

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ДЕРЖАВНИЙ ВИЩИЙ НАВЧАЛЬНИЙ ЗАКЛАД
ДОНЕЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

ФАКУЛЬТЕТ ЕКОЛОГІЇ ТА ХІМІЧНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ
КАФЕДРА ПРИРОДООХОРОННОЇ ДІЯЛЬНОСТІ

КОНСПЕКТ ЛЕКЦІЙ

з вибіркової навчальної дисципліни циклу дисциплін за вибором ВНЗ

АЛЬТЕРНАТИВНІ ДЖЕРЕЛА ЕНЕРГІЇ
для студентів денної форми навчання

напрями підготовки 6.040106 «Екологія, охорона навколишнього середовища та збалансоване природокористування»
6.050301 «Гірництво»

спеціалізації Екологія в гірництві (ЕГС)

Організація і контроль природоохоронної діяльності (ПД)
Комплексна розробка та раціональне використання надр
(КВН)

Факультет екології і хімічної технології
гірничий факультет

**ДЕРЖАВНИЙ ВИЩИЙ НАВЧАЛЬНИЙ ЗАКЛАД
ДОНЕЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**

**ФАКУЛЬТЕТ ЕКОЛОГІЇ ТА ХІМІЧНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ
КАФЕДРА ПРИРОДООХОРОННОЇ ДІЯЛЬНОСТІ**

КОНСПЕКТ ЛЕКЦІЙ

з вибіркової навчальної дисципліни циклу дисциплін за вибором ВНЗ

**АЛЬТЕРНАТИВНІ ДЖЕРЕЛА ЕНЕРГІЇ
для студентів денної форми навчання**

РОЗГЛЯНУТО:

на засіданні кафедри

Природоохоронної діяльності

Протокол №__ від _____

_____ 20__ р.

ЗАТВЕРДЖЕНО:

на засіданні навчально-

видавничої ради ДонНТУ

Протокол №__ від _____

_____ 20__ р.

Донецьк, 2013

УДК- _____ (_____)

Конспект лекцій вибіркової навчальної дисципліни циклу дисциплін за вибором ВНЗ розроблено для студентів очної форми навчання галузі знань 0401 Природничі науки напрямів підготовки 6.040106 «Екологія, охорона навколишнього середовища та збалансоване природокористування» та 6.050301 «Гірництво»/ Укл. Костенко В.К., В.В.Колеснікова., О.Л.Зав'ялова – Донецьк: ДонНТУ, 2013.- 180с.

Конспект лекцій розроблений згідно основних тем, викладених в навчальній програмі дисципліни «Альтернативні джерела енергії» для студентів очної форми навчання галузі знань 0401 Природничі науки напрямів підготовки 6.040106 «Екологія, охорона навколишнього середовища та збалансоване природокористування» та 6.050301 «Гірництво»

Укладачі:

В.К.Костенко, д.т.н., проф.

В.В.Колеснікова, к.т.н., доцент

О.Л. Зав'ялова , к.т.н., доцент

Відповідальний за випуск

В.К. Костенко, д.т.н., професор

Рецензент

Є.С.Матлак, к.т.н., проф.

ЗМІСТ

Загальні відомості дисципліни "Альтернативні джерела енергії"	5
Мета і завдання курсу.....	5
Змістовний модуль 1. СТАН І ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ АЛЬТЕРНАТИВНИХ ДЖЕРЕЛ ЕНЕРГІЇ.....	6
Тема 1. Поняття і класифікація поновлюваних джерел енергії.	6
Тема 2. Актуальність використання поновлюваних видів енергії у світі і Україні.....	14
Змістовний модуль 2. ОСНОВНІ ДЖЕРЕЛА АЛЬТЕРНАТИВНОЇ ЕНЕРГІЇ.....	40
Тема 3. Сонячна енергетика.....	40
Тема 4. Вітрова енергетика.....	61
Тема 5. Геотермальна енергія.....	88
Тема 6. Енергетичні ресурси океану.....	105
Тема 7. Біоенергетика.....	130
Змістовний модуль 3. ЕКОЛОГІЧНІ ПРОБЛЕМИ ВИКОРИСТАННЯ АЛЬТЕРНАТИВНИХ ДЖЕРЕЛ ЕНЕРГІЇ.....	171
Тема 8. Проблема взаємодії енергетики і екології.....	171
СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ.....	180

Загальні відомості дисципліни "Альтернативні джерела енергії"

Дисципліна передбачає вивчення можливостей застосування нетрадиційних і поновлюваних джерел енергії в системах енергопостачання промислових підприємств; систем перетворення сонячної радіації в електричну і теплову енергію, використання енергії вітру, морських течій і теплового градієнта температур для отримання електричної енергії; можливостей застосування біомаси і твердих побутових відходів для виробництва електричної і теплової енергії.

Мета і завдання курсу

Мета:

вивчення можливостей застосування нетрадиційних і поновлюваних джерел енергії в системах енергопостачання промислових підприємств; систем перетворення сонячної радіації в електричну і теплову енергію, використання енергії вітру, морських течій і теплового градієнта температур для отримання електричної енергії; можливостей застосування біомаси і твердих побутових відходів для виробництва електричної і теплової енергії.

Завдання:

повідомити студентам данні про стан і перспективи розвитку нетрадиційних і поновлюваних джерел енергії у світі і в Україні; фізичних основах перетворення сонячної енергії в теплову і електричну, конструкціях і схемах систем сонячного тепло- і електропостачання, перетворенні енергії вітру, основах використання енергії морських хвиль і течій, способах використання геотермальної енергії в системах теплопостачання, можливостях застосування біомаси і твердих побутових відходів як енергетичне паливо.

Содержательный модуль 1. СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ АЛЬТЕРНАТИВНЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ.

Тема 1. Поняття та класифікація поновлюваних джерел енергії

Потенційні запаси джерел енергії на Землі.

Класифікація поновлюваних джерел енергії.

Переваги поновлюваних джерел енергії порівняно з традиційними. Недоліки більшості поновлюваних джерел енергії.

Причини, які зумовлюють необхідність і можливість розвитку енергетики України на базі поновлюваних джерел.

Поняття та класифікація поновлюваних джерел енергії

Усі енергетичні ресурси на Землі, що є продуктами безперервної діяльності Сонця, можуть бути поділені на дві основні групи: на акумульовані природою й у більшості випадків непоновлювані та на неакумульовані, але постійно поновлювані (табл.1). До першої групи належать запаси паливних копалин: нафта, кам'яне та буре вугілля, спанні, торф і підземні гази, а також термоядерна і ядерна енергія. До другої групи належать сонячне випромінювання, вітер, потоки рік, морські хвилі та припливи, внутрішнє тепло Землі.

Потенціальні запаси джерел енергії на Землі

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

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



Рис. 1.1. Основные природные источники энергии

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

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

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



Мал. 1.2. Розподіл променистої енергії сонця

Світові запаси і динаміка їх освоєння.

Нафта.

Накопичена світова здобич нафти за станом на 01.01.10 р. оцінюється в 140,0 млрд. т. При цьому дуже важливо, що в останні 5 років (починаючи з 2005 р.) вона стала близькою до 4,0 млрд. т/рік і росте трохи, незважаючи на високий рівень світових цін. При цьому в накопиченій здобичі провідну роль зіграли традиційні нафтовидобувні країни. На долю країн Близького і Середнього Сходу доводиться близько 28%, Північної Америки - 24% і країн СНД - 15%.

Доля 10 країн, що досягли найбільшого рівня витягання нафти з надр, сьогодні, досягає 65% від загальної світової річної її здобичі (>2,5 млрд. т/рік). Ці ж країни мають і найбільші розвідані доведені (proved) запаси нафти. Проте приведені нижче дані (таблиця. 1.2) про їх рівні здобичі і розвідані запаси свідчать про широкий діапазон коливань відношення - розвідані запаси/річна здобич. Це відношення прямо не відбиває забезпеченість ресурсами нафтовидобувної промисловості в літах. Його зменшення найчастіше вказує на недостатній розмах геолого-розвідних робіт, зниження якості нафт, вичерпання ресурсів великих родовищ і системні помилки державного управління ресурсним потенціалом надр.

