для жорсткого зв'язку і захисту модулі мають алюмінієву раму. Із модулів утворюють сонячні панелі (рис. 4.2).

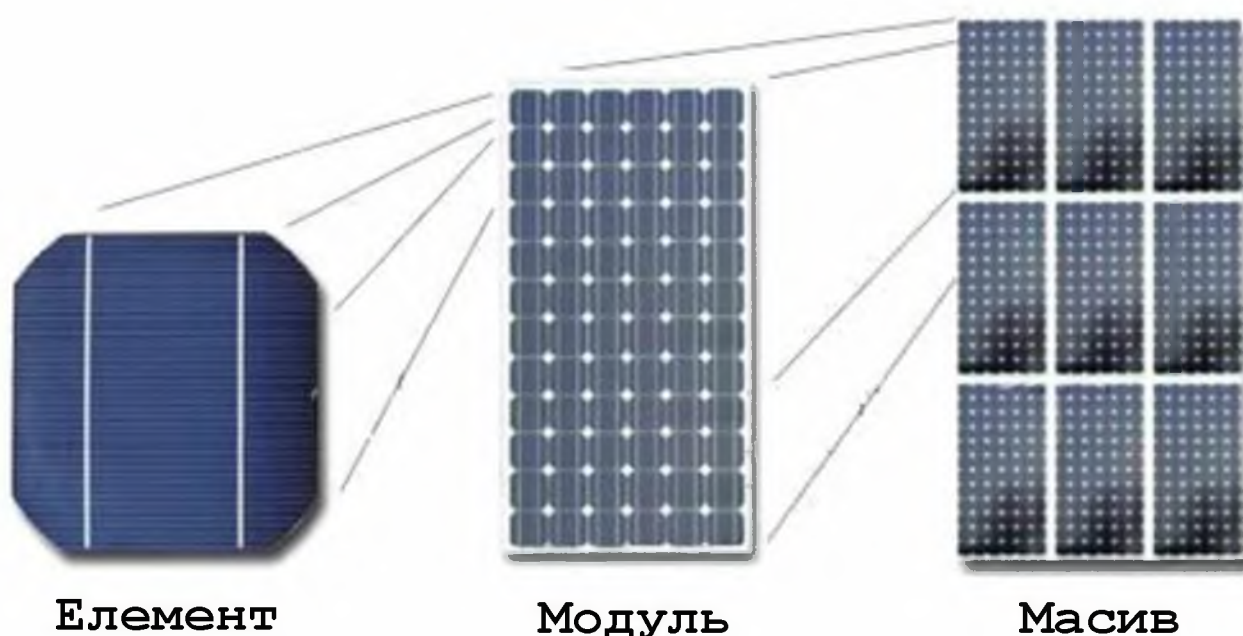


Рисунок 4.2 – Будова сонячної панелі

Електроенергію, отриману із застосуванням фотоелементів, використовують для освітлення, роботи насосів для водозабору, для електромобілів, роботи ноутбуків, калькуляторів, супутників тощо.

Термодинамічний – сконцентровану сонячну енергію використовують для нагрівання води, отримання з неї пари, яку подають на турбогенератор, що виробляє електроенергію.

Також сонячну енергію можна використовувати для безпосереднього отримання тепла без перетворення на електричну. Установки, які збирають, зберігають і передають тепло, називають *сонячними колекторами*. Використовують панель, що складається з трубочок, по яких подають воду. Сонце нагріває воду в трубах до 60...70 °С, гаряча вода накопичується в баку, а звідти надходить для обігріву або гарячого водопостачання.

Найбільші сонячні електростанції (СЕС) у світі: Bhadla Solar Park (Індія) – 2 245 МВт; Huanghe Hydropower Golmud Solar Park (Китай) – 2 200 МВт; Pavagada Solar Park (Індія) – 2 050 МВт; Golmud Desert Solar Park (Китай) – 1 800 МВт; Benban Solar Park (Єгипет) – 1 650 МВт тощо.

У 2019 р. в Європі (ЄС-28) введено в дію 16,7 ГВт сонячних електростанцій. Це на 104 % більше, ніж у 2018. Відповідні дані опублікувала Європейська асоціація сонячної енергетики (ЕАСЕ) в SolarPower Europe «EU market outlook for Solar Power».

Прогноз ЕАСЕ передбачає подальше зростання ринку сонячної енергетики в ЄС. У 2021 році приріст потужностей сонячної генерації був у розмірі близько 22 ГВт, у 2022 році сонячна енергетика виросла на 24,3 ГВт, а в 2023 році очікується приріст на 26,8 ГВт.

Найбільші СЕС в Україні: Нікопольська сонячна електростанція, 246 МВт; Покровська СЕС, 240 МВт; Яворів-1, 72 МВт; Кам'янець-Подільська СЕС, 63,8 МВт; Кілія, Одеська область, 54,8 МВт тощо.

4.2 Вітроенергетика

Вітер – великомасштабний потік повітря. Джерелом енергії вітру є Сонце. Загалом 1...2 % від загальної кількості сонячної енергії перетворюється на енергію вітру.

У метеорології вітри класифікують насамперед за їхньою силою, тривалістю та напрямком. Так, короткі (кілька секунд) та сильні вітри називають поривами. Сильні вітри проміжної тривалості (близько 1 хвилини) називають шквалами. Назви триваліших вітрів варіюють залежно від сили, зокрема такими є бриз, буря, шторм, ураган, тайфун.

Напрямок вітру в метеорології визначають як напрямок, з якого дме вітер. Найпростішим приладом для встановлення напрямку вітру є флюгер. Типовими приладами, безпосередньо призначеними для вимірювання швидкості вітру, є різноманітні анемометри.

Україна має істотний потенціал використання енергії вітру. Найперспективнішими є південні та південно-східні регіони країни, Карпати, де середня швидкість вітру вища, ніж на іншій території. Найвищий вітроенергетичний потенціал мають узбережжя Чорного та Азовського морів, Південний берег Криму, вершини Українських Карпат, Кримських гір, також область Донбасу.

Сумарна площа, на якій доцільно одержання електричної енергії від вітроустановок, становить близько 20 % всієї площі України.

Вітроенергетика – галузь відновлюваної енергетики, яка використовує кінетичну енергію вітру.

Переваги:

1. Використання поновлюваного, доступного джерела енергії.
2. Відсутність забруднення навколишнього середовища.
3. Територія в безпосередній близькості може бути повністю використана для сільськогосподарських цілей.
4. Просте обслуговування, швидка установка, низькі витрати на технічне обслуговування та експлуатацію.

Недоліки:

1. Непостійність швидкості вітру, а отже і енергії, в часі. Вітер характеризується добовою, річною і сезонною мінливістю.
2. Вітряні енергетичні установки виробляють два різновиди шуму:
 - механічний шум від роботи механічних та електричних компонентів;
 - аеродинамічний шум від взаємодії вітрового потоку з лопатями установки.
3. Низькочастотні коливання, які передаються через ґрунт, викликають брязкіт віконного скла у будинках на відстані до 60 м до вітроустановок мегаватного класу.
4. Взимку при високій вологості повітря можливе утворення крижаних наростів на лопатях. При запуску вітроустановки можливе розлітання льоду на значну відстань.
5. Загроза для кажанів і птахів. Популяції кажанів, що проживають поряд із вітроелектростанціями значно більше страждають від них, порівняно з птахами.
6. Металеві споруди вітроустановки, особливо елементи в лопатях, можуть викликати значні перешкоди в прийомі радіосигналу.
7. Несприятливий візуальний вплив на деяких людей.

У більшості випадків вітроустановки поділяють за встановленою потужністю на три групи: малої (до 100 кВт), середньої (від 100 кВт до 1 МВт) і великої (понад 1 МВт)

Вітроенергетична система спершу перетворює енергію вітру в механічну, а потім при необхідності в електричну.

За функціональним призначенням вітроустановки бувають:

- мережеві – крупні вітроелектростанції (ВЕС) підключають до загальної електромережі;
- автономні – малі ВЕС використовують для електрозабезпечення віддалених районів;
- призначені для виконання механічної роботи

Для виробництва електроенергії застосовують лопатеві (найчастіше трилопатеві) агрегати із вертикальною або горизонтальною віссю обертання. Близько 95 % становлять пристрої з горизонтальною віссю.

Станції, збудовані у водоймах, зазвичай у морі чи океані, називають офшорними (offshore з англійської – «поза межами», «поза берегом»).

Основні конструктивні елементи вітрової установки зображено на рис. 4.3.

Розвиток вітроенергетики в країнах Євросоюзу: на початку 2020 років у Данії за допомогою вітрогенераторів було вироблено 48 % всієї електрики, в Ірландії – 33 %, в Португалії – 27 %, в Німеччині – 26 %, у Великобританії – 22 %, в Іспанії – 21 %, в ЄС в цілому – 15 %.

Найбільша вітрова електростанція у світі має потужність 7 965 МВт, це комплекс вітроелектростанцій Ганьсу в Китаї.

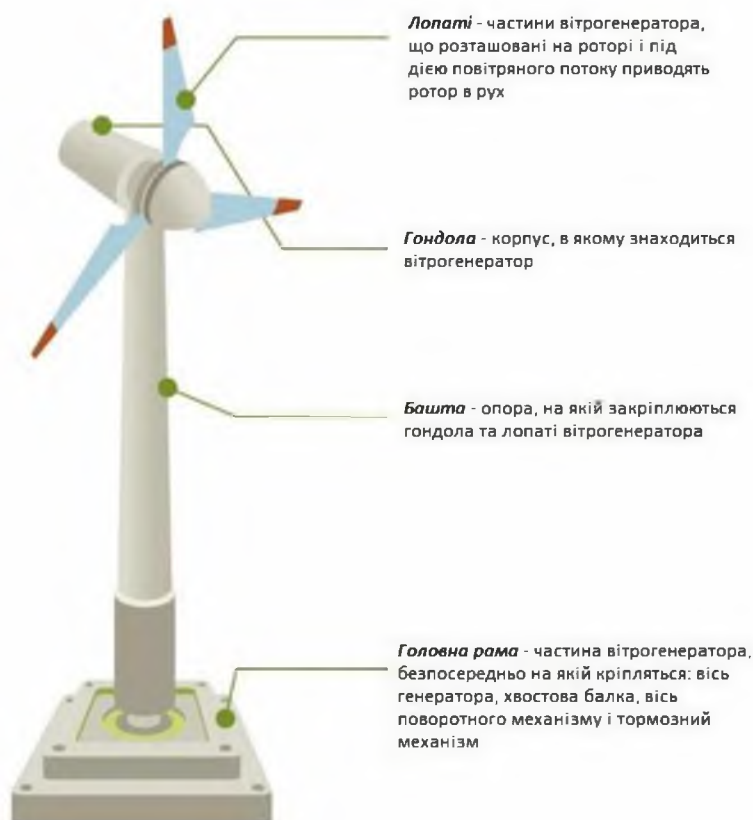


Рисунок 4.3 – Основні елементи вітроустановки.

Найбільші ВЕС в Україні:

Ботієвська ВЕС – найбільша вітрова електростанція України, яка розташована поблизу села Приморський Посад Приазовського району Запорізької області. Рік запуску – 2012. Встановлена потужність 200 МВт.

Приморська ВЕС – рік запуску 2019, потужність 200 МВт. Село Борисівка Запорізька обл.

Дмитрівська ВЕС – рік запуску 2011, потужність 35 МВт. Село Дмитрівка Миколаївська обл.

ВЕС Старий Самбір-1 і 2 – рік запуску 2015 і 2017, потужність 13,2 і 20,7 МВт. М. Старий Самбір Львівська обл.

Запитання для самоперевірки

1. Назвіть переваги розвитку геліоенергетики.

2. Охарактеризуйте проблеми розвитку геліоенергетики.
3. Будова сонячних панелей.
4. Що таке сонячні колектори?
5. У чому полягають переваги вітроенергетики?
6. Які проблеми є при експлуатації вітроустановок?
7. Чи є загроза для тварин при функціонуванні вітрогенераторів?
8. Основні елементи вітроустановок.
9. Охарактеризуйте розвиток сонячної та вітрової енергетики в Україні, країнах Євросоюзу, в світі в цілому.

Тема 5. Геотермальна та воднева енергетика: історія розвитку, основні процеси і обладнання, найбільші ГеоТЕС, ГеоЕС у світі, досвід ЄС, перспективи розвитку в Україні. Воднева стратегія ЄС

5.1 Геотермальна енергетика

Геотермальна енергія – це енергія тепла Землі.

Геотермальна енергія, акумульована в перших десятих кілометрах земної кори досягає 137 трлн т у.п., що в 10 разів перевищує геологічні ресурси всіх видів палива разом узятих.

Сьогодні близько 90 країн світу мають значний потенціал для геотермальних технологій, 24 з них використовують їх на практиці.

Господарське застосування геотермальних джерел поширене в США, Мексиці, Кенії, Індонезії, Філіппінах, країнах Євросоюзу (Ісландії, Італії) тощо.

Геотермальна енергія в Україні має значні потенційні ресурси. Районами її можливого використання є Крим, Закарпаття, Миколаївська, Одеська, Херсонська, Харківська, Полтавська та Чернігівська області.

Найперспективнішим для видобутку високопотенційних енергоресурсів є Карпатський геотермічний район. Температура в свердловинах, пробитих в Карпатах на глибині 4 км, сягає 210 °С. Робочі температури теплоносія для геотермальних електростанцій досягаються на глибинах значно менших (на 1...1,5 км), ніж у інших сприятливих місцях. Максимальному геотермічному максимуму відповідає площа Залуж, розташована в центрі Закарпатського геотермоенергетичного району. Температури на різних глибинах дорівнюють: 500 м – 40...50 °С; 1 000 м – 68,4...78,3 °С; 1 500 м – 87...105 °С; 2 000 м – 108,8...121 °С.

Другим перспективним районом для розвитку геотермальної енергетики є Крим. Глибини пробитих свердловин тут невеликі: 1 100...1 200 м; температура термальних вод 50...70 °С. Прошарковий тиск низький, тому дебіт свердловин обмежений. Через це інтенсивне освоєння геотермальної енергії Криму можливе з використанням гідроциркулюючих систем. Нині низькопотенційні геотермальні енергоресурси Криму використовують для різних цілей теплопостачання.

Третім перспективним геотермоенергетичним районом є Східно-Українська геотермальна провінція, що включає області: Чернігівську, Полтавську, Харківську, Луганську, Херсонську.

Геотермальна енергетика ґрунтується на використанні теплової енергії надр Землі для опалення чи гарячого водопостачання або для виробництва електроенергії на геотермальних електростанціях.

Переваги:

1. Практична невичерпність.
2. Повна незалежність від умов навколишнього середовища, часу доби і року.
3. Коефіцієнт використання встановленої потужності ГеоТЕС може досягати 80 %, що недосяжно для будь-якої іншої галузі альтернативної енергетики.
4. Відносно екологічно чисті.
5. Порівняно низька трудомісткість експлуатації.

Недоліки:

1. Дороговартісне будівництво при низьких експлуатаційних витратах (через витрати на розвідку, буріння, використання обладнання, здатного витримувати високі температури тощо).

2. У термальних водах міститься велика кількість солей різних токсичних металів (свинцю, цинку, кадмію), неметалів (бору, миш'яку) і хімічних сполук (аміаку, фенолів), що може бути джерелом забруднення навколишнього середовища.

3. Відпрацьовану воду необхідно закачувати назад в підземні водоносні горизонти для того, щоб тиск у водоносному шарі не впав, що призведе до зменшення вироблення геотермальної станції або її повної непрацездатності. На це потрібні витрати енергії.

4. Видобуток термальної води з водоносних пластів може спричинювати просідання і переміщення ґрунту, деформації геологічних шарів.

5. Часто споруди геотермальної енергетики розташовані в сейсмічно активних зонах, тому буріння свердловин тощо додатково впливають на гірські породи, що може викликати землетруси.

Вартість енергії залежить від особливостей конкретного родовища:

- геотемпературного градієнта;
- глибини залягання;
- геологічних і географічних умов;
- ступеню розвитку господарської і економічної інфраструктури регіону;
- розміру розвіданих запасів тощо.