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

прогнозі ресурси дозволяють у кінці поточного століття можливість видобутку нафти на рівні 3,5-2,5 млрд. т/рік

Таблиця 1.2. Рівень здобичі і розвіданих запасів нафти у світі

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

Природні горючі гази.

Накопичений світовий видобуток природного горючого газу (вільного і попутного) оцінюється в 90,0 трлн. м³. При цьому важливо підкреслити, що за останні 20 років видобуток природного газу зріс в 1,7 разу і перевищив в 2009 році 3,0 трлн. м³. На Росію і США, при цьому доводиться майже 40% світової його здобичі. Розвідані доведені запаси природного газу у світі складають близько 190 трлн. м³. Сумарні витягвані світові ресурси газу оцінюються в 460-480 трлн. м³, з яких більше 45% доводиться на Росію, 17-18% - на Близький і Середній Схід, 6-7% на Африку і 4-5% на Північну Америку.

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

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

Кам'яне вугілля.

Накопичена здобич кам'яного і бурого вугілля для енергетики, на жаль, може бути оцінена лише за непрямыми даними, оскільки системний облік об'ємів їх здобичі був організований лише в післявоєнний період, в другій половині ХХ століття. За останні 20 років (з 1990 до 2010 рр.) у світі було здобуто більше 1,0 трлн. т кам'яного і бурого вугілля (без тих, що коксуються).

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

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

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

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

Поза сумнівом, що запаси вугілля для забезпечення намічених рівнів виробництва електроенергії цілком достатні не лише на ХХІ століття, але і на триваліший час. Як добре відомо, розвиток електроенергетики, що базується на використанні вугілля, стримується високим рівнем викидів парникових газів, сильним забрудненням довкілля, а також високими витратами на здобич і транспорт вугілля. Радикальні науково-технічні рішення, що знімають ці проблеми, навіть при успішному залученні альтернативних джерел виробництва електроенергії не знімуть в порядки денні швидке зростання долі вугілля в балансі природних енергетичних джерел в ХХІ столітті.

Ресурси ядерної енергетики.

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

Сумарні ресурси урану, використані в атомній енергетиці, не можуть оцінюватися по кількості його здобичі з надр. Як відомо, деяка його частина була використана і для інших цілей, зокрема для виробництва зброї. Проте основна частина здобутого урану сьогодні знаходиться в сховищах

опроміненого ядерного палива (ОЯП), оскільки ККД використання енергії ув'язненим в урані, на жаль не перевищує 1%. У світі доки використовуються в основному легководні реактори на теплових нейтронах у відкритому паливному циклі, без використання технологій рециклінга ОЯП.

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

Світове виробництво урану, почате в середині 40-х років минулого століття не було стабільним. До 1957 р. воно швидко розвивалося і досягло 48,0 тис. т в рік. Потім до 1964 р. впало до 30,0 тис. т/рік. З середини 60-х років динамічно росло і на початок 80-х досягло 68,0 тис. т/рік. Потім на початку 1990-х воно знизилося до 30,0 тис. т/рік і лише останнє 10-річчя стало повільно наростати до 40,0 тис. т/рік.

Як видно на рис. 1.3 добре виявлено два "піки" максимального зльоту виробництва первинного урану.

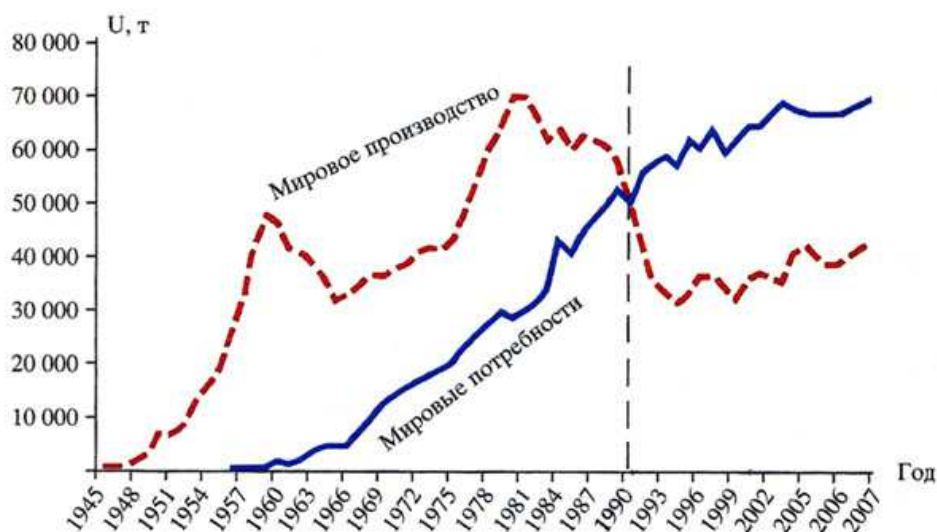


Рис. 1.3. Динаміка виробництва урану і його використання в атомній енергетиці (1945-2010 рр.)

Перший пік підйому його здобичі пов'язаний з гонкою ядерних озброєнь, а другий - з "дочорнобильським етапом" розвитку атомної енергетики. Наслідки цієї технологічної катастрофи в енергетиці були здолані лише на початок нового ХХІ століття. Саме останні 10 років відбувається помітний прогрес в рішенні багатьох проблем подальшого розвитку атомної енергетики.

Провідне місце в здобичі урану до 1991 р. займав СРСР. Після його розпаду в Росії залишилося лише одне гірничодобувне підприємство. Здобич урану в нашій країні, починаючи з 1992 р., знизилася до 2,5-3,5 тис. т в рік, що складає 7-8% від світового рівня. До 2005 р. половину світового уранового концентрату виробляли Канада і Австралія. Починаючи з 2008 р. до трійки лідерів увійшов Казахстан і в 2010 р., з рівнем здобичі урану, що перевищив 10,0 тис. т/рік, вийшов на перше місце у світі. Здобич урану в цій країні прогресивними методами підземного вилуговування ("ПВ"), розробленими і освоєними ще в СРСР, росте швидкими темпами і до 2015 р. планується на рівні 15,0 тис. т/рік. Розвідані тут підтвержені запаси за собівартістю здобичі урану <80 доларів США за 1 кг урану, складають близько 350,0 тис. т, що забезпечує подальше нарощування його виробництва.

Світові загальні запаси урану сьогодні досягають 5,0 млн. т. Сумарне виробництво урану за весь час існування атомної промисловості перевищило 2,5 млн. т. У реакторах використано 1,9 млн. т. У складських запасах є не менше 600 тис. т урану. Майже 500,0 тис. т його є в хвостах ізотопного збагачення. Значна доля урану зосереджена в сховищах ОЯП, хоча частина його перероблена. При введенні в дію вдосконалених теплових реакторів, організації рециклінга ОЯП, використанні МОХ-палива і збалансованому розвитку атомної енергетики на швидких нейтронах до 2050 р. можливо збільшити ядерні потужності до 2000 ГВт за рахунок наявних сумарних встановлених і прогнозних ресурсів природного урану.

Класифікацію поновлюваних джерел енергії наведено на рис. 2.

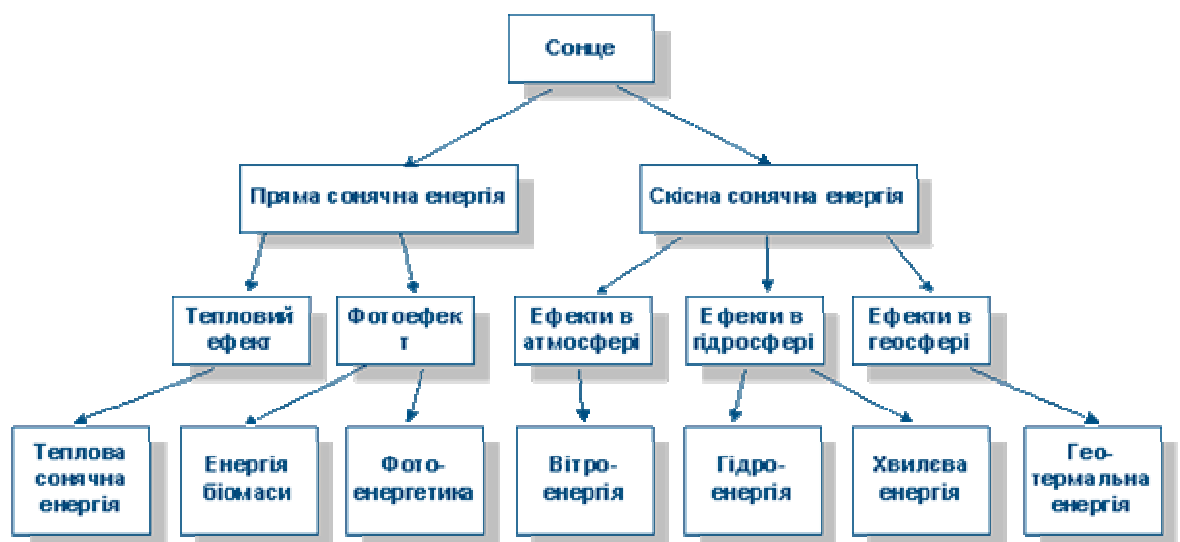


Рисунок 2. Класифікація поновлюваних джерел енергії

Результатами прямої сонячної діяльності є тепловий ефект і фотоефект, внаслідок чого Земля отримує теплову енергію та світло. Результатом