За способом вилучення теплоносія:

1. Традиційні:

- фонтанні – самовилив геотермального теплоносія за рахунок тиску в надрах землі;

- насосні – використовують, коли тиск недостатній для фонтанування.

2. Геоциркуляційні – охолоджений геотермальний теплоносій закачують назад під землю.

За типом використовуваних ресурсів є:

1. Гідротермальні:

- водяні;
- пароводяні;
- парові.

2. Петрогеотермальні – розігріті гірські породи.

З усіх видів геотермальної енергії мають найкращі економічні показники гідрогеотермальні ресурси – термальні води, пароводяні суміші і природна пара.

До *теплоенергетичних вод* належать:

- низькопотенційні води з температурою 35...70 °С, що використовують головним чином для технологічних цілей, у рибництві, закачування до нафтових пластів;

- середньопотенційні з температурою 70...100 °С, що застосовують для теплопостачання промислових, сільськогосподарських та комунально-побутових об'єктів;

- високопотенційні з температурою понад 100 °С, які теж широко використовують для теплопостачання, а при температурі 150...160 °С та більше – і для вироблення електроенергії.

Геотермальні електростанції отримують тепло Землі бурінням парових або водяних свердловин, використовують дану енергію для нагрівання води або будь-якого іншого типу рідини. Потрібно це для того, щоб обертати генераторні турбіни, що виробляють енергію, яка потім розподіляється серед споживачів. Далі рідина охолоджується за допомогою конденсатора і повертається на землю.

Використання *петрогеотермальних джерел* доцільно в тих районах земної кори, де немає термальних вод. Використання таких джерел теплової енергії пов'язано з бурінням нагнітальної свердловини, в яку під високим тиском подають воду в природні пористі пласти чи зони тріщинуватості. Протікаючи через ці пласти вода відбирає тепло із порід і вилучається через добувну свердловину. Отримане тепло використовують для опалення чи генерації електроенергії. Після цього відпрацьований теплоносієм знову подають у нагнітальну свердловину.

Станом на початок 2020-х років у світі працювало всього 22 петрогеотермальні електростанції, значна частина яких зосереджена в Європі.

Сумарна потужність діючих ГеоТЕС (теплових) і ГеоЕС (електричних) у світі становить близько 85 ГВт, з яких приблизно 15 % припадає на виробництво електрики, а решта – на виробництво теплової енергії.

Перше місце по виробленню електроенергії з гарячих гідротермальних джерел займає США. У долині Великих Гейзерів (штат Каліфорнія) діє 22 станції, потужністю понад 1,5 ГВт.

«Країна льодовиків», так називають Ісландію, ефективно використовує гідротермальну енергію своїх надр. Тут відомо понад 700 термальних джерел, які виходять на земну поверхню. Близько 60 % населення користується геотермальними водами для обігріву житлових приміщень, а в найближчому майбутньому планується довести це число до 80 %. При середній температурі

води 87 °С річне споживання енергії гарячої води становить 15 млн. ГДж, що рівноцінно економії 500 тис. т кам'яного вугілля на рік. Крім того, ісландські теплиці, в яких вирощують овочі, фрукти, квіти і навіть банани, споживають щорічно до 150 тис. м³ гарячої води, тобто понад 1,5 млн. ГДж теплової енергії.

Першу геотермальну систему в Україні збудовано у 1988 р. на території с. Іллінки Сакського району Криму.

Станом на 2016 р. в Україні введено 11 геотермальних установок.

5.2 Воднева енергетика. Воднева стратегія ЄС

Воднева енергетика – це галузь енергетики, яка ґрунтується на використанні водню як засобу для акумулювання, транспортування, виробництва і споживання енергії населенням, транспортом та виробництвом.

Термін «воднева енергетика» був запропонований Джоном Бокрісом під час лекції, яку він прочитав у 1970 році в Технічному центрі General Motors (GM).

Водень є найпоширенішим елементом у Всесвіті (на його частку припадає 88,6 % всіх атомів), він основна складова зірок і міжзоряного середовища. На Землі це десятий за розповсюдженістю елемент за масовою часткою.

Важливість такої форми отримання енергії обумовлена наступним:

1. Водень має дуже високу енергоємність, яка в 3...5 разів перевищує енергоємність бензину і нафти.

2. Водень не забруднює атмосферу, оскільки єдиний побічний продукт при його спалюванні – це вода:



3. Продукт (водень) можна зберігати.

4. Водень можна отримувати із різноманітних природних ресурсів, зокрема і відновлюваних. Використовують природний газ, нафту, вугілля, органічні відходи, біогаз, воду (у т.ч. морську, стічну).

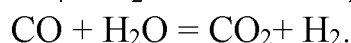
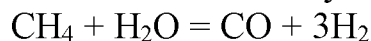
Недоліки:

1. Водень практично не зустрічається на Землі у вільному вигляді. Тож водень не є готовим до використання джерелом енергії: для того щоб отримати H₂ у чистому вигляді, необхідно спочатку витратити певну кількість енергії, щоб його отримати, що потребує значних коштів і може бути не завжди екологічним.

2. Водень під час тривалого контакту з металом робить його крихким (через 10...20 років), тому є проблеми із транспортуванням трубопроводами.

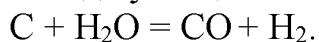
Є такі *способи виробництва водню*:

1. Парова конверсія (паровий риформінг) природного газу (метану): водяну пару при температурі 700...1 000 °С змішують із метаном під тиском у присутності каталізатора (нікель). Це найпопулярніший і найдешевший спосіб отримання водню (90...95 % водню так нині добувають). Є кілька етапів:



2. Газифікація вугілля – це найстаріший спосіб отримання водню (вперше був використаний у Великій Британії у 40-х роках XIX ст.). Вугілля нагрівають

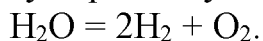
з водяною парою при температурі 800...1 300 °С без доступу повітря. Крім водню також утворюється моноксид вуглецю.



3. Біологічний спосіб – буде розглянуто в наступних темах.

4. Термохімічний спосіб отримання водню із біомаси (газифікація біомаси) – біомасу (відходи деревини тощо) нагрівають без доступу кисню до температури 500...800 °С. Утворюються водень, моноксид вуглецю, метан.

5. Електроліз води – розкладання води на кисень і водень внаслідок пропускання електричного струму через воду.



6. Термохімічне розкладання води при високих температурах (отриманих від використання геліоенергетики або непотрібного тепла ядерно-енергетичних реакцій).

Використовують терміни «зелений» і «синій» водень.

«Зелений» водень – отриманий електролізом води за допомогою альтернативних джерел електроенергії (вітрової, геліо- тощо енергетики). У деяких країнах ЄС створюють вітропарки та сонячні електростанції спеціально для генерації водню.

Воднева енергетика може бути хорошим рішенням для роботи з нестабільною і непостійною сонячною та вітровою енергією. У пікові години генерації її надлишок електролізом можна перетворювати на водень, а в періоди найбільшої потреби – генерувати з нього електроенергію.

«Синій» водень виробляють із викопного вуглецевого палива. Зокрема, з природного газу, основну частину якого (70...98 %) становить метан.

Водень може бути використаний як паливо для будь-яких транспортних засобів, для задоволення енергетичних потреб будівель і як живлення для побутової техніки.

Ефективним і екологічно доцільним є використання водню у *паливних елементах*. Це електрохімічний генератор, який забезпечує пряме перетворення хімічної енергії, яка виділяється при реакції між воднем і киснем з утворенням води, на електричну. Паливні елементи мають високий ККД, компактні, кінцевий продукт – лише вода.

8 липня 2020 р. у Брюсселі було презентовано Водневу стратегію ЄС (EU Hydrogen Strategy). Вона передбачає широке використання водню як енергоносія для тих галузей, які не можна електрифікувати, і має на меті доведення до нуля викидів вуглекислого газу промисловими об'єктами, транспортом, енергетикою, будівництвом та ін.

Пріоритетом для ЄС названо виробництво водню, що виробляють електролізом за рахунок відновлюваних джерел енергії, переважно енергії вітру та сонця.

Для його виробництва в ЄС з 2020 по 2024 рік заплановано встановити електролізери загальною потужністю не менше 6 ГВт, які мають виробляти до одного мільйона тонн водню на рік.

З 2025 по 2030 рік планується довести потужність електролізерів в ЄС до 40 гігават, а річне виробництво водню до 10 млн. тонн.

До 2050 року виробництво і застосування водню має зрости ще більше. До 2050 року близько 20 % відновлюваної електроенергії може бути використано для виробництва відновлюваного водню.

Воднева стратегія ЄС передбачає, що загальний обсяг інвестицій у відновлюваний водень у Європі може скласти від 180 до 470 млрд. євро до 2050 року. За підрахунками аналітиків, до 2050 року водень може забезпечити до 24 % світової потреби в енергоресурсах, його щорічні продажі становитимуть 630 млрд. євро.

З метою реалізації Водневої стратегії Єврокомісія створила Європейський альянс з чистого водню (European Clean Hydrogen Alliance), куди увійшли підприємства, громадські організації, міністерства і Європейський інвестиційний банк. Презентація цього альянсу відбулася 8 липня 2020 р.

Важливою частиною Водневої стратегії ЄС є міжнародна співпраця. ЄС має намір розвивати взаємодію щодо відновлюваної електроенергії та чистого водню із сусідніми країнами та регіонами, щоб сприяти їх переходу до чистої енергії та сталого розвитку. З урахуванням природних ресурсів, взаємопов'язаності інфраструктури та технологічного розвитку пріоритетними партнерами ЄС у цій справі названо країни Східного та Південного партнерства, причому окремо названо Україну. За оцінками Єврокомісії, до 2030 року в країнах Східного та Південного партнерства потенційно можна буде встановити електролізери для виробництва водню загальною потужністю 40 ГВт. Важливо, що цей водень має вироблятися за рахунок відновлюваних джерел енергії.

У країнах ЄС почали низку пілотних проєктів щодо зберігання водню в соляних печерах. Зокрема, такий проєкт планують реалізувати в печерах на південному заході Франції.

«Зберігання водню у великих кількостях буде одним з найбільших викликів для майбутньої водневої економіки, – йдеться у доповіді в BloombergNEF. – Кількість недорогих масштабних варіантів, таких як соляні каверни (печери), обмежена, а вартість використання альтернативних технологій зберігання часто може перевищувати вартість виробництва самого водню».

У той же час в Україні є третій за обсягом у світі комплекс підземних газосховищ, проєктна потужність яких становить 37,8 млрд. куб м.

Підземні сховища газу – це виснажені родовища глибиною від 400 метрів до 2 тис метрів. Зберігати в них водень так само безпечно, як і природний газ.

Довгострокові запаси водню можуть стати головною конкурентною перевагою взимку, коли сонячні електростанції, на які, в основному, роблять ставку країни ЄС, видають найменшу потужність.

Крім того, вигідне географічне розташування, наявність газотранспортної інфраструктури та потенційні можливості для «зеленої» генерації роблять Україну привабливою для майбутніх європейських водневих проєктів.

В Україні перспективним є отримання водню з газифікацією вугілля (у тому числі підземною) і біомаси, сірководню Чорного моря. Кількість сірководню, розчиненого у воді Чорного моря, оцінюють у 4,5 млрд тонн.

Запитання для самоперевірки

1. Назвіть переваги розвитку геотермальної енергетики.
2. Охарактеризуйте проблеми розвитку геотермальної енергетики.
3. Охарактеризуйте геотермальної енергетики в Україні, країнах Євросоюзу, в світі в цілому.
4. У чому полягають переваги водневої енергетики?
5. Які проблеми є при експлуатації установок для отримання водню?
6. У чому полягають проблеми транспортування водню?
7. У чому суть Водневої стратегії ЄС? Міжнародна співпраця ЄС у водневій енергетиці, в т.ч. з Україною.

ЗМІСТОВИЙ МОДУЛЬ 3. БІО-, ГІДРО- ТА ІНШІ ВИДИ АЛЬТЕРНАТИВНОЇ ЕНЕРГЕТИКИ

Тема 6. Біоенергетика (біогаз, біометан і біоспирти): історія розвитку, біохімічні процеси і обладнання, мікроорганізми-продуценти, найбільші біогазові комплекси у світі, перспективи розвитку в Україні. Досвід країн ЄС у розвитку біогазових, біометанових і біоспиртових технологій. Директиви ЄС та передові практики країн Європейського Союзу щодо біотехнологій переробки виробничих та муніципальних відходів, очищення стоків

Біомаса – це невикопна біологічно відновлювана органічна речовина, здатна до біологічного розкладання (відходи лісового, рибного, сільського господарства, харчової промисловості, а також біологічно розкладана складова промислових або побутових відходів).

Біомасу використовують для отримання енергії фізичними (спалювання), хімічними (піроліз і газифікація) і біологічними способами.

Біоенергетика у широкому значенні – отримання енергії із біомаси.

Біоенергетика у вузькому значенні – отримання енергії за допомогою живих організмів.

До біопалива, отриманого за допомогою живих організмів, належать: біогаз, біоетанол, біометанол, біобутанол, біодизель, біоводень, біонафта тощо.

6.1 Біогазові технології

Основою біогазової технології є метанове бродіння (метанова ферментація). *Метанове бродіння – це процес анаеробного (безкисневого) перетворення мікроорганізмами компонентів відходів чи стічних вод із виділенням біогазу. Сукупність мікроорганізмів, які здійснюють метанову ферментацію, називають анаеробним активним мулом.*

Це універсальний біологічний процес, який застосовують для:

- отримання біогазу, який використовують як альтернативне джерело енергії;
- очищення концентрованих стічних вод;

- утилізації виробничих, муніципальних відходів (гній тваринницьких ферм, рослинні відходи (листя, солома), відходи харчової промисловості (буряковий жом, вичавки), надлишковий аеробний активний мул, відходи харчування тощо);

- отримання добрива або добавки до корму, що характеризуються високим вмістом біологічно активних речовин, у тому числі вітамінів групи В (насамперед В₁₂).

Напрями використання біогазу:

- вироблення електроенергії;
- спалювання в котельних агрегатах для нагрівання води та подачі її споживачам;
- підготовка біогазу й подача його в газорозподільні мережі місцевих споживачів природного газу (змішування з природним газом);
- очищення, осушення, стиснення і заправка біогазом газобалонних автомобілів, тракторів та інших сільгоспмашин тощо.

Україна має значний потенціал біомаси для переробки на енергію біогазовими технологіями.

За приблизними підрахунками лише в Києві збирають понад 120 тисяч тонн опалого листя.

З понад 13,5 млн. тонн утворених сільськогосподарських відходів наймасовішими є:

- відходи рослинного походження (7 742 тис. тонн, або 57 %);
- тваринні екскременти, сечовина і гній (4 938 тис. тонн, або 37 %);
- відходи тваринного походження та змішані харчові відходи (897 тис. тонн, або 6 %).

Анаеробні процеси мають багато надзвичайно важливих *переваг*:

1. Розширюється діапазон стічних вод, придатних до біологічного очищення: можливе ефективне очищення стоків із ХСК більше 2 г О₂/дм³. Аеробні технології ефективні лише для очищення стоків із ХСК менше 2 г О₂/дм³. Можливість утилізації виробничих та муніципальних відходів.

2. Очищення здійснюють із меншим споживанням біогенних добавок. Так, стічні води із співвідношенням БСК₅:N:P, що дорівнює (300...500):7:1, цілком придатні для анаеробного очищення, тоді як аеробна технологія потребувала б доведення цього співвідношення до 100:5:1.

3. Наявність експлуатаційних переваг:

- ліквідує необхідність установки повітродувок та живлення їх електроенергією;
- ліквідує проблеми, пов'язані з піноутворенням при обробці стоків, що містять поверхнево-активні речовини;
- підвищує стійкість біологічних систем до тривалих перерв у живленні стічною водою, що забезпечує їх експлуатацію в умовах тимчасової зупинки основного виробництва на реконструкцію, ремонт тощо. Підвищена стійкість пов'язана з нижчими енергетичними потребами анаеробних мікроорганізмів у порівнянні з аеробними;

- полегшує автоматизований контроль та керування процесом біологічного очищення. Продукти анаеробного бродіння – проміжні (леткі жирні кислоти) та кінцеві (біогаз) – кількісно легко визначаються, що спрощує автоматизацію анаеробних процесів у порівнянні з аеробними;

- дозволяє зменшити площу очисної станції, що пов'язано з ліквідацією виносу в атмосферу патогенних мікроорганізмів, речовин з неприємним запахом. Підвищення рівня максимально допустимих навантажень в анаеробних реакторах дозволяє зменшити об'єми споруд біологічного очищення, і, відповідно, площу, що вони займають, та капітальні витрати на 1 т окиснених органічних забруднень.

4. Полегшується утилізація кінцевих продуктів біологічного очищення:

- значно скорочує кількість утвореного надлишкового біологічного мулу;
- дозволяє без попередньої санітарної обробки використовувати надлишкову біомасу від реакторів, що працюють в термофільному режимі, як добриво або добавку до комбікорму, оскільки вона не містить патогенних мікроорганізмів, яєць гельмінтів, насіння бур'янів. Мул містить всі необхідні для життєдіяльності тварин елементи (азот, фосфор, калій та ін.), вітаміни групи В (особливо В₁₂);

- дозволяє отримати економічно цінний біогаз, що є газоподібним паливом. До основних компонентів біогазу належать метан та вуглекислий газ. Співвідношення між ними може коливатись від 50 : 50 до 80 : 20 % залежно від умов проведення процесу та характеристик субстрату. Також біогаз містить у невеликих кількостях водень, сірководень, азот тощо. Енергетична цінність 1 м³ біогазу, що містить 60 % метану, становить 22...24 МДж і є еквівалентним 0,65...0,7 дм³ умовного палива.

Недоліком експлуатації анаеробних установок є довготривалість періоду їх первинного запуску, зумовлена відносно повільним ростом анаеробів порівняно з аеробами; необхідність доочищення стоків після метантенків, що пов'язано з накопиченням проміжних продуктів бродіння; досить висока вартість проєкту.

Придатність стічних вод до біологічного очищення:

1. Біологічне очищення можливе за співвідношення між БСК_{повн} до ХСК не менше 0,75.

$$\frac{БСК_{повн}}{ХСК} \geq 0,75$$

Недотримання цього співвідношення свідчить про суттєву нестачу у стічних водах органічних компонентів і переважання неорганічних речовин, що не можуть забезпечити метаболічні процеси організмів активного мулу.

2. Якщо ХСК стічних вод становить менше 2 000 мг О₂/дм³ – застосовують аеробне біологічне очищення, вищий показник зумовлює необхідність застосування анаеробних технологій.

3. Перевіряють вміст біогенних елементів (азоту і фосфору), що необхідні для організмів активного мулу.

В аеробних умовах найоптимальніше співвідношення між загальним вмістом забруднювальних речовин за БСК_{повн} і концентрацією азоту і фосфору повинно бути в межах:

$$БСК_{повн} : N : P = 100 : 5 : 1$$

В анаеробних умовах:

$$БСК_{повн} : N : P = (300 \div 500) : 7 : 1$$

Крім основних біогенних елементів, для нормального розвитку організмів необхідні також інші компоненти, що зазвичай присутні у стічних водах харчових підприємств у достатній кількості.

Якщо вміст біогенних елементів суттєво відрізняється від оптимального, для біогенного збагачення стічних вод застосовують додавання відповідних реагентів.

4. Важливе значення для функціонування очисних систем має рН середовища. Цей показник повинен бути в межах 6,5...8,5.

5. Стічні води не повинні містити токсичних, шкідливих для життєдіяльності організмів активного мулу компонентів, що можуть сприяти пригніченню їх метаболізму або повній загибелі.

Сукупність поживного середовища і мікроорганізмів, що ростуть у ньому, називають *культуральною рідиною*, а сукупність мікроорганізмів – *культурою*. Культура може бути однорідною – чистою (складатись із клітин одного й того ж виду) і неоднорідною – змішаною (являти собою асоціацію клітин різних видів організмів). Метанове бродіння відбувається під впливом змішаних культур мікроорганізмів.

Метанове бродіння може здійснюватись у періодичному, напівбезперервному, безперервному режимах.

У *періодичному процесі* всі компоненти вносять на початку ферментації, тому склад середовища, концентрація біомаси та метаболітів весь час змінюється як результат метаболізму клітин.

У процесі культивування є такі головні *фази росту* (рис. 6.1):

1. *Лаг-фаза* (1) або індукційний період, або фаза латентного росту – не відбувається скільки-небудь помітного збільшення числа клітин або утворення яких-небудь продуктів. Це період адаптації до нових умов культивування. У цей період перебудовується метаболізм клітини, синтезуються ферменти, специфічні до використання нових субстратів, активується біосинтез білка.

Тривалість лаг-фази залежить від таких факторів:

- природа мікроорганізмів;
- вік клітин, які були використані як посівний матеріал (для скорочення лаг-фази культура повинна бути «молодою», тобто взята з експоненційної фази росту);

- кількість посівного матеріалу (не менше 5...10 %) – із збільшенням кількості посівного матеріалу скорочується тривалість лаг-фази, але якщо його надто багато із-за недостатчі кисню, накопичення продуктів обміну, ріст зупиняється;

- склад поживного середовища;
- фізико-хімічні показники – температура, концентрація іонів водню (рН) тощо.

2. *Фаза експоненційного росту* (2) (лог-фаза) – швидко накопичується біомаса та продукти різних реакцій. Ця фаза описується експоненційною кривою. Відбувається максимальний приріст біомаси та спостерігається використання субстрату з максимальною швидкістю.

3. В реальних умовах такий процес триває недовго, до відчутних змін хімічного складу середовища. Наступає *фаза лінійного росту* (3), що характеризується рівномірним по часу лінійним ростом культури.

4. Фаза лінійного росту може змінитися нетривалим періодом, протягом якого швидкість росту культури знижується до нуля. Це *фаза уповільнення росту* (4). Уповільнення відбувається внаслідок вичерпання поживних речовин та накопичення продуктів метаболізму.

5. *Стаціонарна фаза* (5) – настає рівновага, кількість відмерлих клітин рівна кількості тих, що з'явилися у результаті розмноження.

6. Якщо система повністю вичерпується по субстрату або накопичення інгібуючих ріст продуктів є значним, то швидкість приросту біомаси стає рівною нулю, відбуваються істотні фізіологічні зміни клітин і спостерігається *фаза відмирання культури* (6), що супроводжується часто повним лізисом клітин.

Для виробництва найвагомішою є експоненційна фаза.

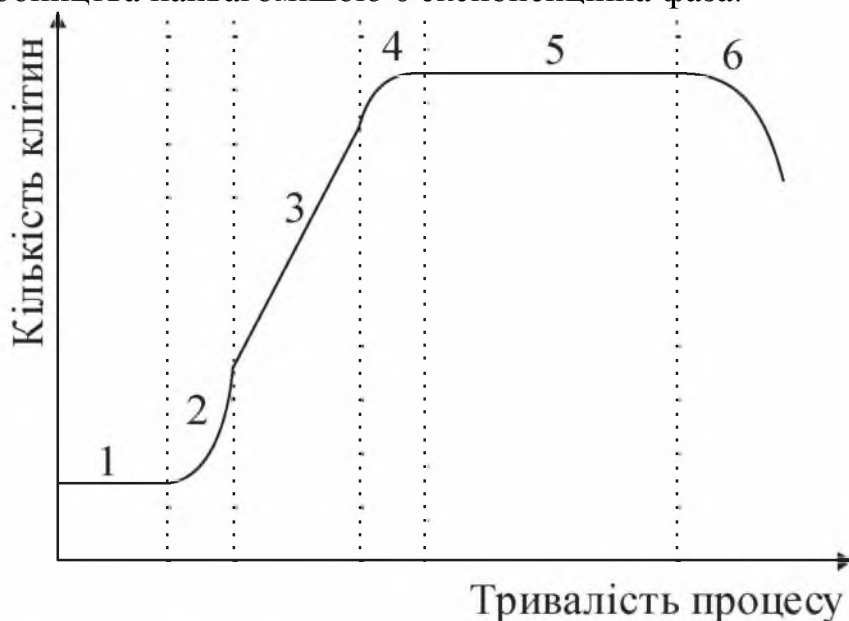


Рисунок 6.1 – Основні фази росту мікроорганізмів при періодичному культивуванні

Розвиток культур мікроорганізмів прийнято характеризувати деякими взаємопов'язаними кількісними показниками. Це:

1. Швидкість росту культур – зміна концентрації біомаси за проміжок часу (г/год):

$$v = \frac{x_2 - x_1}{t_2 - t_1};$$

2. Питома швидкість росту, год^{-1} , це швидкість росту, віднесена до початкової кількості біомаси:

$$\mu = \frac{v}{x_0};$$

3. Час генерації (час подвоєння біомаси), год:

$$g = \frac{\ln 2}{\mu} = \frac{0,693}{\mu}$$

4. Економічний коефіцієнт – відношення приросту біомаси Δx до кількості спожитого субстрату ΔS .

$$y = \frac{\Delta x}{\Delta S};$$

5. Трофічний коефіцієнт визначає затрати субстрату на приріст біомаси

$$\alpha = \frac{\Delta S}{\Delta x}.$$

Трофічний і економічний коефіцієнти взаємопов'язані:

$$y = \frac{1}{\alpha}.$$

Напівбезперервне культивування здійснюють так:

1. Періодично додають свіже поживне середовище, що супроводжується збільшенням об'єму культуральної рідини. Початковий коефіцієнт заповнення апарату низький. Це доливний спосіб.

2. Видаляють певний об'єм культуральної рідини та доливають свіжого поживного середовища. Об'єм видаленого середовища дорівнює об'єму внесеного. Це від'ємно-доливний спосіб.

Для збільшення ефективності використання біотехнологічного процесу слід скоротити фази неактивного росту культур. Це досягнуто при використанні *безперервного* способу культивування мікроорганізмів, коли в апарат постійно поступає поживне середовище, а з нього виводять продукти життєдіяльності разом із надлишком клітин.

Переваги безперервного режиму перед періодичним:

1. Підтримання культури в активному стані протягом тривалого часу.
2. Висока продуктивність апарату.
3. Отримання якісно однорідного продукту.
4. Можливість повної автоматизації процесу.
5. Зниження витрат на обслуговування та виробничі прощі.

Безперервний спосіб культивування характеризується деякими показниками:

Швидкість потоку F , м³/год – це кількість середовища W , що надходить в апарат за одиницю часу:

$$F = \frac{W}{t}$$

Швидкість розбавлення D , год⁻¹ – відношення швидкості потоку до об'єму апарату V :

$$D = \frac{F}{V}$$

Тривалість перебування мікроорганізмів в апараті, год:

$$\tau = \frac{1}{D}$$

При безперервному процесі питома швидкість розмноження клітин повинна бути рівною відносній швидкості потоку, тобто швидкості розбавлення середовища:

$$\mu = D$$

При $\mu > D$ зміна (приріст) клітин буде додатнім, тобто кількість біомаси в апараті буде постійно збільшуватись до такого стану, коли настає лімітування по поживних речовинах. При $\mu < D$, приріст буде від'ємним, що приведе до вимивання клітин з апарату.

Сукупність мікроорганізмів, що здійснюють метанове бродіння, називають *анаеробний активний мул*.

Основні показники активного мулу.

Активний мул аеротенків має вигляд темно-бурих пластівців, що містять різні види мікроорганізмів.

Концентрація мулу, г/дм³, що залежно від типу стічних вод, особливостей процесу очищення.

$$a = \frac{x - y}{V_{\text{пр}}} 1000$$

де x – маса осаду і фільтр, г; y – маса фільтра, г; $V_{\text{пр}}$ – об'єм проби, см³.

Муловий індекс – об'єм, який займає 1 г активного мулу після півгодинного відстоювання (у перерахунку на сухі речовини), см³/г.

Навантаження на активний мул по органічних речовинах P , мг БСК на 1 г мулу на годину:

$$P = \frac{\text{БСК}}{a \times t}$$

де a – концентрація мулу, г/дм³; БСК – г О₂/дм³; t – тривалість очищення, год.

Вік мулу T , діб:

$$T = \frac{a \times V}{Q \times P}$$

де V – об'єм споруди, м³; Q – витрати стоків, м³/добу; P – приріст мулу, г/дм³.

Ефективність очищення E , %:

$$E = \frac{\text{БСК}_{\text{поч}} - \text{БСК}_{\text{кінц}}}{\text{БСК}_{\text{поч}}} 100$$

Залежно від виду стічних вод мул виявляє уреазну, ліполітичну, амілазну або загальну дегідрогеназну ферментативні активності.

Метанове бродіння відбувається за різних температур. Виокремлюють психрофільне (< 20 °С), мезофільне (20...40 °С) і термофільне (45...65 °С) бродіння.

Існує декілька *теорій щодо біохімізму* метанового бродіння.

Біологічні процеси метанової ферментації відбуваються в бактеріальній біомасі і включають конверсію складних органічних субстратів в метан і

вуглекислий газ. Це симбіотичне угруповання функціонує як саморегульована система, що підтримує значення рН, окисно-відновного потенціалу і термодинамічну рівновагу оптимальним для росту чином. Згідно теорії Баркера ці бактерії поділяють на три великі групи:

1. Гідролітичні бактерії, які зазвичай називають ацидогенними, тому що вони забезпечують початковий гідроліз субстрату до низькомолекулярних органічних кислот та інших малих молекул.

До основних продуктів гідролізу належать оцтова, пропіонова, масляна, капронова, мурашина, молочна кислоти; спирти і кетони (метанол, етанол, ацетон); гази (водень, метан, діоксид вуглецю); вітаміни (В₂, В₁₂) тощо.

Представники цієї групи можуть бути як облігатними, так і факультативними анаеробами, а їх кількість від 10⁵...10⁶ до 10⁸...10⁹ клітин на 1 см³ мулу.

До організмів цієї групи належать: протеолітичні *Eubacterium*, целюлолітичні *Clostridium*, *Acetobacterium*, облігатні анаероби *Bacteroides* і *Bifidobacteria*, факультативні анаероби *Enterobacteriaceae*.

2. Гетероацетогенні бактерії продукують оцтову кислоту і водень дегідрогенізацією органічних кислот з довшим, ніж у оцтової кислоти ланцюгом.

Кількість цих мікроорганізмів досягає 4,2·10⁶ клітин в 1 см³ мулу. До них належать *Synthrobacter wolinii*, *Synthrophomonas wolfii*.

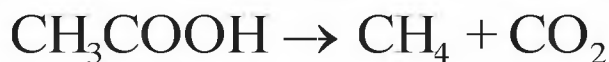
3. Метаногенні бактерії, які продукують метан. Поділяються на дві підгрупи:

а) хемолітотрофні бактерії, які перетворюють водень і карбон діоксид у метан, використовуючи газоподібний водень як донор електронів:



У результаті цієї реакції відбувається також перетворення однієї молекули АДФ в АТФ, відповідно, реакція термодинамічно вигідна.

б) бактерії, що переробляють оцтову і мурашину кислоти, метанол, метиламін у метан. Рівняння перетворення оцтової кислоти має вигляд:



Ця реакція дає лише 0,25 моль АТФ, тому є термодинамічно відносно невивідною.

Кількість цих мікроорганізмів 10⁶ – 10⁸ клітин в 1 см³ мулу. До них належать *Methanobacterium*, *Methanospirillum*, *Methanococcus*, *Methanosarcina*, *Methanotherix*.

Роль різних груп мікроорганізмів у процесі метанового бродіння наведена на рис. 6.2.