побічної діяльності Сонця є відповідні ефекти в атмосфері, гідросфері та геосфері, що викликають появлення вітру, хвиль, зумовлюють течію річок, створюють умови для збереження внутрішнього тепла Землі.

Переваги поновлюваних джерел енергії порівняно з традиційними є:

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

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

Необхідність використання поновлюваних джерел енергії визначається такими факторами:

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

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

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

Тема 2. Актуальність використання поновлюваних видів енергії у світі і Україні

1. Запаси і динаміка споживання енергоресурсів в Україні
2. Політика країн ЄС і України в області нетрадиційних і поновлюваних джерел енергії.
3. Ресурси поновлюваних джерел енергії в Україні

Запаси і динаміка споживання енергоресурсів в Україні

а) вугільна промисловість

Серед органічних паливних ресурсів, що добуваються, на вугілля доводиться (залежно від оцінки) 65-90%. Історично воно зіграло велику роль у світовому промисловому розвитку. Вугілля забезпечило енергетичну основу першої промислової революції.

Вугільна промисловість за об'ємом здобичі палива в натуральному вираженні займає перше місце серед інших галузей. Тут зосереджена більшість працівників і основних фондів паливної промисловості.

Упродовж останніх десятиліть енергетична система, власне, її сировинна база, характеризується нестійкістю. Це пояснюється необґрунтованим применшенням ролі вугілля як найбільш важливою і стабільною по запасах сировини для виробництва енергії, і невиправдано завищеної ролі нафти і газу. Останнім часом в усіх країнах світу знову з'явилася тенденція повернення до вугілля як до найнадійнішої енергосировини на найближче майбутнє.

Вугілля оцінюють по декількох параметрах:

1. По глибині залягання. Вугілля видобувають відкритим або закритим (шахтним) способами, - від цього залежить його собівартість. В Україні відкритим способом вугілля видобувається в Дніпровському буровугільному басейні. Кам'яне вугілля відкритого способу добування відноситься до найекономічніше вигідному виду палива і його здобич росте.

2. По марочному складу і якості. Вугілля розділяється на кам'яне, буре, коксівне, енергетичне. В Україні на кам'яне вугілля доводиться 2/3 запасів

Основним районом видобутку кам'яного вугілля є Донецький басейн.

Видобувають вугілля в 295 каменноугольних шахтах, з них 131 шахта з коксовим вугіллям. Найбільшим басейном на Україні є Донбас із запасами 240 млрд. т. Тут є усі марки вугілля : коксівний (половина запасів), антрацит, газовий. Донецьке вугілля має високу теплотворну здатність і незначну зольність. Зате собівартість його порівняно велика із-за великої глибини залягання пластів. Це знижує його конкурентоспроможність. Основними ланками вуглевидобування шахтним способом є: шахта з комплексом наземних і підземних споруд і енергосиловим господарством, вуглезбагачувальна фабрика, транспортні комунікації і водогосподарські споруди, районні енергетичні центри, складські господарства, підприємства і організації невиробничої сфери. З вугільної промисловості прямо або

безпосередньо пов'язана діяльність майже 40% міського населення Донецької і Луганської областей.

Вугільні шахти зосереджені переважно в центральній і північній частинах Донецької і південної частини Луганської області. Коксове вугілля видобувають головним чином в центральній частині Донецької області в районі Єнакієво, Макіївки, Горлівки, Донецька, Красноармійська, Константиновки і інших міст, а також в Краснодарському і Кадеєвському районах Луганської області. У Антрацитівському, Лутугинському і Алчевському районах Луганської області видобувають більше енергетичного вугілля. Газ добувають переважно в Лисичанському районі.

Нове шахтне будівництво налагоджене в західному Донбасі (Дніпропетровська область). Собівартість вугілля Донбасу висока, проте, на великих сучасних шахтах вона мало чим вище за середню собівартість видобутку вугілля в басейні Коваля.

Майже 14 млн. т кам'яного вугілля добувають у Львівсько-Волинському кам'яному вугільному басейні. Запаси вугілля тут невеликі, тому передбачається, що в перспективі в басейні працюватиме тільки дві шахти з 15 діючих. Значну частину вугілля цього басейну використовують Бурштирська, Добротверська теплові електростанції.

Дніпровський буровугільний басейн розташований здебільшого на правобережжі України і об'єднує родовища Житомирської, Вінницької, Київської, Кіровоградської, Черкаської, Запорізької і Дніпропетровської областей. Басейн ділять на 12 буровугільних районів, в яких налічується більше 100 родовищ. Вугілля басейну без пресування брикетів не придатне для транспортування на далекі відстані, характеризується високою вологістю, використовується в основному для місцевих потреб. Запаси вугілля, які можна добувати відкритим способом, розташовуються в 58 родовищах. Найбільше число таких родовищ в Кіровоградській (29), Дніпропетровській(19) і Черкаській (5) областях. За останні роки його здобич знаходиться в межах 4,5 млн. т.

Буровугільна промисловість України об'єднує великі механізовані вуглерозрізи, шахти, углебрикетные фабрики, а також допоміжні підприємства

В Україні вугілля також видобувається у Львівсько-волинському і Дніпропетровському вугільних басейнах, але поклади тут невеликі.

б) газова промисловість

Газова промисловість - наймолодша галузь паливної промисловості України. Використання газу в 2 рази дешевше в порівнянні з нафтою. Крім того, вона забезпечує виробництво азотних добрив і синтетичних матеріалів. Промисловість природного газу включає розвідку, здобич, транспортування, зберігання і переробку природного газу супутнього нафтового газу, який добувається разом з нафтою. Ця галузь енергетики розвивається найшвидше, тому що її роль в енергопостачанні постійно росте.

Природний газ застосовується в багатьох галузях, але велика його частина використовується в енергетиці, тому що це паливо менше всього забруднює атмосферу.

Газова промисловість як галузь сформувалася в післявоєнні роки на базі розвіданих в країні родовищ природного газу. Найінтенсивніший розвиток газова промисловість отримала в першій половині 70-х років.

Таким чином, починаючи з другої половини 70-х років і до теперішнього часу видобуток газу в Україні знизився більш, ніж в три рази.

Першою була освоєна Прикарпатська нафтогазова область. Зараз на її частку доводиться 3,1 % усього видобутку газу в Україні. Цей район досить перспективний, оскільки газ видобувають в основному з незначних глибин. Розвідані запаси газу складають 94 млрд. м³. В цілому в Західноукраїнському нафтогазоносному регіоні прогнозовані запаси нафти і газу складають понад 600 млн. т умовних одиниць палива. Причому більш ніж половина їх сконцентрована в Івано-Франківській області, де вони залягають на глибині 5-6 км, що є основною технічною проблемою його здобичі.

Дніпровсько-Донецьку газоносну область поставлено поряд з покладами нафти в Дніпрсько-Донецькій западині. Основні родовища газу стали відомими в другій половині 60-х років. Дніпровсько-Донецька нафтогазова область найбільша в Україні, на її частку доводиться 93,8 % видобутку газу в країні. Основні родовища природного газу розташовані в Харківській (Шебелинське, Хрестищенське, Кегичевське, Дружелюбовське і Західнохрестищенське); Сумській (Рибацьке, Качановське); Полтавській (Солохо-Диканьське); Дніпропетровській (Перещепинське) і Чернігівській (Гнединське) областях. Тут виявлене 111 газових родовищ, запаси газу складають 785,4 млрд. м³.