Процес метаногенезу згідно досліджень професора Нікітіна Г.О. представлений у вигляді схеми (рис. 6.3), яка показує, що субстратом можуть

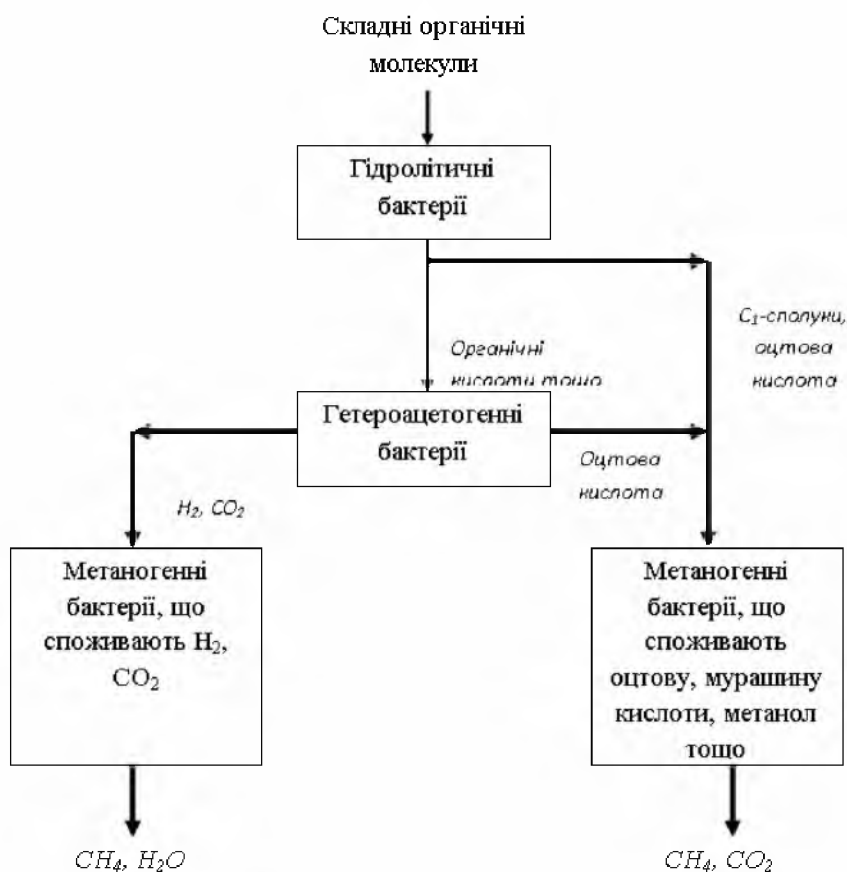


Рисунок 6.2 – Роль різних груп мікроорганізмів у процесі метанового бродіння

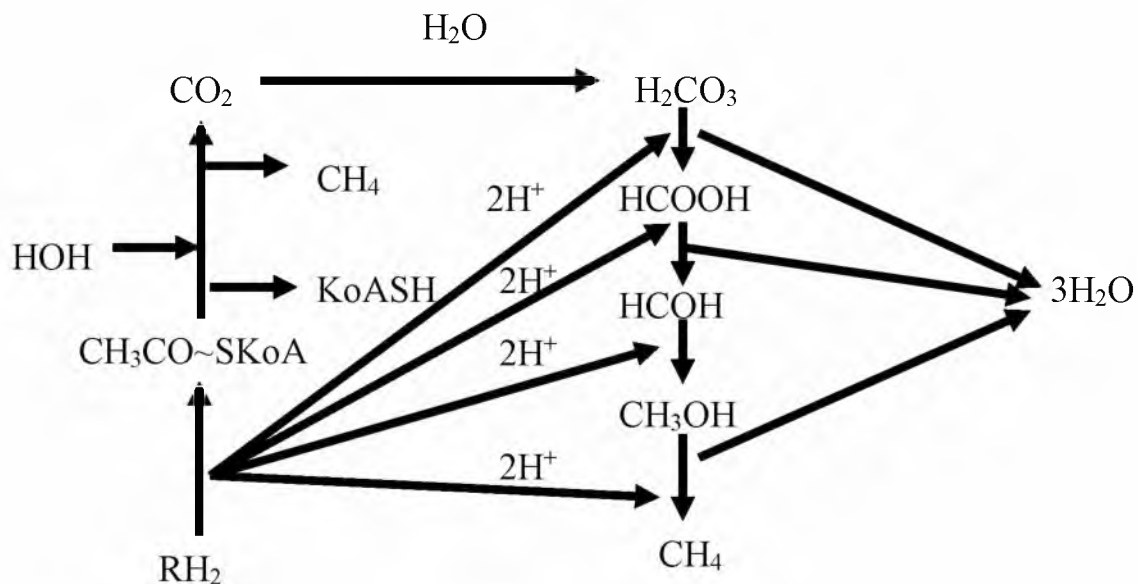


Рисунок 6.3 – Біохімізм метаногенезу за Нікітіним Г.О.

бути будь-які речовини, а їх окиснення є одночасно джерелом вуглекислого газу і активного водню, за допомогою якого і відбувається відновлення діоксиду вуглецю в метан. Все це здійснюють одні й ті ж мікроорганізми.

Символом RH_2 в схемі позначені будь-які речовини, що здатні піддаватись окисненню (відщеплювати водень) в анаеробних умовах.

Запропонована схема також дає можливість пояснити, чому під час метанового бродіння будь-яких речовин завжди накопичується певна кількість оцтової кислоти. Імовірно, що в силу фізико-хімічних умов, нестачі водню або інших факторів, ацетил-КоА не повністю трансформується в метан і діоксин вуглецю, а частково перетворюється на оцтову кислоту.

Запропонований механізм біосинтезу метану змінює уявлення щодо вузької специфічності метанотворних бактерій відносно джерел живлення, тобто про те, що вони існують за рахунок кінцевих продуктів окиснення інших мікроорганізмів (нижчих органічних кислот і діоксиду вуглецю). Метанотворні бактерії мають значно ширші можливості до розкладу органічних речовин, усі перетворення будь-якої речовини в метан відбуваються у клітині одного й того ж мікроорганізму. Більш того, здатність до утворення метану не є привілеєм особливої групи бактерій, а може виявлятися у багатьох мікроорганізмів, якщо біохімічні умови в цілому сприятливі для процесу відновлення карбонатів. Такі умови максимально виявляються в змішаних мікробних культурах під час їх розвитку на багатокомпонентних субстратах.

На рис. 6.4 наведена схема установки для метанового бродіння:



Рисунок 6.4 – Схема анаеробного очищення стоків

Газгольдер – пристрій для накопичення і зберігання біогазу. За формою бувають сферичні і циліндричні; за принципом роботи: постійного та змінного об'єму.

Інтенсифікацію роботи метантенків здійснюють для:

- скорочення тривалості бродіння, а відповідно і зменшення об'ємів споруд, за умови дотримання необхідного ступеня розкладання органічних забруднювальних компонентів;
- підвищення виходу біогазу з метою отримання енергії і скорочення витрат не лише на обігрів метантенків, але і очисних споруд в цілому;
- покращення водовіддавальних властивостей зброджених осадів і скорочення витрат на їх зневоднення.

Сучасні напрямки інтенсифікації роботи метантенків передбачають:

1. Підвищення температури бродіння.

2. Підвищення ефективності перемішування осаду в метантенку.
3. Перехід до безперервного процесу бродіння.
4. Використання двох- і більше ступінчастих схем зброджування висококонцентрованих стічних вод і осадів дає змогу створити на кожному ступені оптимальні умови для здійснення процесу.
5. Імобілізація мікроорганізмів активного мулу на носіях різних типів.
6. Використання різних модифікацій метантенків із висхідним потоком рідини через шар завислого анаеробного мулу – *UASB* реакторів (*Upflow Anaerobic Sludge Blanket reactor*).

Використання цих реакторів дає змогу значно підвищити гідравлічне навантаження, зменшити тривалість бродіння стічних вод, об'єм апарату і площу станції очищення.

UASB реактор – це циліндрична ємність, в якій стічні води рівномірно розподіляються площею нижньої частини реактора і направляються вгору із швидкістю, що забезпечує утворення гранул біомаси.

У верхній частині встановлена система сепараторів біомаси і біогазу. Мікроорганізми потрапляють з потоком рідини в зону седиментації, де біомаса відокремлюється від стічної води. Освітлена вода виходить з реактора, а мікроорганізми повертаються в зону бродіння.

Висхідний і низхідний рух пластівців мікроорганізмів надає їм форму гранул, діаметр яких досягає 1...5 мм. Біогаз і рідина, що рухаються знизу вгору, доводять шар гранул до завислого стану. Завдяки цьому в зоні бродіння біореактора створюється підвищена концентрація біомаси.

Утворення гранульованого мулу залежить від мікробіологічних і біологічних факторів, характеристик субстрату і умов здійснення процесу.

UASB реактори характеризуються простотою конструкції і надійністю в експлуатації.

Країни ЄС активно розвивають біогазові енергетику. Серед промислово розвинених країн провідне місце у виробництві і використанні біогазу за відносними показниками належить Данії – біогаз займає до 18 % в її загальному енергобалансі.

За абсолютними показниками за кількістю середніх і великих установок провідне місце займає Німеччина – 8 000 установок. У Західній Європі не менше половини всіх птахоферм опалюють за рахунок біогазу.

В Індії, В'єтнамі, Непалі та інших країнах будують малі (односімейні) біогазові установки. Одержуваний в них газ використовують для приготування їжі. В Індії з 1981 року до 2006 року було встановлено 3,8 млн. малих біогазових установок

Найбільше малих біогазових установок є в Китаї – понад 40 млн.

Станом на середину 2021 року в Україні побудовано і введено в експлуатацію 68 промислових біогазових станцій. Із них 28 виробляють біогаз із агросировини (відходи сільського господарства, переробної та харчової промисловості), 27 – працюють на біогазі полігонів твердих побутових (муніципальних) відходів, 9 – виробляють біогаз в результаті анаеробного очищення промислових стічних вод, на одній біогаз отримують з осаду

господарсько-побутових стічних вод, а ще три станції призначені для виробництва генераторного газу (класифікуються як біогазові станції).

На середину 2022 року до найбільших виробників біогазу увійшли компанії, сукупні потужності яких перевищують 5 МВт, зокрема: ТОВ «Теофіпольська енергетична компанія» – 26,1 МВт; ТОВ «Вінницька птахофабрика» – 12,0 МВт; ТОВ «Городище-Пустоварівська аграрна компанія» – 8,7 МВт; ТОВ «Корсунь Еко Енерго» – 7,5 МВт; ТОВ «Агрофірма ім. Чкалова» – 6 МВт; ПрАТ «Оріль-Лідер» – 5,7 МВт; ТОВ «ЛІНК» – 5,3 МВт; ТОВ «Юзефо-Миколаївська біогазова компанія» – 5,2 МВт; ТОВ «Кліар Енерджі Одеса» – 5 МВт.

6.2 Біометан

Біометан – це біогаз, доведений до якості природного газу. Тобто біометан – це газ, що містить 95...98 % метану.

Лідером з виробництва біометану на сьогодні є країни Євросоюзу – виробництво біометану в Європі існує вже у 18 країнах. Зараз біогазовий сектор ЄС виробляє 15,8 млрд. куб. метрів біогазу та 2,43 млрд. куб. метрів біометану. Наприкінці 2019 року на території ЄС було майже 19 тисяч біогазових та 725 біометанових установок.

Лідером європейського біометанового ринку залишається Німеччина, де на 200 заводах вироблено близько половини європейського біометану.

Біометан, як близький аналог природного газу, можна використовувати для виробництва теплової і електричної енергії, як паливо для транспорту, а також як сировину для хімічної промисловості.

У Німеччині, наприклад, 88 % виробленого біометану використовують на ТЕЦ для виробництва електроенергії і тепла, 5 % – для тепlopостачання і близько 5 % на транспорті.

Приблизно 10 % виробленого у Європі біометану використовують як моторне паливо, перш за все в таких країнах як Швеція, Німеччина, Фінляндія, Швейцарія, Ісландія.

Наразі потенціал виробництва біометану в Україні оцінюється в 7,8 млрд. м³/рік. Потенціал охоплює біометан із відходів та побічної продукції АПК (3,8 млрд. м³), із силосу кукурудзи (2,7 млрд. м³), а також з інших відходів тваринництва та переробної промисловості (1,3 млрд. м³).

На сьогодні існує 4 базові технології збагачення біогазу до біометану (мембранне очищення, абсорбція, адсорбція під тиском та кріогенне очищення):

1. В основі мембранного очищення є використання сухих мембран, виготовлених із матеріалів, проникних для діоксиду вуглецю, води і аміаку. Сірководень до деякої міри проникає через мембрану, водночас азот і метан проходять через неї в дуже незначній мірі.

2. Для очищення біогазу від CO₂ і частково від H₂S використовують вигідний для практичної реалізації спосіб водної абсорбції (вимивання водою). Суть способу полягає в тому, що на відміну від метану CO₂ має набагато вищу розчинність у воді і водною абсорбцією його можна виділити з біогазу. Особливо ефективно відбувається цей процес під тиском.

3. Адсорбція – діоксид вуглецю відокремлюють на поверхні адсорбентів (активоване вугілля або цеоліти) при підвищеному тиску (до 10 атм).

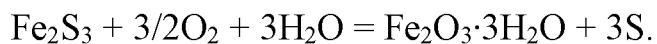
4. Новим напрямком є криогенне очищення – біогаз охолоджують до мінус 80 °С, весь вуглекислий газ твердне, перетворюючись у сухий лід, який механічно видаляють. Метан має температуру замерзання мінус 182 °С. Є абсолютно ефективним способом, але надто енергозатратним.

Необхідність очищення біогазу від сірководню пов'язана з його високою корозійною активністю, особливо в середовищі з водою і вуглекислим газом. Для цього використовують:

1. Оксид заліза, який взаємодіючи із сірководнем, утворює сульфід заліза. В результаті хемосорбції відбувається реакція взаємодії H_2S з оксидом заліза:



Завдяки додаванню кисню можлива регенерація отриманого сульфідів, який, вступаючи в реакцію з киснем, трансформується з утворенням оксиду заліза і сірки:



2. Біогаз потрапляє у газгольдер через сульфоредакуючу сітку, на якій є мікроорганізми, що розмножились там природним способом. Під їх впливом сірководень в біогазі перетворюється в сірку у вигляді порошку. Періодично порошок із сітки струшують в метантенк, збагачуючи зброджену масу.

6.3 Біоспирти – рідке альтернативне біопаливо

6.3.1 Біоетанол

Біоетанол – це етиловий спирт, отримуваний при зброджуванні рослинної сировини, і який використовують як паливо для транспорту.

Для отримання біоетанолу використовують цукровмісну рослинну сировину:

- сахарозовмісна: цукровий буряк, цукрова тростина, топінамбур, цукрове сорго;
- крохмалевмісна: кукурудза, жито, пшениця, картопля, маніок;
- целюлозна сировина: стебла, трави, відходи сільського господарства (пшенична і рисова солома), відходи деревообробної промисловості, енергетичні культури (міскантус).

В США основною культурою для виробництва біоетанолу є кукурудза, у менших кількостях використовується пшениця, сорго та цукрова тростина. У Бразилії та інших країнах південної Америки – цукрова тростина, в країнах ЄС – зернові та цукрові буряки.

В Україні найефективнішими культурами для виробництва біоетанолу є фуражна пшениця, кукурудза, меляса.

Орієнтовна врожайність різних сільськогосподарських культур та можливий вихід біоетанолу з біосировини наведені в табл. 6.1.

Переваги біоетанольних технологій:

1. Використання відновлюваної сировини, часто – відходів.
2. Зменшення шкідливих викидів.
3. Вище октанове число.

4. Біоетанол містить кисень, завдяки чому необхідна кількість повітря для згоряння 1 кг палива менша, ніж для бензину та становить 9,0 кг/кг.

5. Значно більші межі запалювання паливо-повітряної суміші від електричної іскри, ніж у бензині.

Таблиця 6.1 – Урожайність та вихід спирту із різних сільськогосподарських культур

Культура	Урожайність, ц/га	Вихід спирту, дм ³ /1 т сировини	Вихід спирту, дм ³ /га
Зерно кукурудзи	50	400	2 000
Пшениця	45	400	1 800
Картопля	200	120	2 200
Топінамбур	300	100	2 500
Цукрові буряки (меласа)	450	100	4 500
Жито/ячмінь	36	30	1 200
Цикорій (сироп)	200	10	2 000

Недоліки:

1. Вирощування сировини для біопалива займає території, які використовувались для вирощування сировини для продуктів харчування.

2. Значно менша енергоємність біоетанолу у порівнянні з бензином є причиною підвищеної витрати палива автомобілем.

3. Гігроскопічність.

4. Висока питома теплота випаровування біоетанолу (втричі більша, ніж у бензині), отже, і випаровуваність його менша. Для роботи двигуна на біоетанолі потрібно підігрівати повітря. Через це важко запустити двигун при низьких температурах.

Спиртове бродіння відбувається під впливом ферментів дріжджів *Saccharomyes cerevisiae*, бактерій (*Zymomonas mobilis*, *Sarcina ventriculi*, *Erwinia amylovora*).

Крохмалевмісну сировину попередньо оцукрюють: ферментами (амілазами) розщеплюють крохмаль на зброджувані прості цукри (глюкоза).

Целюлозовмісну сировину спершу гідролізують у присутності сульфатної кислоти до гексоз і пентоз, які потім зброджують на спирт.

Спрощена схема спиртового бродіння наведена на рис. 6.5.

Для сумішей бензину з біоетанолом використовують маркування: E5, E10, E85. Літера E від англ. «ethanol», цифрові індекси визначають відсотковий вміст (за об'ємом) етанолу в суміші з бензином.

Деякі паливні суміші біоетанолу:

1. E5, E7, E10 – суміші з низьким вмістом етанолу (5, 7 і 10 відсотків), найпоширеніші.

2. E85 – суміш 85 % етанолу і 15 % бензину. Стандартне паливо для Бразилії і США.

3. ED95 – суміш 95 % етанолу і 5 % паливної присадки.

4. E100 – формально 100 % етанол, однак через те, що етанол гігроскопічний, отримання і використання етанолу без залишкової концентрації води не вигідно. Тому в більшості випадків під E100 мають на увазі стандартну азеотропну суміш етанолу (96 % C_2H_5OH і 4 % води (за вагою); 96,5 % і 3,5 % в об'ємних відсотках).

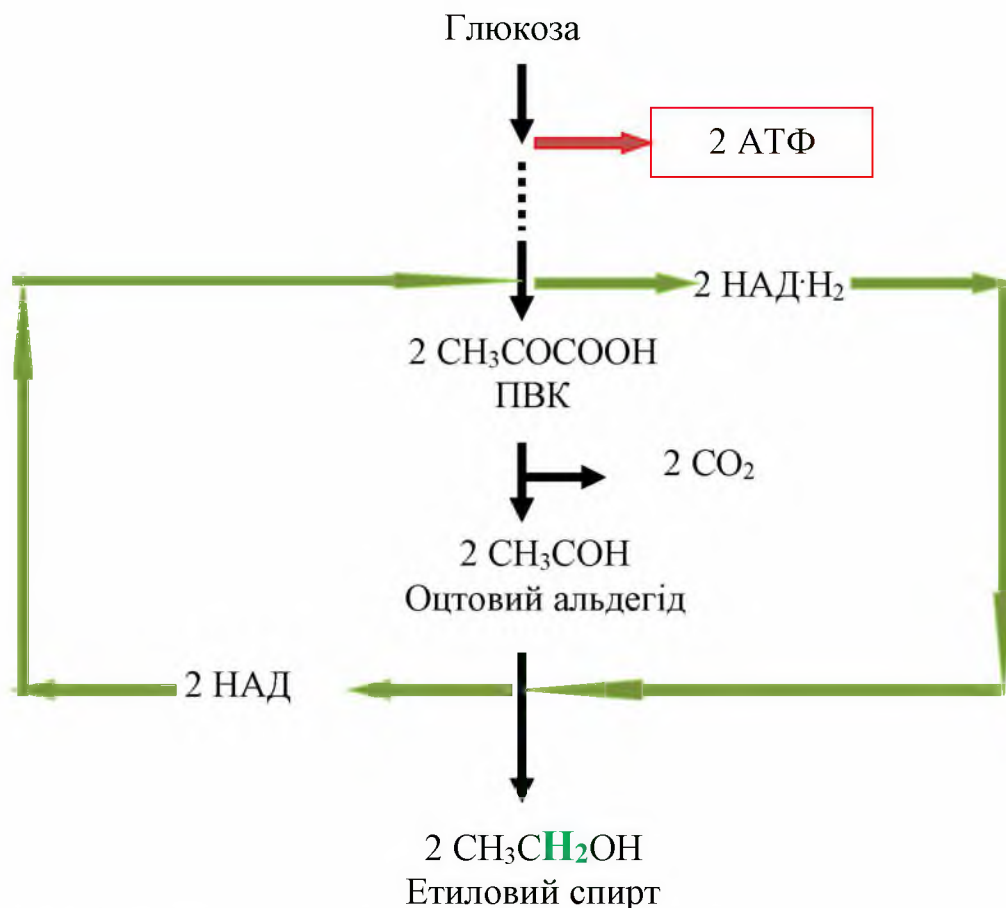


Рисунок 6.5 – Спрощена схема спиртового бродіння

Зараз в Україні є такі виробники біоетанолу: Зарубінський, Гайсинський спиртзаводи, приватні заводи Екоенергія та Фазор, а також Узинський і Гнідавський цукрові заводи. Вони виробляють десятки тонн біоетанолу, який використовують на виробництво альтернативного палива.

6.3.2 Біобутанол

Біобутанол – спирт бутиловий C_4H_9OH , виготовлений із біомаси. Біобутанол використовують як біопаливо у двигунах внутрішнього згорання (у чистому вигляді або у сумішевому паливі).

Виробляють із кукурудзи, пшениці, цукрових буряків, цукрової тростини, сорго, ячменю за допомогою мікроорганізмів (бактерії *Clostridium acetobutylicum*).

Переваги:

1. Використання відновлюваної сировини.
2. Зменшення шкідливих викидів.

3. Біобутанол може додаватись у вищих концентраціях, ніж біоетанол, при використанні стандартних автомобільних двигунів.

4. На відміну від етанолу, біобутанол є калорійнішим (дає більше енергії при спалюванні) та менш затратним у виробництві.

5. При наявності води суміш, що містить біобутанол, менше схильна до розшарування, чим суміші етанолу/бензину. Менш чутливий до зниження температури.

6. На відміну від метанолу, бутанол не має корозійних властивостей.

7. Легко змішується з бензином.

8. Біобутанол безпечніший у використанні, через те, що менш леткий. Може транспортуватись існуючими паливними трубопроводами.

Недоліки: має більшу в'язкість, що може викликати негативні ефекти в паливній системі.

Зараз комерційне виробництво біобутанолу як палива – непоширене в світі. Його використовують здебільшого як промисловий розчинник.

6.3.3 Біометанол

Метанол – метиловий спирт CH_3OH , безбарвна, дуже отруйна рідина. З повітрям утворює вибухонебезпечні суміші.

Переваги біометанолу:

1. Використання відновлюваної сировини.

2. Зменшення шкідливих викидів.

3. Теплота згорання метанолу на 40...50 % менша, ніж бензину, проте при цьому теплопродуктивність метанолу порівняно з бензином відрізняється мало з тієї причини, що високе значення теплоти випаровування метанолу (як і етанолу) сприяє поліпшенню наповнення циліндрів двигуна і кращому його згоранню. В результаті цього потужність двигуна підвищується на 10...15 %.

4. Метанол має високі антидетонаційні властивості (октанове число становить 99). Змішуючи його з низькооктановим бензином, підвищують октанове число останнього.

Недоліки метанолу:

1. Роз'їдає алюміній, тому проблемним є використання алюмінієвих карбюраторів та інжекторних систем подачі палива в двигуни внутрішнього згорання.

2. Гідрофільність метанолу: вбирає воду, що є причиною розшарування паливних сумішей.

3. Зменшена леткість при холодній погоді: мотори, що працюють на чистому метанолі, можуть мати проблеми із запуском при температурі нижче $+10\text{ }^{\circ}\text{C}$ і підвищені витрати палива до досягнення робочих температур. Але це вирішується додаванням у метанол 10...25 % бензину.

4. Надзвичайно отруйний. Разом з тим метанол за зовнішнім виглядом, смаком і запахом подібний до етанолу, їх легко сплутати.

Метанол використовують як паливо. Двигуни багатьох гоночних автомобілів працюють на чистому метанолі.

Отже, багатьох країнах світу, у тому числі в Європейському Союзі та в Україні, активно застосовують біологічні процеси для утилізації муніципальних та виробничих відходів, очищення висококонцентрованих стічних вод.

Перш за все такі технології ґрунтуються на використанні метанового зброджування муніципальних і виробничих відходів, осадів стічних вод та концентрованих стоків; застосуванні спиртового бродіння відходів цукрової та деревообробної промисловостей; компостуванні і силосуванні органічних відходів тощо. Особливо активно такі технології застосовують у Німеччині, Швеції, Данії, Франції, Словаччині, країнах Балтії тощо.

Важливим у цьому напрямку є Європейський зелений курс (англ. The European Green Deal) – набір політичних ініціатив, висунутих Європейською Комісією із загальною метою зробити Європейський континент кліматично нейтральним до 2050 року. ЄЗК був представлений Президентом Європейської Комісії Урсулою фон дер Ляєн 11 грудня 2019 року в Європарламенті.

Кліматично нейтральна Європа – це головна мета Європейської зеленої угоди, для цього ЄС прагне досягти нульових викидів парникових газів до 2050 року. Це означає оновлення кліматичних амбіцій ЄС на 2030 рік із скороченням викидів парникових газів на 50 – 55 % замість поточної мети в 40 %.

У Європейському Союзі природоохоронна діяльність ґрунтується на низці законодавчих актів – Директивах, до найважливіших з яких у цьому плані належать: Directive 2008/98/EC of the European Parliament and of the Council of 19 November 2008 on waste and repealing certain Directives, Directive (EU) 2018/851 of the European Parliament and of the Council of 30 May 2018 amending Directive 2008/98/EC on waste, Directive (EU) 2018/2001 of the European Parliament and of the Council of 11 December 2018 on the promotion of the use of energy from renewable source тощо.

Запитання для самоперевірки

1. Назвіть переваги розвитку біогазової енергетики.
2. Охарактеризуйте проблеми розвитку біогазової енергетики.
3. У чому полягають переваги і недоліки метанового бродіння?
4. Біохімізм метаногенезу.
5. Особливості отримання і використання біометану.
6. Наведіть основні етапи розрахунку технологічних показників мулу.
7. Наведіть основні етапи розрахунку придатності субстратів до аеробного і анаеробного оброблення.
8. Наведіть основні етапи розрахунку показників культивування мікроорганізмів.
9. У чому полягають переваги виробництва біоспиртів?
10. Які проблеми є при виробництві біоспиртів (біоетанол, біобутанол, біометанол)?
11. Охарактеризуйте розвиток біогазових і біометанових технологій в Україні, країнах Євросоюзу, в світі в цілому.

Тема 7. Біоенергетика (біодизель, біонафта, біоводень, термічні способи перетворення біомаси на паливо): історія розвитку, основні процеси і обладнання, найбільші комплекси у світі, досвід країн Європейського Союзу, перспективи розвитку в Україні

7.1 Біодизель

Біодизель – паливо на основі жирів тваринного, рослинного та мікробного походження. В Україні основною сировиною для отримання біодизелю є ріпак, більшість його імпортують для біодизельної промисловості Європи. В Україні біодизель із ріпаку виробляють в Івано-Франківській, Херсонській, Дніпропетровській та інших областях на продаж та для потреб власного автотранспорту. Лідерами з виробництва біодизелю є США, Канада, серед країн ЄС – перш за все – Німеччина.

Основні *переваги* біодизеля:

1. Зменшується концентрація шкідливих речовин у вихлопних газах.
2. Безпечний для довкілля.
3. Виробляють із відновлюваної сировини.
4. Цетанове число біодизелю становить 51, що покращує запуск двигуна.
5. Висока температура спалаху (вище 150 °C) робить біодизель одним з найпожежобезпечніших видів палива.
6. Двигуни традиційного дизельного палива сприймають без переробки додавання до 30 % біодизеля.
7. Міжремонтний термін експлуатації двигуна, що працює на біодизелі збільшується приблизно на 50 %.
8. Вищий показник змащувальної здатності біодизелю порівняно зі звичайним дизельним паливом – перевага, що сприяє тривалішому «життю» форсунок.
9. Біодизель не має неприємного бензолового запаху, а вихлоп машини, що працює на ньому, пахне смаженим насінням.
10. Побічний продукт (гліцерин) використовують для різних виробництв.

Недоліки:

1. Вирощування технічного ріпаку займає значні сільськогосподарські території.
2. Зберігати біодизель понад три місяці не рекомендують, оскільки він розкладається.
3. Ускладнений запуск при низьких температурах (нижче за + 5 °C) – швидко гусне.

Принципова технологічна схема отримання біодизелю зображена на рис. 7.1.

Процес одержання біодизельного палива є досить простим. Рослинна олія є сумішшю тригліцеридів, ефірів жирних кислот, сполучених з молекулою гліцерину. Основне завдання при одержанні біодизелю полягає в тому, щоб видалити гліцерин, замінивши його на одноатомний спирт. Цей процес називають переестерифікацією.

Біодизель використовують самостійно або в суміші зі звичайним дизельним паливом. Для позначення палива, що містить біодизель застосовується літера «В»:

B100 – 100 % біодизелю;

B20 – 20 % біодизелю і 80 % звичайного (нафтового) дизельного пального.

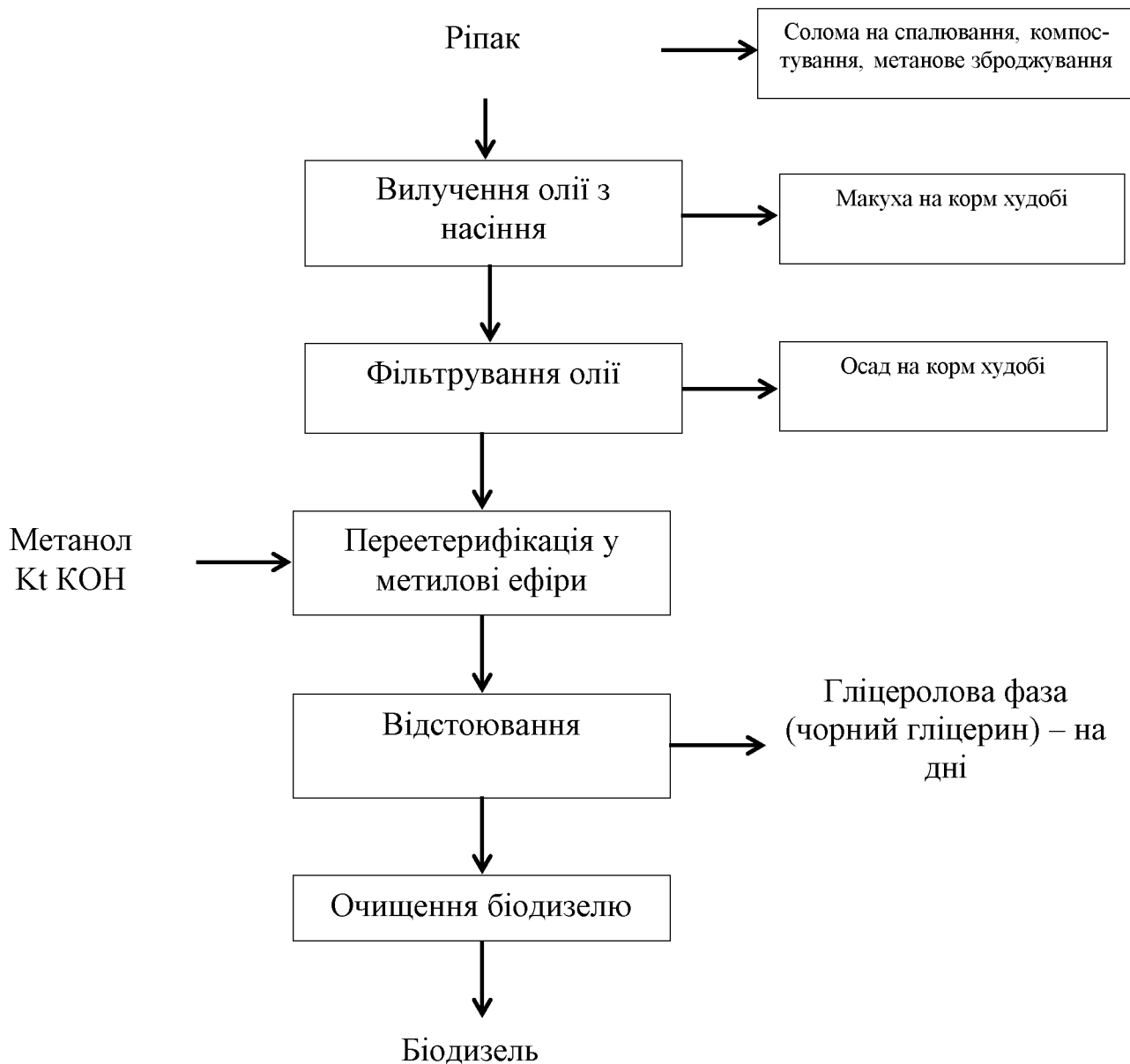


Рисунок 7.1 – Принципова технологічна схема отримання біодизелю

Біодизель найчастіше виробляють із ріпакової олії, проте залежно від географічного розташування виробників і природно-кліматичних умов також використовують соняшникову та конопляну олії, олію ятрофи.