Найбільше з перерахованих родовищ - Шебелинське, яке містить 80% усіх запасів України. Друге місце в Україні по запасах газу займає Західнохрестищенське газоконденсатне родовище, яке, одне з найпродуктивніших в Україні з 1960 р.

Геологорозвідники і сьогодні виявляють нові родовища газу, у тому числі в Луганській області, яка свідчить про багатство надр Дніпровсько-Донецької западини.

У Причорноморсько-Кримській нафтогазоносній області відкрито і експлуатується 17 газових родовищ із загальними запасами 14,3 млрд. м³. Найбільші з них: Голіцинське, Джанкойське, Глебовське, Оленівське, Задорненське, Стрілковське. Тепер на дні Чорного моря геологи виявили ряд перспективних газових підвищень (підземних і в теж час підводних структур).

Основним напрямом ефективного використання природного газу, окрім комунально-побутового сектора і масштабного переведення на нього автотранспорту, являється нафтохімічний, де як продукт отримують синтетичні матеріали. З однієї тонни рідких вуглеводів можна отримати 600-700 кг нафтохімічної сировини, вартість якої у багато разів вище перевищує

ефект використання його як палива. На комунально-побутові послуги використовується 17 млрд. куб м газу, а на виробництво електроенергії - майже 34 млрд. куб м газу в рік.

Промислові запаси в Україні складають 1,1 трл. куб. м, відкриті, - 500 млрд. куб. м. У причорномор'ї і Приазов'ї родовища нафти і природного газу експлуатуються на шельфі Чорного моря : Голиценское, Шмидта, Штормове, Тарханкутское, Дельфін; родовища природного газу є на шельфі Азовського моря : Керченське, Казантипское, Стрілецьке.

в) нафтова промисловість

Нафта - основа світового паливно-енергетичного балансу, найефективніше і найзручніше паливо. Продукти нафтопереробки широко використовуються в усіх галузях промисловості, сільського господарства, транспорті, в побуті. Основна частина продукції використовується для виробництва енергії, тому вона відноситься до групи галузей енергетики. Частина нафти і нафтопродуктів йде на нафтохімічну переробку.

Нафта має значні природні переваги в порівнянні з твердим паливом: велика ефективність на одиницю об'єму і ваги, висока теплотворна здатність, відносна дешевизна перевезень наливними судами великої вантажопідйомності, значно менші витрати по завантаженню і розвантаженню, швидкості згорання (що полегшує механізацію і автоматизацію здобичі і транспортуванню), - усе це сприяє затвердженню нафти як основного енергоносія як сировини для хімічної промисловості.

Нафтова промисловість України характеризується низькими показниками, хоча потенційні можливості її здобичі можуть бути більше. У зв'язку зі значним виснаженням нафтових родовищ старопромышленных західних районів разом з пошуками і видобутком нафти в східних районах ширше розгортається геологічна розвідка шельфової зони Чорного і Азовського морів, а також Причорноморської низовини, де останніми роками добувають промислову нафту.

Україна не багата нафтою. Виділяються три райони: Прикарпатський, Дніпровський - Донецький і Причорноморський.

Зараз перше місце по видобутку нафти належить Лівобережній частині України, де працюють нафтогазові управління в Чернігівській області на базі Гнидынцівського і Прилуцького родовища, Сумський - на основі Охтырського і Качанського родовища і в Полтавській - на базі Сагайдатського, Зачеплывського, Радченковського родовища. Тут добувають більше половини нафти в Україні. Друге місце займає Прикарпатське нафтогазова провінція, де працюють нефтигазодобывающие управління - Бориславнефтегаз і Долинонефтегаз. Поки що масштаби видобутку нафти невеликі із-за виснаження запасів і недостатньому проведенні розвідувальних робіт.

Слід сказати, що на собівартість нафти дуже впливає спосіб її добування. Здобута в Україні нафта має відносно високу собівартість, оскільки здобич оскільки здобич її прогресивним способом фонтану майже

зупинилася. Для підтримки високого тиску пластів практикують закачування за контури пласта гарячої води, пари, хімічних компонентів, які дають можливість збільшувати видобуток нафти до 60-70%. Вартість нафти в районах споживання значною мірою визначається витратами на її транспортування, яке залежить від діаметру трубопроводу, змісту в сирій нафті парафіну, потужності нафтоперекачувальних станцій. Останніми роками визначилася тенденція подорожчання нафти, яка пов'язана з ускладненнями умов здобичі і експлуатації більшості родовищ. У помсті з тим, будівництво нафтопереробних підприємств в районах споживання нафти і нафтопродуктів має ряд переваг, оскільки різко зменшується перевезення нафтопродуктів незалежно від способу транспортування сирої нафти (збереження сирої нафти обходиться дешевше), а споживання має можливість використовувати сиру нафту, яка поступає з різних районів

Нафтопереробна промисловість України представлена Лисичанським, Кременчуцьким, Херсонським, Бердянським, Дрогобыцьким, Львівським і Надворнянським нафтопереробним заводами. Україна тільки частково забезпечує свою потребу в нафті. При потребі 40-45 млн. т нафти в рік в країні в 1995г було здобуто 4,1 млн. т.

У Дніпровсько-Донецькій западині є Південний прогин і південний борт який примикає до нього. По геологічній структурі вони рівнозначні до вищезгаданих. Грунтуючись на цих розрахунках, можна прогнозувати запаси нафти і газу 3-5 млрд. т нефтенного еквіваленту.

Прикарпатський район охоплює територію, розташовану уздовж північно-східних схилів Карпатських гір, і є найстарішим. Нафту добували тут з другої половини ХІХст. Найбільші родовища: Долинское, Бориславское, Битковское. Запаси нафти розвідані на великих глибинах - до 5-6 тыс. м. Освоювати такі свердловини важко, але сучасна техніка і технологія роблять це цілком можливим.

Дніпровсько-Донецький район охоплює Дніпровско- Донецьку западину северо-запаную околицю Донбасу. Тут зосереджені основні нефтересурси України. Промислове значення мають Леякивское, Прилуцьке, Гнидынцевское родовище (Чернігівська область), Качаневское (Сумська область), Радченковское (Полтавська область). Сьогодні на Сумщині добувається половина нафти України. Нафта тут залягає на глибині 8-9 тис м

Причорноморський район охоплює Причорноморську западину, Керченську протоку, північно-західну частину акваторії Чорного і Азовського морів. Тут упродовж останнього часу до пошуків нафти підключилися морські геологи, які вивчають шельфи Азовського і Чорного морів. Цей район перспективний для нафтовидобутку; орієнтовні запаси - до 4-5 млрд. т нафти. Зараз добувається 200 тис. т нафти з покладів "Штормове" і "Дельфін" з долею Британський - Голландській компанії "Shell".

Нафтопереробні заводи в Україні представлені найбільшим в Європі Лисичанським (потужністю 23 млн т нафти в рік), а також Херсонським,

Одеським (4 млн. т), Кременчуцьким (18 млн. т), Дрогобицьким і Львівським нафтопереробними заводами. Їх потужності здатні переробити 50-60 млн. т нафти.

г) електроенергетика

Електроенергетика є складником енергетичного комплексу України. Вона впливає не лише на розвиток народного господарства, але і на територіальну організацію виробничих сил. Будівництво потужних ліній електропередач дає можливість освоювати паливні ресурси незалежно від віддаленості районів споживання. Достатня кількість електроенергії притягує до себе підприємства і виробництва, в яких доля паливно-енергетичних витрат в собівартості готової продукції значно більше в порівнянні з традиційними галузями промисловості. Електроенергетика має велике значення для спеціалізації районів. У ряді районів України (Донбас, Придніпров'я) вона визначає їх виробничу спеціалізацію, є основою формування територіально-виробничих комплексів. Електроенергетика - капіталомістка складова паливно-енергетичного комплексу якої-небудь країни, його базова галузь. Їй відводиться провідна роль в розвитку науково-технічного прогресу.