7.2 Виробництво вуглеводнів за допомогою мікробіодоростей. Біонафта

У мікробіодорості *Botryococcus braunii* вуглеводні становлять 15...75 % від маси сухої речовини.

Botryococcus braunii існує у прісній та солонуватій воді помірної та тропічної зон. Буває двох різновидів, які відрізняються пігментацією (зелена та червона) та структурою синтезованих вуглеводнів.

Встановлено, що вуглеводні накопичуються у клітинній стінці, що робить можливим вилучати вуглеводні центрифугуванням, не руйнуючи клітини, які після видалення вуглеводнів можна повернути у культуральне середовище. Або ж залишковий продукт може бути використаний як корм для худоби.

У штучних умовах залежно від виду водорості, умов культивування (температура, освітленість), складу середовища, можливий вихід вуглеводнів до 60 т/га/рік.

Із цих водоростей отримують речовину, яка є близькою за складом до дизельного палива і гасу, тому її називають «біонафта».

Склад вуглеводнів дозволяє використовувати їх як джерело енергії або сировину для нафтохімічної промисловості.

7.3 Біотехнологічне виробництво водню за допомогою водоростей

Отримання водню за допомогою водоростей – процес біологічного розщеплення води (біофотолізу) одноклітинними зеленими водоростями (хламідомонадами або хлорелами), що супроводжується виділенням молекулярного водню. Ця технологія ґрунтується на адаптивному перемиканні фотометаболізму водоростей у відповідь на неоптимальні умови середовища.

Біофотоліз води – розкладання води на водень і кисень за участю біологічних систем з використанням енергії видимого світла.

Вчені Каліфорнійського університету в Берклі в 1999 році виявили, що якщо водоростям не вистачає кисню і сірки, то процеси фотосинтезу у них різко слабшають і починається бурхливе вироблення водню.

Водорості можуть виробляти водень із морської води чи зі стоків.

Під час фотосинтезу ціанобактерії і зелені водорості розщеплюють воду на іони водню і електрони. Електрони переводяться на ферредоксин, [FeFe]-гідрогеназа переносить їх на протони з утворенням газоподібного водню. Фотосистема II *Chlamydomonas reinhardtii* виробляє в прямому сонячному випромінюванні 80 % електронів, які в кінцевому підсумку знаходять своє місце в газоподібному водні. LHCBM9 – світлозбиральних білок II в світлозбиральному комплексі ефективно підтримує сонячну енергію.

[FeFe]-гідрогеназа потребує анаеробних умов, тому що кисень блокує її активність.

Було виявлено інший вид хламідомонад, перспективний для виробництва біоводню – *Chlamydomonas moewesii*. У 2006 році дослідники з Університету Білефельд і Університету Квінсленда генетично модифікували одноклітинну водорість *Chlamydomonas reinhardtii* таким чином, що вона стала виробляти значно більші кількості водню. Отримана водорість-мутант Stm6 може, протягом тривалого часу виробляти вп'ятеро більше водню, ніж його попередник.

Водень – це газ, що легко займається, його можна використовувати у побуті замість природного, злегка змінивши пальники та розподільчу мережу;

як автомобільне паливо, модифікувавши карбюратор. Недоліком є те, що водень практично не зустрічається на Землі у вільному вигляді. Важливість такої форми отримання енергії обумовлена таким:

1. Наявністю надлишку субстрату для фотолізу (води).
2. Нелімітованим джерелом енергії (сонячне світло).
3. Продукт (водень) можна зберігати.
4. Водень не забруднює атмосферу, оскільки єдиний побічний продукт горіння – це вода.
5. Водень має дуже високу енергоємність, яка в 3...5 разів перевищує енергоємність бензину і нафти.
6. Процес відбувається при нормальній температурі без утворення токсичних проміжних сполук.

Розробка стабільної та ефективної фотохімічної системи буде важливим етапом у процесі перетворення сонячної енергії у водень.

7.4 Пряме спалювання біомаси

Пряме спалювання біомаси в атмосфері повітря або кисню – один з найстаріших способів отримання енергії. Біомасу піддають прямому спалюванню в печах, топках, камерах згоряння з подальшим отриманням теплової чи електричної енергії.

Зараз активно використовують паливні гранули (пелети) – це біопаливо, яке отримують із біомаси або з вугілля. Є гранулами циліндричної форми стандартних розмірів.

Сировиною для виробництва гранул є торф; відходи деревини: кора, тирса, тріска й інші відходи лісозаготівлі; відходи сільського господарства: стебла і стрижні кукурудзи, солома, відходи круп'яного виробництва (лушпиння рису і гречки); стебла, лушпиння і кошики соняшника тощо.

Перспективними для енергетичних цілей культурами є швидкоростучі дерева (плантації різних видів верби і тополі), міскантус, евкаліпт і сорго.

Технологія пелет. Сировина надходить у дробарку, де її подрібнюють до стану борошна. Отримана маса потрапляє у сушарку, з неї – у прес-гранулятор, де деревному борошну надають форму гранул.

Готові гранули охолоджують, пакують у стандартну упаковку 12...40 кг, Біг-беги (великі мішки, вагою 1 тонна) або доставляють споживачеві розсипом.

Переваги:

1. Паливні гранули – екологічно чисте паливо із вмістом золи не більш 3 %.
2. При спалюванні гранул в атмосферу потрапляє стільки ж CO₂, скільки було поглинуто рослиною під час зростання.
3. Утилізація відходів.
4. Гранули менш схильні до самозаймання.
5. Не містять пилу і спор, які можуть викликати алергічну реакцію у людей.
6. Гранули відрізняються від звичайної деревини високою сухістю (8...12 % вологи проти 30...50 % у дровах) і більшою – приблизно в 1,5 рази –

густиною. Це забезпечує високу теплотворну здатність порівняно з тріскою або дровами.

7. Висока та постійна насипна щільність гранул, що дає змогу відносно легко транспортувати цей сипкий продукт на великі відстані. Завдяки правильній формі, невеликому розміру і однорідній консистенції продукту гранули можна пересипати через спеціальні рукави, що дозволяє автоматизувати процеси вантаження-розвантаження і також спалювання цього вигляду палива.

Недоліки:

1. Якщо в місці зростання сировини містились токсини або радіоактивні речовини, то при спалюванні гранул ці речовини можуть бути викинуті в атмосферу.

2. Низька вологість гранул досягається завдяки стадії сушіння, що є досить енергозатратним.

3. Залежно від виробництва, збір, сортування і очищення сировини також можуть спричинити додаткові витрати.

Деревні гранули зі значним вмістом кори зазвичай мають темний колір, а гранули зі деревини без кори – світлий.

У процесі виробництва – наприклад, при сушінні – гранули можуть трохи «підгоріти» і тоді вони з білих стають сірими, хоча це не завжди позначається на таких споживчих якостях гранул як теплотворна здатність, зольність, міцність тощо.

Деревні гранули високої якості (білі і сірі) використовують для опалювання житлових будинків спалюванням у невеликих гранульних котлах, печах і камінах або твердопаливних котлах.

У деяких країнах Євросоюзу, зокрема у Швеції, де ринок альтернативних джерел енергії найбільш розвинений, гранулами опалюють до 2/3 житлових приміщень.

Темні гранули зі значним вмістом кори спалюють у котлах більшої потужності з метою здобуття тепла та електроенергії для населених пунктів і промислових підприємств.

Темні гранули можуть бути більшого діаметра і їх продають навалом партіями від двох-трьох тисяч тонн і більше.

7.5 Піроліз біомаси

Піроліз – це хімічне перетворення одних сполук в інші під дією теплоти без доступу окиснювачів (кисню, повітря).

Характеристика продуктів піролізу залежить від типу сировини (деревина, нафтопродукти, побутове сміття, автомобільні шини, пластик тощо) та умов проведення процесу.

Переваги:

1. Високоєфективне знешкодження відходів.

2. Отримання продуктів, що використовують як паливо і сировину для хімічної промисловості.

3. Продукти горіння легко транспортувати і зберігати, займають мало місця.

4. Зменшення забруднення навколишнього середовища.

Недоліки:

1. При переробці деяких відходів, що містять фосфор, хлор, сірку (шини, пластик) до складу кінцевих продуктів піролізу входять леткі окиснені форми сірки і фосфору, що шкодять довкіллю; діоксини. Тому потрібно додаткове очищення піролізного газу.

2. Досить висока вартість промислових установок для піролізу.

3. Здійснення високотемпературного піролізу накладає обмеження на вибір матеріалів для виготовлення певних елементів установок. Крім цього, знижується рівень безпеки обладнання.

Основними *продуктами* піролізу можуть бути:

- твердий вуглецевий залишок (технічний вуглець);
- паливна рідина (піролізна смола);
- піролізний газ (пропан, етан, бутан та їх суміші).

Залежно від температури розрізняють:

1. Низькотемпературний піроліз (450...550 °C) характеризується максимальним виходом рідких і твердих (напівкокс) залишків і мінімальним виходом піролізного газу. Спосіб підходить для отримання первинної смоли – цінного рідкого палива. Напівкокс можна використовувати як енергетичне та побутове паливо.

2. Середньотемпературний піроліз (до 800 °C) дає вихід більшої кількості газу і меншої кількості рідкого залишку і коксу.

3. Високотемпературний піроліз (900...1 050 °C) – мінімальний вихід рідких і твердих продуктів і максимальне вироблення газу – високоякісного пального, придатного для далеких транспортувань.

Для інтенсифікації процесу використовують каталітичний піроліз і піроліз з добавками різних речовин.

З останніх розробок слід відзначити використання різних фізичних полів (акустичних, електромагнітних) у процесі піролізу. Ефект від дії цих полів приблизно такий самий, як і при використанні каталізаторів.

Установки або заводи з переробки твердих побутових відходів способом піролізу функціонують в США, Японії, в Євросоюзі (Німеччина, Данія тощо) та інших країнах.

7.6 Газифікація біомаси

Газифікація біомаси – це перетворення біомаси, твердого або рідкого палива в горючі гази при високотемпературному нагріванні (1 000...2 000 °C) із окиснювачем (кисень, повітря, водяна пара, вуглекислий газ, їх суміші). Отриманий газ називають *генераторним*.

Переваги:

1. Знешкодження відходів.

2. Отримання продуктів, що використовують як паливо і хімічну сировину.

3. Продукти горіння легко транспортувати і зберігати.

4. Зменшення забруднення навколишнього середовища.

Недоліки:

1. Способи газифікації переважно складніші і менш ефективні, ніж процеси піролізу, оскільки потребують підведення до робочої зони установок газифікованих агентів.

2. Їм властиві практично всі вищевказані недоліки технологій піролізу.

Газифікації піддають вугілля, торф, мазут, гудрон і такі види біомаси:

- органічні компоненти твердих міських відходів, в тому числі паперу, тканин, гуми, трави, обрізків деревини, харчових відходів;
- відходи лісу, в тому числі обрізки деревини, кори, тирси, деревного вугілля;
- сільськогосподарські відходи, які утворюються після збору врожаю (стрижні кукурудзи, відходи злакових та бобових культур, льону та інші).

Залежно від природи палива, типу окисника, температури процесу та його технологічного оформлення отримують різні види газоподібного палива, у тому числі такі:

- синтез-газ – містить різні кількості монооксиду вуглецю і водню, а також малу кількість діоксиду вуглецю;
- водяний газ – газова суміш із, об. %, CO – 44, N₂ – 6, CO₂ – 5, H₂ – 45. Так називають через спосіб отримання – продування водяної пари через шар розпеченого вугілля;
- змішаний газ – газова суміш, за складом проміжна між синтез-газом і водяним газом – CO – 30, N₂ – 50, CO₂ – 5, H₂ – 15 об. % тощо.

Генераторний газ використовують як паливо для отримання теплової енергії в побуті та різних процесах промисловості, в двигунах внутрішнього згорання, як сировина для отримання водню, аміаку, метилового спирту та синтетичного рідкого палива.

7.7 Біогаз зі звалищ

В Україні щорічно утворюється 13 млн. тонн сміття. На переробку надходить лише 5,93 % ТПВ. Решта 94 % надходять на звалища і полігони, де відбуваються процеси розкладання.

Шість тисяч легальних звалищ займають площу понад 10 тис. гектарів, 16 % із них перевантажені. Відходи часто звозять на стихійні сміттєзвалища, їх кількість і стан ніхто не контролює.

Нижні шари відходів на звалищах не мають доступу до повітря, в них відбуваються активні анаеробні процеси розкладання органічної частини. Якщо умови складування не змінюються, процес розкладання стабілізується з постійним виділенням біогазу, практично постійного складу. Цей біогаз можна збирати і використовувати як паливо.

Переваги:

1. Має значний економічний ефект за рахунок продажу електроенергії, отриманої з біогазу.

2. Зменшуються обсяги звалищ.

3. Знижується ризик пожеж на звалищах.
4. Зменшуються викиди парникових газів.
5. Зменшується споживання природного газу.

Недоліки:

1. Неоднорідність відходів, особливо несорттованих, зумовлює нерівномірний вихід біогазу протягом одиниці часу та нестабільний склад.
2. Необхідність буріння значної кількості свердловин.
3. Надто розгалужена система збору газу.
4. Ускладнене подальше використання звалища через наявність систем збору біогазу.

Вихід і склад біогазу з відходів залежить від природи матеріалів, що переробляють, і коливається в досить широких межах: метан – 55...80 %; вуглекислий газ – 15...50 %; азот – до 5 %; сірководень – до 3 %. За теплотворної здатністю 1 м³ біогазу еквівалентний в середньому 0,6 дм³ газу або 1,5 кг вугілля і забезпечує вироблення 2 кВтгод електроенергії.

Зі звалищ біогаз може бути добутий за допомогою свердловини і вакуум-насосів.

Всього в Україні на кінець 2020 р. встановлено 103 МВт біогазових потужностей. Для порівняння ще 5 років тому було лише близько 20 МВт.

У багатьох країнах ЄС (Німеччина, Нідерланди, Італія, Франція), у Великій Британії, США видобувають біогаз зі звалищ. На одному зі звалищ міст США просвердлено 60 свердловин, з яких видобувають 4 000 кубічних метрів біогазу за годину.

Запитання для самоперевірки

1. Назвіть переваги виробництва і використання біодизелю.
2. Охарактеризуйте проблеми виробництва біодизелю.
3. У чому полягають переваги виробництва і використання біонафти?
4. Які проблеми є при виробництві біонафти?
5. Що є перевагами виробництва водню біологічними способами?
6. Які недоліки роботи установок для термічного перетворення біомаси?
7. Переваги роботи установок для термічного перетворення біомаси.
8. Екологічність установок для термічного перетворення біомаси.
9. Охарактеризуйте розвиток біодизельної енергетики, технологій термічного перетворення біомаси в Україні, країнах Євросоюзу, в світі в цілому.

Тема 8. Альтернативна гідроенергетика: історія розвитку, основні процеси і обладнання, найбільші ПЕС, ХЕС у світі, впровадження технологій ОТЕС, досвід країн ЄС, перспективи розвитку в Україні

Величезна кількість енергії зосереджена в морях і океанах, які займають близько 71 % поверхні Землі. В них міститься енергія:

- припливів та відпливів;
- хвиль;

- течій;
- за рахунок різниці температур води моря та океану на поверхні та в глибині (енергія температурного градієнта морської води);
- взаємодії прісних і солоних вод.

8.1 Енергія припливів та відпливів

Припливна електростанція (ПЕС) – вид гідроелектростанції, що використовує енергію припливів, а фактично кінетичну енергію обертання Землі залежно від інших астрономічних тіл.

Припливні електростанції будують на узбережжі морів, де гравітаційні сили Місяця та Сонця двічі на добу змінюють рівень води. Через близькість Місяця до Землі величина припливу під дією Місяця у 2,2 рази більша сонячного.

Амплітуди і форми припливно-відпливних хвиль на різних узбережжях Світового океану суттєво різняться, що пов'язано із такими факторами, як глибина, конфігурація берегової лінії тощо.

Переваги ПЕС:

1. Припливні коливання рівня води прогнозовані.
2. Стійко працює в енергосистемах із гарантованим постійним місячним виробітком електроенергії (вироблення енергії не залежить від водності року).
3. Не забруднює атмосферу шкідливими викидами на відміну від теплових станцій, не становить потенційної небезпеки радіоактивного забруднення на відміну від атомних електростанцій.
4. Не призводить до затоплення земель на відміну від гідроелектростанцій, відсутня необхідність створення водосховищ.
5. Низька собівартість виробництва електроенергії.
6. Легші в обслуговування і довговічніші, ніж океанічні електростанції, що перетворюють хвильову енергію.

Недоліки:

1. Значні капітальні витрати.
2. Режим роботи ПЕС характеризується специфічними особливостями, пов'язаними з циклічністю припливів, потужність змінюється протягом доби, тому ПЕС можуть працювати лише в складі енергосистеми, що має достатню потужність електростанцій інших типів.
3. Розмах лопатей придонних ПЕС перешкоджає навігації в районах розташування станцій.
4. Можливе нанесення шкоди морській флорі і фауні при будівництві та функціонування ПЕС, хоча даний факт активно досліджується і нерідко заперечується.
5. Устаткування має витримувати вплив солоної води протягом тривалої експлуатації.

Існують два способи використання енергії припливними електростанціями (ПЕС):

1. Використовують той же принцип, що й звичайні ГЕС. На дні моря недалеко від берега встановлюють турбіну з лопатями, які обертаються водою,

що рухається під час припливів/відпливів. Сила води обертає турбіни, пов'язані з електричним генератором.

2. Використовують енергію руху води – перепад рівнів «повної» і «малої» води під час припливу і відпливу. При цьому на морському дні встановлюють греблю, що відсікає затоку від моря. Вона складається з ряду млинів, подібних вітряним, чиї обертові турбіни пов'язані з електрогенераторами, що подають вироблений струм на прибережні електростанції. Система змінює напрямок турбінних лопатей при зміні напрямку руху води. Для будівлі ПЕС перепад висот припливів і відливів повинен становити не менше п'яти метрів.

На початок припливу опущені засувки відокремлюють басейн від моря і при досягненні необхідного мінімального напору (між рівнями моря і басейну) починають працювати турбіни, використовуючи потік води з моря в басейн, і відбувається наповнення басейну. Коли перепад між морем і басейном досягає мінімуму, відключаються турбіни, засувки піднімаються і відбувається вирівнювання рівнів у морі та басейні, після чого засувки закриваються, відокремлюючи басейн від моря. У період відпливу при досягненні необхідного напору (між рівнями басейну і моря) включаються турбіни і відбувається зпорожнення басейну. Потім цикл повторюється.

Потенціал енергії морських припливів у світі дорівнює 450 ТВт·год на рік.

ПЕС є країнах Євросоюзу (перш за все у Франції), Великій Британії, Канаді, Китаї, Індії, США та тощо.

ПЕС «Ля Ранс» – перша та одна з найбільших, побудована у 1966 р. в естуарії річки Ранс (Північна Бретань). Сіхвінська ПЕС у штучній затоці Сихва-Хо в Південній Кореї – найбільша припливна енергетична установка в світі, потужність – 254 МВт. Будівництво було завершено в 2011 році; також є британська Сіджен, канадська ПЕС Аннаполіс і норвезька ПЕС Хаммерфест.

8.2 Енергія хвиль

Енергія хвиль – кінетична енергія, що її несе коливання поверхні морів чи океанів. За допомогою хвильових перетворювачів енергія хвиль реалізується у електричну або іншу, придатну до використання.

Хвильові енергетичні комплекси різних потужностей можуть бути використані для енергозабезпечення прибережних і острівних поселень, а також морських суден. На базі малопотужних ХЕС можливе створення метеосистем, глобальних і регіональних систем зв'язку та навігації, систем телекомунікації, а також встановлення апаратури аварійного індивідуального життєзабезпечення тощо.

Середня хвиля, висотою 3 м несе приблизно 90 кВт енергії на 1 м² узбережжя.

Місця з найбільшим потенціалом для хвильової енергетики: західне узбережжя Європи, північне узбережжя Великої Британії та Тихоокеанське узбережжя Північної, Південної Америки, Австралії та Нової Зеландії, а також узбережжя Південної Африки.

Переваги:

1. Значний сумарний енергетичний потенціал.

2. Збільшення потужності в осінньо-зимовий період (коли якраз зростає споживання електроенергії).

3. Хвильові електростанції можуть виконувати роль хвилерізів, захищаючи порти, гавані і береги від руйнування.

4. Не забруднює атмосферу шкідливими викидами на відміну від теплових станцій, не становить потенційної небезпеки радіоактивного забруднення на відміну від атомних електростанцій.

Недоліки:

1. Обмежене використання хвильових електростанцій (ХЕС) пов'язано перш за все з дорожнечою одержуваної енергії. Один кіловат електрики, отриманий на ХЕС в кілька разів дорожчий за аналогічний на ТЕС і АЕС.

2. Покриття значної частини акваторії перетворювачами хвиль може погіршити екологічну ситуацію, оскільки хвилі відіграють велику роль в газообміні океану і атмосфери, в очищенні водної поверхні від забруднень.

3. Деякі типи генераторів можуть призвести до витіснення рибалок із продуктивних рибпромислових районів і становити загрозу для безпечного плавання.

4. Устаткування має витримувати вплив солоної води протягом тривалої експлуатації.

Хвильові гідроенергетичні установки складаються з трьох основних частин – робочого тіла (або водоприймача), силового перетворювача з генератором енергії і системи кріплення.

Робоче тіло (тверде, рідинне або газоподібне), безпосередньо контактуючи з водою, переміщується під дією хвиль або змінює тим чи іншим способом умови їх розповсюдження. Як робоче тіло можуть використовувати поплавки, водоприймальні камери, еластичні труби, хвильовідбійні споруди тощо.

Силовий перетворювач призначений для перетворення енергії, яка запасається робочим тілом (механічної енергії руху твердого тіла, перепаду рівнів води в басейнах, тиску повітря або рідини), в енергію, придатну для передачі на відстань або для безпосереднього використання. Як силові перетворювачі можуть використовувати гідравлічні або повітряні турбіни, водяні колеса, зубчаті або ланцюгові передачі та інші пристрої.

Система кріплення забезпечує утримання на місці хвильової установки.

Види ХЕС:

- поплавкові ХЕС виробляють енергію завдяки руху плаваючого поплавка при піднятті його хвилею. Насос пристрою працює за рахунок вертикального поршня, що знаходиться між двома поплавками: один з них розташований на поверхні води, інший – під водою, прив'язаний до морського дна. При хвилюванні моря, ці поплавки рухаються вгору і вниз, тим самим перекачуючи воду по трубах до берегової турбіни. А турбіна виробляє електрику;

- турбінні – завдяки обертанню турбіни, що приводиться в дію повітрям, яке витісняється хвилею зі спеціальної камери;

- гідравлічні – завдяки руху гідравлічних поршнів у конвертерах.

Ірландська компанія Ocean Energy наприкінці 2019 р. завершила створення експериментальної хвильової електростанції на Гаваях, яка являє собою буй

вагою 826 тонн, що поглинає енергію хвиль. Установка генерує близько 1,25 МВт енергії, здатна забезпечити електроенергією близько 18 тис. осіб.

8.3 Енергія течій

Морські течії – постійні або періодичні рухи водних мас у певному напрямку на великі відстані в океанах і морях, обумовлені вітром, гравітаційними причинами, різною щільністю води.

Морські течії мають невичерпні запаси кінетичної енергії. Цю енергію, можна перетворити в електричну енергію за допомогою турбін, занурених у воду. Перспективним є використання таких потужних течій, як Гольфстрим (температура поверхневих вод 27 °С) і Куросіо, що несуть відповідно 83 і 55 млн. м³/с води зі швидкістю до 2 м/с, і Флоридської течії (30 млн. м³/с, швидкість до 1,8 м/с).

За температурними умовами розрізняють:

- теплі течії, які мають температуру води вищу за температуру навколишніх вод, здебільшого мають напрям від екватора до полюсів. Значно пом'якшують клімат прилеглої акваторії;

- холодні течії, які мають температуру води нижчу за температуру навколишніх вод, здебільшого мають напрям від вищих широт до нижчих. Значно погіршують клімат навколишніх акваторій, знижуючи середньорічні температури повітря, підвищуючи посушливість;

- нейтральні течії несуть води з температурою навколишніх вод.

Залежно від розміщення в товщі океанічних вод розрізняють течії:

- поверхневі;
- глибинні;
- придонні.

Переваги: значний сумарний енергетичний потенціал.

Недоліки:

1. Низька концентрація енергії, у зв'язку з чим установки мають великі розміри, високі матеріалоемність і питому вартість.

2. Ускладнений доступ до профілактики і ремонту устаткування.

3. Можливий негативний вплив на екосистеми (загибель морських тварин від лопатей тощо).

4. Апаратура має бути посиленої міцності і надійності, щоб витримувати складні умови впливу потужних підводних течій, солоність води.

Запропоновано різні типи потужних енергетичних установок для використання енергії потоків океанських течій.

У більшості використовують лопатеві робочі колеса з вертикальною або горизонтальною віссю обертання, занурені в потік під рівень води. Установка розміщується біля дна моря на жорсткій опорі або закріплюється в потоці за допомогою тросів і якорів. Сила води обертає лопаті турбіни, пов'язані з електричним генератором.

У ряді країн, і в першу чергу у Великій Британії, ведуться інтенсивні роботи з використання енергії морських течій.

У проєкті використання енергії океанських течій у флоридській заплаві (США) передбачається розміщення 242 підводних установок потужністю 83 МВт кожна.

Японська організація NEDO спільно з компаніями ІНІ і Toshiba реалізує програму щодо встановлення «повітряних змій» – підводних плавучих турбін, які використовують міць течії Куросіо.

8.4 Теплова енергія океанів (енергія температурного градієнта морської води)

Світовий океан – величезний природний колектор сонячного випромінювання. Температура води змінюється у вертикальному напрямку (знижується з глибиною, оскільки сонячні промені не проникають на значну глибину) і в горизонтальному (температура поверхневих вод знижується від екватора до полюсів через різницю у кількості отриманого сонячного тепла).

У Світовому океані різниця температур між теплими поверхневими водами, які поглинають сонячне випромінювання, та холоднішими придонними, становить до 20...25 °С. Так, в тропічних районах поверхня води нагрівається до 27 °С. На глибині 600 метрів температура падає до 2...5 °С.

Це забезпечує запас теплової енергії, що безперервно поповнюється і яка принципово може бути перетворена в інші види.

Термін «перетворення теплової енергії океану» ОТЕС (*англ.* ocean thermal energy conversion) означає перетворення деякої частини цієї теплової енергії в роботу і далі в електричну енергію.

Переваги:

1. Стабільність режиму роботи (90...95 %), оскільки температура морської води в районі екватора постійна протягом року.

2. Відсутність негативного впливу на навколишнє середовище. Хоча можливе виділення CO₂ з холодних глибинних вод, що підіймаються на поверхню, внаслідок зменшення їх тиску і збільшення температури.

3. Створення економічно виправданих споруд потребує лише деякої доробки таких широко відомих пристроїв, як теплообмінники та турбіни.

4. Застосування ОТЕС знижує температуру нижніх шарів атмосфери.

5. Морська вода з глибин багата на нітрати, що можна розподілити навколо станції. Це дозволить інтенсифікувати ріст водоростей, що, в свою чергу, привертало б інших морських мешканців з вищих харчових ланцюжків. За рахунок цього можна створити основу для комерційного розведення риби.

6. Працювати такі установки можуть безперервно в автономному режимі, адже вони самі себе і забезпечують електроенергією.

Недоліки:

1. Корозія, утворювана на металевих деталях у морській воді.

2. Обростання елементів теплообмінників морськими організмами.

3. Низький коефіцієнт корисної дії (1...3 (до 5) %), адже дуже багато енергії витрачають на роботу потужних насосів, які піднімають холодну воду зі значних глибин, та й холодоагент циркулює між камерами з невеликою швидкістю.

4. Вартість та великі масштаби установок.

Все оснащення такої електростанції разом з генератором знаходиться на плаваючій платформі, а електроенергію передають на землю за допомогою підводного кабелю.

Щоб запустити робочий цикл на такій електростанції різниця температур повинна бути як мінімум 20 градусів. Отже, цей спосіб одержання електричної енергії підходить для тепліших морських районів.

Теплу воду використовують, щоб випарити рідину, що кипить на низьких температурах, утворюючи пару, яка надає руху турбіні. Холодну морську воду (4...6 °C) потім накачують із глибини кількох сотень метрів і використовують для охолодження й конденсації пари назад у рідкий стан.

Термальні електростанції працюють в Індонезії, на острові Балі (5 МВт), в Японії (10 МВт), на Гаїті (5 МВт) і на Гавайях (40 МВт).

8.5 Енергія взаємодії прісних і солоних вод

Досліджується можливість використання енергії, яку отримують при взаємодії прісної та солоної вод. Процес ґрунтується на явищі *осмосу*, при якому рідина проходить через мембрану з обмеженою проникністю (проникна для води і не пропускає розчинені в ній солі).

Переваги:

1. Солоні вода є відновлюваним природним ресурсом;
2. Не потрібне будівництво складних спеціальних гідротехнічних споруд.
3. Екологічність – ніяких відходів, шкідливих викидів. Осмотичні електростанції можуть бути встановлені навіть у межах міста.
4. Незалежність від рельєфу місцевості, станція може працювати й на рівнині.

Недоліки:

1. Мембрани потребують регулярного чищення від органічних залишків, що забивають її мікропори, або частой їх заміни.
2. Такі електростанції можуть будуватися лише в гирлах річок, де прісна вода вливається в солону морську.

Якщо по різні сторони напівпроникної мембрани знаходяться солевмісні розчини з різною концентрацією, молекули води будуть перемішатися через мембрану із слабо концентрованого розчину в більш концентрований, викликаючи в останньому зменшення концентрації солі і підвищення рівня рідини. Різниця рівнів прісної та солоної води створює тиск, який називається осмотичним.

Аналогічно, якщо в посудину, розділену мембраною, з одного боку залити прісну воду, а з іншого – солону воду, то рівень солоної почне підвищуватись, тобто виникне різниця рівнів води, або потенціальна енергія, яка може бути перетворена в турбіні в механічну енергію, а потім в електричну.

Напівпроникні мембрани виробляють з полімерних матеріалів, пористого скла, графіту, металевої фольги тощо.

Вчені розробили нове технологічне рішення, здатне виробляти величезну кількість енергії в місцях впадання річок у моря і океани, – будівництво *осмотичних електростанцій*.

Принцип роботи осмотичної електростанції у місцях, де ріка впадає в море заснований на утворенні осмотичного тиску.

Один із резервуарів заповнюють прісною водою, інший – солоною. Їх розділяють спеціальною мембраною, яка пропускає воду, але непроникна для молекул солі. Оскільки така система прагне до рівноваги, солоніша вода як би витягає прісну воду з резервуара. При цьому з'являється тиск, який буде обертати лопаті турбіни й виробляти електрику.