У розвитку і розміщенні електроенергетики в Україні визначають є такі принципи: концентрація виробництва електроенергії внаслідок будівництва великих районних електростанцій, які використовують дешеве паливо і гідроенергоресурси; комбінування виробництва електроенергії і тепла з метою теплопостачання міст і індустріальних центрів; широке освоєння гідроенергоресурсів з урахуванням комплексного рішення завдань електроенергетики, транспорту, водопостачання, іригації і рибної промисловості; випереджаючий розвиток атомної енергетики, особливо в районах з напруженим паливно-енергетичним балансом.

Електроенергія виробляється здебільшого за рахунок не поновлюваних джерел - вугілля, нафти, природного газу. Поновлюваним джерелом енергії є гідроенергетика.

Усі електростанції України розділяють на чотири види. У основу розподілу входить використовуваний ресурс:

- - теплові електростанції, які працюють на твердому, рідкому і газоподібному паливі. Їх розділяють на конденсаційні і теплоелектроцентралі;
 - - гідравлічні, які використовують відповідні гідроресурси і розділяються на гідроелектростанції, гідростимулюючі і приливні;
 - - атомні, які використовують збагачений уран або інші радіоактивні елементи;
 - - електростанції, які використовують нетрадиційні джерела енергії.
- Серед них найперспективнішими є вітрові, сонячні.

Найпоширенішими в Україні є теплові електростанції, які по характеру обслуговування споживачів є районними (ДРЭС). Вони виробляють майже 2/3 усіх електричних енергії. За останні 30 років потужність теплових станцій

виросла в 5 разів. Доля вугілля із структурі палива, яке використовується ТЭС, - велика. Перевагою ШАЛІВКА є відносно довільне розміщення, вартість капіталовкладень удвічі менше в порівнянні з ГЭС.

Найбільшими ДРЭС в Україні являються Углегорская, Старобешевская, Кураховская, Словянская (Донецька обл.), Кривоозерская-2, Придніпровська (Дніпропетровська обл.), Бурштынская (Івано-Франківська обл.), Запорізька, Ладыжинская (Вінницька обл.), Трипільська (Київська обл.) та ін.

Далі по значущості йдуть теплоелектроцентралі. Їх будують біля споживача, оскільки радіус транспортування тепла невеликий (10-12 км), зате коефіцієнт корисного використання тепла складає майже 70%, тоді як на ТЭС - тільки 30-35%. Теплоелектроцентралі обігрівують понад 25 міст України. Найбільша з них - Київська ТЭЦ- 5 (700 тис квт.), Дарницька (Київ), Київська ТЭЦ- 6, Харківська ТЕЦ- 5, Одеська, Калузька, Краматорськ та ін.

Атомна енергетика стала окремою галуззю енергетики після другої світової війни. Сьогодні вона грає важливу роль в електроенергетиці. Атомні електростанції використовують транспортабельне паливо - уран. Їх розташовують незалежно від паливно-енергетичного чинника і орієнтуються на споживачів в районах з напруженим паливно-енергетичним балансом. Оскільки атомні електростанції дуже водоемні, їх споруджують біля водних джерел. До найбільших експортерів уранових концентратів належать Канада, Австралія, ЮАР, Бразилія, США.

Атомні електростанції по характеру використовуваного палива не пов'язані з родовищами його здобичі, що забезпечує широкий маневр їх розміщення. АЕС орієнтованні на споживачів, особливо на райони з обмеженими ресурсами палива і гідроенергії.

У Україні працюють декілька потужних атомних електростанцій - Запорізької, Південноукраїнської, Ровненская, Хмельницька, Чорнобильська. Під натиском громадськості було зупинено будівництво Кримської, Чигиринської, Харківської АЕС і Одеської атомної ТЕЦ.

Гідроелектростанції є одним з найефективніших джерел електроенергії. Переваги ГЭС полягають в тому, що вони виробляють електроенергію, яка в 5-6 разів дешевше, ніж на ДРЭС, а персоналу, їх обслуговуючого в 15-20 разів менше, ніж на АЕС. Коефіцієнт корисної дії ГЭС складає понад 80%. Проте, їх розміщення повністю залежить від природних умов, а виробництво електроенергії носить сезонний характер. Будівництво ГЭС на рівнинних річках України приносить значні матеріальні збитки, оскільки вимагає затоплення великих територій, які використовуються під водосховища. Поки що гідроенергетика займає незначне місце в енергетиці України - майже 9% потужностей і 4% виробництва електроенергії.

Основні електростанції розташовані на Дніпрі. Це - Дніпрогес, Кременчуцька, Каховська, Дніпродзержинська, Канівська, Київська. На Дністрі побудована Дністровська ГЭС - ГАЕС, в Закарпатській області - Требле-Рицкая ГЭС. Окрім них, на маленьких річках діє близько сотні

електростанцій невеликої потужності, більшість з них належать до державної енергосистеми.

Специфічну роль грають гідроакумуляторні електростанції (ГАЕС) : Київська, Дністровська і Запорізька (Днепрогес- 2). З їх допомогою можна успішно вирішувати проблему забезпечення споживачів електроенергією в пікові години. Діючи за принципом переміщення одного об'єму води між двома басейнами, розташованими на різних рівнях висоти, ГАЕС працюють як помпи.

Найважливіша тенденція в розвитку електроенергетики - об'єднання електростанцій в енергосистеми, які здійснюють виробництво, транспортування і розподіл електроенергії між споживачами. Створення енергосистем визначається необхідністю забезпечення ритмічного забезпечення споживачів електроенергією, виробництво і споживання якої має не лише сезонні, але і добові коливання. Енергосистеми дають можливість маневрувати виробництвом електроенергії як в часі, так і в просторі. Неспівпадання пікових навантажень в окремих частинах енергосистем дозволяє при необхідності перекидати електроенергію в зустрічних напрямках із заходу на схід і з півдня на північ. При транспортуванні електроенергії на значну відстань її втрати неминучі, і вони збільшуються при збільшенні відстані, зате можуть зменшуватися при збільшенні напруги передачі. Так, будівництво високовольтних ліній - питання дуже актуальне.

У Україні існує об'єднана енергосистема, до якої належать усі великі електростанції, : Донбасівська, Дніпровська, Харківська, Київська, Кримська, Львівська, Вінницька і Одеська. Об'єднана енергосистема пов'язана з енергосистемою "Світ", а також з енергосистемами сусідніми з Україною держав.

Задоволення потреб електроенергії передбачається здійснити завдяки усебічному енергозбереженню, реконструкції і технічному переозброєнню діючих потужностей, спорудження нових електростанцій у тому числі і введенню в дію по одному блоку на Хмельницькій, Ровненській і Південно-українській АЕС.

Перспективи розвитку і розміщення ПЕК пов'язані з багатьма чинниками. Це збільшення масштабів геологічних і географічних досліджень на території України традиційних видів пального - нафти, газу в Донецько-придніпровській западині, в Причорноморській рівнині, в Прикарпатті і Закарпатті. У старопромислових районах збільшення здобичі можна досягти за рахунок застосування сучасних технологій, відкачування нафти з надр.

У Донецькому басейні мають сенс стабілізувати видобуток вугілля. Оскільки в Донбасі шахтне устаткування значне застаріло, необхідно технічно переоснастити і перебудувати його підприємства.

Слід проводити реконструкцію атомній електроенергетиці на новій технологічній основі, створювати енергоблоки, які використовували б уран

низького збагачення, що виробляються на наших збагачувальних фабриках Придніпров'я і Прикарпаття. Розумно будувати нові блоки середніх по потужності АЕС під землею з багатократним рівнем техніки безпеки, як це робиться за кордоном. Їх поховання після закінчення експлуатації не зажадає багато часу і засобів.

У міру нарощування потужностей атомної енергетики, з'явилася б можливість застосування рішучих кроків по закриттю нерентабельних шахт Донбасу з одночасним відкриттям нових на перспективних площах.

Необхідно збільшити виробництво електроенергії з нетрадиційних джерел: з відходів сільського господарства виготовляють біопаливо, яке у великих масштабах практикується країнами Латинської Америки і Африки. За підрахунками фахівців, Україна біопаливом може забезпечити більше ніж на половину потреб свого автомобільного транспорту. А також доцільно використовувати енергію маленьких річок, силу вітру, енергію сонця, морських хвиль, сірководня вод Чорного моря, метану шахт Донбасу. Вітрові електростанції можуть дати, яка дорівнює 22 Днепрогесам, хвилевій електростанції Чорного і Азовського морів, за підрахунками учених, можуть виробити до 17 млрд. кВт.година в рік.