У 2009 році в Норвегії в місті Тофте на території целюлозно-паперового комбінату «Södra Cell Tofte» почала роботу побудована компанією Statkraft перша, і поки єдина в світі, електростанція, що використовує різницю солоності морської й прісної води для одержання електроенергії.

Запитання для самоперевірки

1. Назвіть види енергії Світового океану, які придатні для промислового використання.
2. Проаналізуйте переваги використання енергії морських припливів і відпливів.
3. Назвіть проблеми роботи ПЕС.
4. Охарактеризуйте переваги використання енергії морських хвиль.
5. Проаналізуйте проблеми, що виникають при роботі ХЕС.
6. Охарактеризуйте переваги використання енергії течій.
7. Проаналізуйте проблеми, що виникають при експлуатації установок для використання енергії потоків океанічних течій.
8. У чому полягають проблеми промислового використання теплової енергії океанів.
9. Які ви знаєте переваги промислового використання теплової енергії океанів.
10. Які вам відомі переваги використання енергії взаємодії прісних і солоних вод.
11. Проаналізуйте проблеми, що виникають при будівництві та експлуатації осмотичних станцій.
12. Наведіть приклади реалізованих проектів в альтернативній гідроенергетиці в країнах Європи.

Тема 9. Грозова, гравітаційна та кріоенергетики – погляд у майбутнє: основні процеси і обладнання, країни-зачинателі, досвід країн ЄС

9.1 Грозова енергетика

Блискавка – електричний розряд між хмарами або між хмарию та землею.

Є різні види блискавок: лінійні (хмара-земля, земля-хмара, хмара-хмара), стрічкові, кульові тощо.

Грозова енергетика – теоретичний спосіб отримання енергії уловлюванням і перенаправленням енергії блискавок в електромережу.

Компанія Alternative Energy Holdings 11 жовтня 2006 року оголосила про успішний розвиток прототипу моделі, яка може продемонструвати можливості «захоплення» блискавки для подальшого її перетворення в електроенергію.

Переваги:

1. Використовує відновлюване джерело енергії. Кількість розрядів блискавок на планеті – 50... 100 щосекунди.

2. Дуже важливим є те, наскільки значна потужність від одного розряду, яка сприяє виробленню достатньої кількості енергії (близько 5 млрд. Дж чистої енергії, що дорівнює 145 літрам бензину).

3. Екологічність. Блискавка є чистою енергією, процес отримання енергії не супроводжується утворенням відходів, шкідливих викидів чи стічних вод.

4. Буде значно здешевлювати виробництво енергії. Окупатися така установка буде за 4...7 років, «грозові ферми» зможуть виробляти і продавати електроенергію за ціною всього \$ 0,005 за кіловат-годину, що значно дешевше виробництва енергії за допомогою сучасних джерел.

Недоліки:

1. Блискавки є дуже ненадійним джерелом енергії, оскільки заздалегідь не можна дуже точно передбачити, де і коли трапиться гроза.

2. Розряд блискавки триває частки секунди і, як наслідок, його енергію потрібно запасати дуже швидко. Для цього будуть потрібні потужні й дорогі конденсатори.

3. Надвисока напруга в системах грозових електростанцій може бути небезпечною для працівників.

4. Через те, що потужності зарядів непостійні, сила струму блискавки коливається від 5 кА до 200 кА, виникає проблема з їх розподілом та трансформуванням.

Грозова електростанція являє собою систему зберігання енергії блискавки, яка включає в себе блискавковідвід, провід, енергозбираючий блок і заземлюючий стрижень. Блискавковідвід налаштований на захоплення блискавки на електрод і передачі електричної енергії. Енергозбираючий блок містить щонайменше один конденсатор і перемикач. Шток заземлення з'єднаний із проводом. Керуючий сигнал управляє перемикачем, щоб направляти електричну енергію на землю через заземлюючий стрижень або для зарядки конденсатора.

9.2 Кріоенергетика (низькотемпературна енергетика)

Кріоенергетика – це накопичення енергії зрідженням (скрапленням) повітря в холодильних установках. Коли рідке повітря потім нагрівають, воно розширюється, і приводить у дію турбіну для вироблення електроенергії.

Одна з найбільших у світі установок для зберігання «холодної» енергії була введена в експлуатацію 2016 року під Манчестером (Велика Британія). Ця електростанція потужністю 5 МВт може обслуговувати до п'яти тисяч будинків протягом трьох годин.

Компанія Highview Power, яка розробила установку, вважає, що закладена в неї технологія має великий потенціал для довгострокового використання.

Працюючи з приватним фінансуванням у розмірі 50 мільйонів доларів, компанія вже побудувала п'ять заводів у своїй країні, ще кілька будують, а також планується будівництво в США. Англійці – «законодавці моди» в кріоенергетиці.

Наприкінці жовтня 2019 року компанія Highview Power оголосила, що планує побудувати свій перший великий комерційний об'єкт у Великобританії – 50 МВт/250 МВтгод.

Переваги:

1. Не потребує великих площ і спеціального ландшафту як гідроакумуючі електростанції.
2. Повітря належить всім і його не потрібно добувати із надр.
3. Використання цієї новинки дасть можливість підтримати і забезпечити стабільну роботу нестабільних джерел енергії.
4. Є абсолютно екологічним.

Не зважаючи на суттєві переваги, поки що масштабність цієї технології недооцінена.

Недолік: досить високі енерговитрати на охолодження повітря. Хоча в умовах природно низьких температур, ці витрати можна значно скоротити.

Процес відбувається у три етапи:

1. Повітря очищають від домішок: пил та інші тверді компоненти видаляють на фільтрах; для видалення вологи, CO₂ і вуглеводнів застосовують адсорбери.
2. Повітряну суміш стискають під тиском до 40 атм. У кріогенній установці повітря охолоджують до -196 °С, що перетворює його в рідку суміш азоту та кисню. Цю суміш потім зберігають в ізольованому резервуарі, схожому на велику термосну колбу («кріотермоси»).
3. Щоб вивільнити накопичену енергію, рідке повітря подають у випаровувач в умови навколишнього середовища. Різка зміна температури призводить до моментального розширення повітря приблизно у 700 разів. Це розширення приводить у дію турбіну для вироблення електроенергії.

9.3 Гравітаційна енергетика

Гравітаційна енергетика – це акумулювання надлишкової енергії запасанням її у вигляді потенційної енергії гравітаційного поля.

Переваги:

1. Використовують для вирівнювання добової неоднорідності графіка електричного навантаження.
2. Відносно дешеве виробництво електроенергії.
3. Екологічність процесу.

Недоліки:

1. Досить низький ККД.
2. Громіздкість конструкції.
3. Значні капітальні витрати.

Компанія Energy Vault розробила проект гравітаційної акумулюючої електростанції, що представляє собою підйомний кран з шістьма стрілами,

висотою 122 м. Ця конструкція організовує переміщення 35-тонних бетонних блоків у відповідь на коливання електроспоживання.

Коли потреба споживачів у енергії зменшується, тобто в електромережу надходить надлишкова енергія, її витрачають на підняття блоків: крани оточують себе концентричними бетонними кільцями.

Щойно попит в електроенергії збільшується, бетонні кільця переміщуються вниз під впливом сили тяжіння, це запускає турбіни, перетворюючи кінетичну енергію в електрику, що передається назад в енергосистему.

Система приводів працює то в режимі електричних двигунів, то електричних генераторів.

Запитання для самоперевірки

1. Проаналізуйте переваги розвитку грозової енергетики.
2. У чому полягають проблеми експлуатації грозових електростанцій?
3. Які є переваги розвитку гравітаційної енергетики?
4. Проаналізуйте проблеми, що виникають при роботі гравітаційних акумулюючих електростанцій.
5. Що є перевагами розвитку кріоенергетики? Досвід європейських країн.
6. Проаналізуйте проблеми, що супроводжують будівництво і експлуатацію кріогенних акумулюючих електростанцій.

Рекомендована література

Базова

1. Альтернативні енергоресурси. Вступ до спеціальності / Бойченко С., Яковлева А., Вовк О. та ін. – К.: ЦУЛ, 2021. – 390 с. – Режим доступу: https://elibrary.nuft.edu.ua/library/DocDescription?doc_id=410025.
2. Біоенергетичні проекти : від ідеї до втілення [Текст] : місцеві альтернативні джерела енергії : м. Миргород : практ. посіб. / Тормосов Р., Черниш І., Шпаков А. та ін. – К. : Поліграф плюс, 2018. – 208 с. – Режим доступу: http://elibrary.nuft.edu.ua/library/DocDescription?doc_id=328220.
3. Гелету́ха, Г. Г. Дорожня карта розвитку біоенергетики України до 2050 року [Текст] / Г. Г. Гелету́ха, Т. А. Желєзна, А. І. Баштовий // Теплофізика та теплоенергетика. – 2020. – Т. 42, № 2. – С. 60 – 67. – Режим доступу: http://elibrary.nuft.edu.ua/library/DocDescription?doc_id=394795.
4. Енергоефективність та використання відновлювальних джерел енергії в агро-харчовій промисловості [Текст] : путівник / М. М. Масліков ; Нац. ун-т харч. технол. – Київ, 2017. – 132 с. – Режим доступу: http://elibrary.nuft.edu.ua/library/DocDescription?doc_id=366859.
5. Краснянський, М. Ю. Енергозбереження [Текст] : навч. посіб. / М. Ю. Краснянський. – Київ : Кондор, 2021. – 136 с. – Режим доступу: http://elibrary.nuft.edu.ua/library/DocDescription?doc_id=403988.
6. Низькопотенційна енергетика [Текст] : навч. посіб. / А. О. Редько, М. К. Безродний, М. В. Загорученко та ін. ; під ред. А. А. Долинського; М-во освіти і науки України, Нац. техн. ун-т України «Київ. політех. ін-т»; Одес. нац. акад. харч. технол.; Харк. нац. ун-т буд-ва та архітек.; Вінниц. нац. техн. ун-т. – Харків : Друкарня Мадрид, 2016. – 412 с. – Режим доступу: http://elibrary.nuft.edu.ua/library/DocDescription?doc_id=366858.

Допоміжна

7. Альтернативна енергетика / В.В. Малишев, А.М. Поліщук, А.І. Габ., Д.Б. Шахнін. – К.: Університет «Україна». – 2020. – 65 с.
8. Гелету́ха, Г. Біоенергетика як шанс замістити 2/3 потреб України в газопостачанні: mission possible [Текст] / Г. Гелету́ха, В. Антоненко // Екологія підприємства. – 2019. – № 5 (82), трав. – С. 66 – 71. – Режим доступу: http://elibrary.nuft.edu.ua/library/DocDescription?doc_id=381092
9. Закон України «Про альтернативні види палива». – Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1391-14#Text>.
10. Закон України «Про альтернативні джерела енергії». – Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/555-15#Text>.
11. Енергетична стратегія України на період до 2035 року «Безпека, енергоефективність, конкурентоспроможність». – Режим доступу: https://mepr.gov.ua/files/images/news_2020/21012020/%D0%95%D0%BD%D0%B5%D1%80%D0%B3%D0%B5%D1%82%D0%B8%D1%87%D0%BD%D0%B0%20%D1%81%D1%82%D1%80%D0%B0%D1%82%D0%B5%D0%B3%D1%96%D1%8F%20%D0%A3%D0%BA%D1%80%D0%B0%D1%97%D0%BD%D0%B8%20

[%D0%BD%D0%B0%20%D0%BF%D0%B5%D1%80%D1%96%D0%BE%D0%B4%20%D0%B4%D0%BE%202035%20%D1%80%D0%BE%D0%BA%D1%83.pdf.](#)

12. Напрями розвитку альтернативних джерел енергії: акцент на твердому біопаливі та гнучких технологіях його виготовлення : монографія / О. С. Полянський, О. В. Дьяконов, О. С. Скрипник та ін. – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2017. – 136 с. – Режим доступу: <https://core.ac.uk/download/pdf/95312631.pdf>.

13. Півняк, Г.Г. Альтернативна енергетика в Україні: монографія / Г.Г. Півняк, Ф.П. Шкрабець; Нац. гірн. ун-т. Д.: НГУ, 2013. – 109 с. – Режим доступу: <http://ir.nmu.org.ua/bitstream/handle/123456789/3498/CD274.pdf?sequence=1>.

14. Directive (EU) 2018/2001 of the European Parliament and of the Council of 11 December 2018 on the promotion of the use of energy from renewable source. – Режим доступу: https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=uriserv:OJ.L_.2018.328.01.0082.01.ENG; <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:32018L2001&from=EN>.

15. Directive (EU) 2018/2002 of the European Parliament and of the Council of 11 December 2018 amending Directive 2012/27/EU on energy efficiency. – Режим доступу: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:32018L2002&rid=7>.

16. Renewable energy statistics. Eurostat. – Режим доступу: https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Main_Page.

Summary of the EU Biomass case // EU Biomass Legal Case. – Режим доступу: <http://eubiomasscase.org/the-case/>.

17. Directive 2009/28/EC of the European Parliament and of the Council of 23 April 2009 on the promotion of the use of energy from renewable sources and amending and subsequently repealing Directives 2001/77/EC and 2003/30/EC. – Режим доступу: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/en/TXT/?uri=celex:32009L0028>.

18. Новий механізм ЄС з фінансування ВДЕ: можливості для України. – Режим доступу: <https://dixigroup.org/wp-content/uploads/2021/04/2-dixi-vde-finance.pdf>.

19. A European Green Deal. Striving to be the first climate-neutral continent. – Режим доступу: https://web.archive.org/web/20201214225447/https://ec.europa.eu/info/strategy/priorities-2019-2024/european-green-deal_en.

20. Council Directive 1999/31/EC of 26 April 1999 on the landfill of waste. – Режим доступу: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=celex%3A31999L0031>.

21. Directive 2004/35/CE of the European Parliament and of the Council of 21 April 2004 on environmental liability with regard to the prevention and remedying of environmental damage. – Режим доступу: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:32004L0035>.

22. Directive 2008/98/EC of the European Parliament and of the Council of 19 November 2008 on waste and repealing certain Directives (Text with EEA

relevance). – Режим доступу: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=celex%3A32008L0098>.

23. Directive (EU) 2018/851 of the European Parliament and of the Council of 30 May 2018 amending Directive 2008/98/EC on waste. – Режим доступу: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A32018L0851>.

24. Bublienکو, N. Biotransformation of wastewater production of bakery yeast with biogas generation / N. Bublienکو, R. Zakharova, N. Stetsenko// Water and water purification. – 2022. – Vol. 32, № 1. – 16 – 22 с.

25. Реальна енергонезалежність: виклики для України / Н.О. Бублієнко, І.Л. Якименко, Р.А. Захарова, О.М. Салавор, О.В. Ничик // Збірник наукових статей за матеріалами IV Міжнародної науково-практичної конференції «Європейські виміри сталого розвитку», 20 – 21 жовтня 2022. – К.: НУХТ, 2022. – 17 – 29 с.

26. Перспективи вітчизняної вітрової та сонячної енергетики у контексті екологічної та енергетичної політики Європейського Союзу / Ничик О.В., Салавор О.М., Бублієнко Н.О., Якименко І.Л.// Збірник наукових статей за матеріалами IV Міжнародної науково-практичної конференції «Європейські виміри сталого розвитку», 20 – 21 жовтня 2022. – К.: НУХТ, 2022. – 109 – 118 с.

Інформаційні ресурси

1. Інтернет-журнал «Біоенергетика/Віоenergy» / Інститут біоенергетичних культур і цукрових буряків. – Режим доступу: <https://bio.gov.ua/typ-podivi/zhurnal-bioenergetyka> <http://be.bio.gov.ua/issue/archive>

2. Інтернет-журнал «Ecobusiness» («Екологія підприємства») / Професійна асоціація екологів України. – Режим доступу: <https://ecolog-ua.com/>.

3. Онлайн-журнал «Відновлювана енергетика» / Інститут відновлюваної енергетики НАН України. – Режим доступу: https://www.ive.org.ua/?page_id=185.