Структурна перебудова народного господарства, економне використання видів палива і енергії, і впровадження економічних стимулів сприятиме зменшенню енергоємності національного продукту. Сьогодні в Україні немає механізму стимулювання зменшення споживання енергоносіїв, який повинен включати державну систему енергозбереження на довгострокову перспективу, систему стандартів і нормативів витрат паливно-енергетичних ресурсів, звітність про енергоспоживання.

Стратегія країн-членів Європейського Союзу по розширенню використання поновлюваних джерел енергії (ПДЕ)

Будь-які довгострокові програми Європейського Союзу формуються під впливом серйозних чинників і спрямовані на перспективу. Стратегія ЄС у сфері використання ПДЕ також спиралася і була сформована під впливом істотних обставин, які викликали стурбованість в європейській спільноті, а саме:

- зростаюча залежність енергозабезпечення країн ЄС від імпорту енергоносіїв і, як наслідок, зниження надійності енергозабезпечення
- вичерпання природних ресурсів, збільшення вартості їх здобичі, а, отже, і їх ціни
- посилення напруженості в країнах, енергоресурсів, що традиційно є постачальниками
- зростаюча негативна дія підприємств паливно-енергетичного комплексу на довкілля
- накопичення побутових і промислових відходів, які в умовах розвитку і впровадження відповідних технологій можуть бути використані для виробництва тепло- і електроенергії.

Підвищення якості життя в країнах - членах ЄС, що є одним з ключових завдань співтовариства, не можливо у разі збереження, а тим більше посилення дії цих чинників на розвиток економіки. Щоб нейтралізувати їх, а деякі з них, наприклад, такий як накопичення побутових і промислових відходів, ефективно використовувати на користь суспільства, і була сформована стратегія ЄС у сфері поновлюваних джерел енергії.

Одним з перших правових актів Європейського Союзу, присвячених врегулюванню стосунків у сфері використання поновлюваних джерел енергії, стала Зелена Книга Європейської Комісії від 20 листопада 1996 р.. У цьому документі перед країнами-членами ЄС було поставлено масштабне завдання - до 2010 року подвоїти долю поновлюваних джерел енергії в загальному енергобалансі (від 6% до 12%) і передбачені механізми її реалізації, такі, як надання системних кредитів, гармонізація податкового законодавства, надання державної підтримки, стандартизація, фінансова підтримка проведення наукових досліджень в цій сфері та ін.

Серед основних переваг використання поновлюваних джерел енергії, які зумовили ухвалення цього рішення, були названі - відповідність загальної стратегії стійкого розвитку, зменшення залежності від імпорту енергоносіїв і скорочення викидів CO₂ в атмосферу. Тобто фактично - підвищення якості життя і надійності енергозабезпечення за рахунок зміни структури енергоспоживання.

У документі визначені і перешкоди, існуючі на шляху реалізації такого масштабного завдання, основними серед яких визнані наступні.

- - Високі капітальні витрати і тривалі терміни повернення вкладених коштів і, як наслідок, вища вартість теплової і електричної енергії, вироблюваної з використанням ПДЕ, особливо на ранніх етапах їх впровадження.

- - Наявність технічних і організаційних проблем, пов'язаних з приєднанням ПДЕ до електричних і теплових мереж.

- - Відсутність у осіб, що приймають рішення, необхідній інформації про потенціал ПДЕ і особливостях їх використання і, як наслідок, загальна протидія змінам на ринку енергоресурсів.

Наявність цих перешкод якраз і планувалося здолати за рахунок надання системних кредитів, податкових пільг, інших видів державної підтримки як впровадження ПДЕ, так і проведення наукових досліджень в цій сфері.

Поява Зеленої книги викликала широку дискусію в співтоваристві, за підсумками якої вже через рік була прийнята Біла книга Європейської Комісії, що затвердила Стратегію і план дій ЄС у сфері ПДЕ. У цьому документі було підтверджено глобальне завдання, зафіксоване в Зеленій Книзі, - подвоєння до 2010 р. долі поновлюваних джерел енергії в загальному енергобалансі. Причому в Стратегії досягнення 12% бар'єру вже визнане мінімальним завданням для країн-членів ЄС. На думку експертів в результаті її реалізації вдасться досягти більш вражаючих результатів.

Для досягнення поставленого завдання Стратегія передбачає реалізацію наступних першочергових заходів:

- - Забезпечення недискримінаційного доступу ПДЕ на ринок виробництва електроенергії;

- - Вступ фіскальних і фінансових заходів, сприяючих ширшому використанню ПДЕ (проведення гнучкої інвестиційної політики, вступ пільгового оподаткування, надання субсидій на створення нових виробничих потужностей, забезпечення фінансових стимулів для споживачів енергії з метою стимулювання їх до використання енергії від ПДЕ).

- - Підтримка нових ініціатив, що стосуються використання біомаси для потреб транспорту, виробництва тепла, електроенергії, в т.ч. посилення ринку палив, що отримуються з біомаси, просування біогазових технологій, розширення використання твердої біомаси.

- - Підтримка використання ПДЕ при будівництві і реконструкції будівель (особливо це стосується використання сонячної енергії).

Велика увага в Стратегії приділяється питанням підвищення інформованості осіб, що приймають рішення, потенціалу використання ПДЕ, зокрема в таких сферах, як захист довкілля, безробіття, конкуренція і держпідтримка, технологічні дослідження і розробки, регіональна політика, сільське господарство та ін.

У розвиток Стратегії і плану дій ЄС у сфері ПДЕ у вересні 2001 р. була прийнята Директива 2001/77/ЄС про реалізацію електроенергії, отриманої з використанням ПДЕ, на внутрішньому ринку електроенергії, в якій задекларована мета збільшення долі виробництва електроенергії з використанням ВИЕ до 22,1% до 2010 р.

Директивою також визначені:

- - зобов'язання для країн-членів ЄС, починаючи з жовтня 2002 р. і далі кожні п'ять років, публікувати звіти, що відбивають завдання відповідної країни по збільшенню споживання енергії, отриманої з використанням возобновляемых джерел енергії, на наступні 10 років, і спрямовані на реалізацію завдань, відбитих в Білій Книзі і Кіотському протоколі, а також заходи, які вже були вироблені до цього часу.

- - зобов'язання для країн-членів ЄС, починаючи з жовтня 2003 р. і далі кожні два роки, публікувати звіт з аналізом заходів, виконаних у рамках реалізації стратегії по збільшенню використання ПДЕ.

- -обязательство для Комиссии, начиная с октября 2004 года и далее каждые два года, публиковать обобщенный отчет на основании страновых отчетов,

- - зобов'язання для Комісії до 27 жовтня 2005 року опублікувати звіт про досвід, придбаний різними країнами-членами ЄС під час реалізації стратегії збільшення використання ПДЕ.

- - зобов'язання для країн членів ЄС до 27 жовтня 2003 р. впровадити у себе систему гарантування "оригінальності енергії", прдусматривающей видачу сертифікатів оригінальності енергії, що взаємно визнаються в усіх

країнах-членах ЄС, в яких вказано джерело енергії, дату і місце вироблення енергії, а для гідроелектроенергії додатково потужність джерела.

- - зобов'язання для країн-членів ЄС проаналізувати своє законодавство з точки зору адміністративних і уповноважуючих процедур, що застосовуються до підприємств, що виробляють енергію з поновлюваних джерел, і внести до нього зміни, що припускають, :

- зменшення регуляторних і нерегуляторних бар'єрів по збільшенню виробництва електроенергії з поновлюваних джерел

- прискорення і оптимізацію процедур на відповідних адміністративних рівнях

- забезпечення об'єктивності, прозорості і недискримінаційної правил.

- зобов'язання для країн-членів ЄС забезпечити прийнятні ціни і дотримання принципу недискримінационности при підключенні до електромереж підприємств, що виробляють енергію з використанням ВИЕ. Для чого необхідно прийняти відповідні правові акти або зобов'язати операторів системи транспортування і розподілу :

- забезпечити гарантії по транспортуванню електроенергії, виробленої з ПДЕ;

- визначити і опублікувати стандартні правила відносно відповідальності за ціну технічних пристосувань, необхідних для підключення до мережі (або навіть зобов'язати операторів узяти на себе відповідні витрати);

- визначити і опублікувати стандартні правила розподілу вартості інсталяції системи між усіма виробниками, які дістають від неї користь;

- забезпечити усіх нових виробників, що виявили бажання приєднатися до системи, повною і детальною інформацією про вартість підключення.

Директивою передбачено дві системи підтримки розвитку ПДЕ в країнах-членах ЄС

- - підтримка, заснована на квотах

- - підтримка, заснована на цінах.

У разі застосування механізму підтримки, заснованої на квотах, енергія, вироблювана з використанням ПДЕ, продається за ринковою ціною, але, при цьому, виробники так званої "чистої" енергії отримують додаткові кошти за рахунок продажу "зелених сертифікатів", певне число яких повинен купити кожен споживач.

У разі застосування механізму підтримки, заснованої на цінах, держава законодавчо визначає ціну енергії, вироблюваної від ПДЕ, по якій оператори мережі зобов'язані її купувати.

І перший, і другий механізми з різними особливостями застосовуються в більшості європейських країн (перший - у Великобританії, Ірландії, Нідерландах, на шляху твердження - в Данії і Бельгії; другий - в Німеччині і

Іспанії). На сьогодні Європейська Комісія ще остаточно не визначилася, який з механізмів підтримки прийнятніше і залишає вибір системи державної підтримки розвитку ПДЕ на розсуд стран- членів ЄС. Оскільки проектом директив, прийнятих в 2001 р., передбачений збір і аналіз інформації про використання національними урядами механізми державної підтримки для розвитку ПДЕ і їх дії на досягнення результатів, передбачених директивою, найближчими роками (а саме, в 2006г.) можна чекати появи відповідного аналізу і пропозиції з боку ЕК зупинитися на тій або іншій системі державної підтримки. Проте вже сьогодні сформовані вимоги до таких механізмів. Це: узгодженість з принципами внутрішнього ринку електроенергії, облік специфічних характеристик різних технологій, простота і ефективність, наявність перехідних стадій в їх впровадженні.

Таблиця 2.1. Приклад сприяння держави розвитку ПДЕ

Країна	Приклад
Австрія	<p>Загальний вклад ПДЕ в задоволення потреб країни в енергії на 2000г сотавлял 24% і, проте, Австрія продовжує активно сприяти їх розвитку, забезпечуючи:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Пільговий тариф на електроенергію, вироблювану установками, що використовують сонячну, вітрову електроенергію і біомасу. • Введення податку на електроенергію і тепло, який не поширюється на виробників енергії з використанням ПДЕ. • Гарантовану купівлю енергії від ПДЕ.
Німеччина	<p>До 2010 рік Геоманія поставила мета удвічі збільшити вироблення електроенергії від ВИЭ (з 5% в 2000г до 10% в 2010 р.).</p> <p>Для реалізації цього завдання урядом було заплановано:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Реалізація державної програми "Ринкові стимули і розвиток поновлюваних джерел енергії", що передбачає підтримку виробників енергії з ПДЕ за рахунок виділення субсидій (щорічні субсидії у розмірі 30 млн. DM до 2030г). 2. Виділення урядових асигнувань на дослідницькі роботи. 3 .Встановлення спеціальних фіксованих тарифів для енергії, що отримується від ВИЭ; перегляд цих тарифів кожні два роки з урахуванням вдосконалення технологій і розвитку ринку (визначено Законом про ПДЕ від 25.02.2000г.)
Великобританія	<p>Великобританія задекларировала цель - достижение к 2010 г. выработки 10% всей электроэнергии от ПДЕ. Для</p>

	<p>реализации этой задачи приняты:</p> <p>1".Припис по зобов'язаннях ПДЕ" від 01.01.2002 р., в якому введені зобов'язання для усіх електроенергетичних компаній до березня 2003 року виробляти 3% від електроенергії, що виробляється ними, за рахунок ПДЕ, а до березня 2011 р. збільшити долю цієї енергії до 10,4%. Термін дії припису - до 2027 р.</p> <p>2. Стратегія в області поновлюваних джерел енергії від 2000г., що передбачає скорочення емісії CO₂ на 21,5% в порівнянні з 1990г.</p> <p>3. "Програма по зміні клімату".</p>
Іспанія	<p>Іспанією передбачено досягнення до 2010 р. 12% вкладу ПДЕ в загальний енергобаланс країни. З метою реалізації цього завдання в 1998 році ухвалений Королівський закон, що передбачає використання двох варіантів надання пільг виробникам енергії від ПДЕ (на вибір виробників) :</p> <ul style="list-style-type: none"> - - продаж електроенергії за гарантованою фіксованою ціною - - продаж електроенергії за ринковою ціною + бонус за кожен вироблений кВт.час. електроенергії від ПДЕ.
Швеція	<p>Для реалізації завдань, передбачених директивою ЕК, уряд Швеції прийняла:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Державний закон по стійкому енергопостачанню, що включає заходи по збільшенню електро- і теплопостачання за рахунок ПДЕ. • Семирічну програму наукових досліджень і розробки демонстраційних програм, спрямованих на підтримку ПДЕ і нових енергетичних технологій, що передбачає виділення фінансових коштів на ці заходи. • П'ятирічну програму субсидій (виділення 50 млн.євро на створення енергогенеруючих потужностей з використанням біопалив).
Фінляндія	<p>Фінляндія задекларувала мету - до 2005 р. досягти використання біоенергії до 25% в загальному енергобалансі країни. Із цього приводу прийнято Рішення по енергетичній політиці (1995 р.), що зафіксувало механізми досягнення поставленої мети.</p>

Стратегія України по розвитку ПДЕ.

Законодавство про альтернативну енергетику

Загальні основи

Проблеми із забрудненням довкілля і лімітированість запасів звичних джерел енергії примушують шукати інші види палива. Таким чином,

на арену виходить альтернативна енергетика. Спочатку слід зазначити, що в законодавстві слова "альтернативні види енергії" і "нетрадиційні види енергії" вживаються як синоніми.

Згідно енергетичної стратегії України до 2030 року, планується досягти наступних показників.

Таблиця 2.2. Плановані показники по ПДЕ для України

НАПРЯМИ	Рік			
	2005	2010	2020	2030
Поновлювані джерела енергії, усього, в т.ч.	1,661	3,842	12,054	35,53
Біоенергетика	1,3	2,7	6,3	9,2
Сонячна енергетика	0,003	0,032	0,284	1,1
Мала гідроенергетика	0,12	0,52	0,85	1,13
Геотермальна енергетика	0,02	0,08	0,19	0,7
Вітроенергетика	0,018	0,21	0,53	0,7
Енергія довкілля	0,2	0,3	3,9	22,7

Основними законодавчими актами, які регулюють альтернативну енергетику в Україні, є наступні:

- Закон України "Про альтернативні джерела енергії" № 555 - IV від 20.02.2003 г

- Закон України "Про альтернативні види рідкого і газоподібного палива" № 1391 - XIV від 14.01.2000 р.

- Закон України "Про електроенергетику" № 575/97-ВР від 16.10.1997г.

Серед видів альтернативної енергетики великий потенціал має біоенергетика. Проте, законодавче регулювання біоенергетики в Україні обмежується на цьому етапі загальними станами. У вказаних вище законах знаходяться положення відносно державного контролю і регулювання діяльності в цій сфері, можливих пільгах і деякі інші умови. Положень відносно господарської діяльності по виробництву і реалізації біопалива в законодавстві України доки практично не передбачено. На цьому етапі можливість продажу біологічних видів палива ускладнена тим, що не розроблені відповідні державні стандарти. Варто відмітити, що згідно з Розпорядженням КМ України від 27.02.2008 року № 383-р "Про затвердження плану заходів, спрямованих на реалізацію пріоритетів діяльності Кабінету Міністрів України в 2008 році" Міністерство аграрної політики повинне забезпечити розвиток виробництва біопалива з розробкою відповідних державних стандартів до грудня 2008 року. За станом на серпень 2009 року ці стандарти ще не затверджені.

Зміни законодавства і подальші плани

Починаючи з вересня 2008 року, коли на законодавчому рівні було закріплено поняття "зелених" тарифів, в Україні активізувалася робота по просуванню альтернативної енергетики. Для удосконалення положень першого закону був ухвалений Закон України "Про внесення змін до Закону України "Про електроенергетику" відносно стимулювання використання альтернативних джерел енергії" від 01.04.2009 року № 1220 - VI, яким встановлений новий порядок визначення тарифів на електроенергію, вироблену з використанням альтернативних джерел енергії.

Також активізується робота по стимулюванню розвитку такого виду альтернативної енергетики як біоенергетика. Зокрема, Законом України "Про внесення змін до деяких законів України відносно сприяння виробництву і використанню біологічних видів палива" від 21.05.2009 року № 1391 - VI:

- дані визначення біологічних видів палива;
- визначено, що біологічні види палива, які призначені для реалізації як товарна продукція, підлягають обов'язковій сертифікації;
- при продажі такого палива продавець представляє покупцеві документ, що підтверджує якість палива і те, що воно є альтернативним;
- виробництвом і реалізацією біопалива можуть займатися підприємства усіх організаційно-правових форм і форм власності;
- діяльність по виробництву біоетанолу здійснюється суб'єктами господарської діяльності, перелік яких визначається Кабінетом Міністрів України, за умови отримання відповідної ліцензії;
- одним з принципів державної політики названо поетапне збільшення обов'язкової частини виробництва і використання біопалива і сумішевих моторних палив;
- внесені зміни до деяких законів, згідно з якими:
 - звільняється від оподаткування митним митом техніка, устаткування, яке не виробляється в Україні і ввозиться на митну територію України в період з 1 січня 2010 року по 1 січня 2019 року для реконструкції існуючих і будівництва нових підприємств по виробництву біологічних палив, реконструкції транспортних засобів з метою споживання біологічних палив, по переліку, визначеному Кабінетом Міністрів України;
 - строком на п'ять років, починаючи з 1 січня 2010 року, звільняється від оподаткування прибуток виробників біологічних видів палива, отриманий від продажу біопалива;
 - біологічні види палива моторного оподатковуються по нульовій ставці акцизного збору.

12 лютого в 2009 року було прийнято Розпорядження КМ України № 276-р "Про схвалення Концепції Державної цільової науково-технічної програми розвитку виробництва і використання біологічних видів палива".

Ця програма розрахована на 2009-2014 роки. Концепція передбачає необхідність розробки нормативно-правових актів, обкреслює перспективи розвитку альтернативної енергетики в Україні.

Основні поняття

Альтернативними джерелами енергії згідно із Законом України "Про альтернативні джерела енергії" являються відновлювані джерела енергії, до яких належать енергія сонця, вітри, геотермальна енергія, енергія хвиль і приливів, гідроенергія, енергія біомаси, газ з органічних відходів, газ каналізаційних очисних станцій, біогаз і вторинні енергетичні ресурси, до яких належать доменний і коксовий газ, газ метан дегазації вугільних родовищ, перетворення скидного енергопотенціалу технологічних процесів.

Нетрадиційні джерела і види енергетичної сировини згідно із Законом України "Про альтернативні види рідкого і газоподібного палива" - це сировина рослинного походження, відходи, тверді горючі речовини, інші природні і штучні джерела і види енергетичної сировини, у тому числі нафтові, газові, газоконденсатні і нафтогазоконденсатні вичерпані, непромислового значення і техногенні родовища, важкі сорти нафти, природні бітуми, газонасичені води, газогідрати і тому подібне, виробництво і переробка яких потребують застосування новітньої технології і які не використовуються для виробництва традиційних видів палива.

Ліцензування, стандартизація і сертифікація

Ліцензування

Про загальні поняття ліцензуванні в електроенергетиці сказано вище. Що стосується електроенергії, виробленої з використанням альтернативних джерел енергії, тут є деякі особливості. КМ України було прийнято Постанова від 19.02.2009 року № 126, згідно з яким НКРЕ було рекомендовано визначити, що власникам установок, які виробляють електричну енергію з використанням альтернативних джерел енергії зі встановленою потужністю до 10 МВт, дозволяється виробляти діяльність по виробництву електричної енергії без відповідної ліцензії.

Таким чином, за наявності генеруючого устаткування, яке використовує альтернативні джерела енергії, встановленою потужністю до 10 МВт, виробники електричної енергії повинні мати право виробляти електричну енергію без отримання ліцензії на виробництво електричної енергії. Проте, НКРЕ при публікації проекту регуляторного акту роз'яснила, що при цьому для продажу вказаними власниками генеруючого устаткування виробленої електричної енергії на Оптовому ринку електричної енергії за "зеленим" тарифом, вони повинні отримати ліцензії на виробництво електричної енергії.

Наявність ліцензій на виробництво електричної енергії у таких суб'єктів підприємництва є необхідною, оскільки:

- отримання статусу члена Оптового ринку, і, таким чином, можливості продажу виробленої електроенергії на Оптовому ринку можливо лише за наявності ліцензії на виробництво електричної енергії;

- отримання від суб'єкта господарської діяльності усіх необхідних документів для затвердження "зеленого" тарифу, контроль цільового використання інвестиційних засобів "зеленого" тарифу, врегулювання стосунків між суб'єктами Оптового ринку в процесі виробництва, передачі і постачання електричною енергією, на яку затверджений "зелений" тариф, можливо лише у разі, якщо цей суб'єкт господарської діяльності є ліцензіатом НКРЕ.

Відповідно, без ліцензії можна виробляти електроенергію за наявності генеруючого устаткування, яке використовує альтернативні джерела енергії, встановленою потужністю до 10 Мвт, для власного споживання.

Стандартизація

Метою стандартизації у сфері альтернативних видів палива згідно із статтею 7 Закону України "Про альтернативні джерела енергії" являється визначення комплексу норм, правил, вимог, показників, відносно технології виробництва і споживання цих видів палива, їх якості, екологічної безпеки, безпеки для здоров'я і праці людей. Стандарти, якими встановлюються вимоги відносно якості альтернативних видів палива, повинні забезпечувати ефективне і економічне використання енергетичного потенціалу палива.

Показники споживчої якості кожного альтернативного виду палива встановлюються у відповідних стандартах. Ці показники мають бути основою для усіх розрахунків відносно альтернативних видів палива. Державний комітет України з питань технічного регулювання і споживчої політики є центральним органом виконавчої влади, відповідальним за стандартизацію і, у разі потреби, делегує повноваження у сфері стандартизації відповідним органам державної влади. За станом на серпень 2009 року стандарти по альтернативному паливу не затверджені.

Сертифікація

Приналежність палива до альтернативного підтверджується документом про ідентифікацію палива, яке видається Національним агентством з питань забезпечення ефективного використання енергетичних ресурсів в порядку, певному КМ України. Цей порядок затверджений Постановою КМ від 5 жовтня 2004 року № 1307 "Про порядок видачі посвідчення про приналежність палива до альтернативного". Умовою отримання свідоцтва про приналежність палива до альтернативного являється отримання ув'язнення експертизи, порядок проведення якої затверджений Наказом Державного комітету України по енергозбереженню "Про затвердження Порядку проведення експертизи для підтвердження приналежності палива до альтернативного" від 10 грудня 2004 року № 183.

Оподаткування

Законодавством України передбачений ряд пільг стосовно оподаткування діяльності пов'язаної з розробкою, впровадженням і використанням енергозбережних заходів і енергоефективних проектів.

Податок з прибутку підприємств

Законом України "Про оподаткування прибутку підприємств" визначено, що звільняється від оподаткування:

1. Прибуток підприємств, отриманий від продажу на митній території України таких видів товарів власного виробництва по переліку, встановленому КМ України:

- устаткування, яке працює на нетрадиційних і поновлюваних джерелах енергії;

- устаткування для виробництва альтернативних видів палива.

2. Суми коштів, вивільнених у зв'язку з наданням податкової пільги, спрямовуються платником податку на збільшення обсягів виробництва. У разі порушення цільового використання засобів, платник податку зобов'язаний визначити прибуток, не оподаткований у зв'язку з наданням податкової пільги, і оподаткувати його в поточному періоді, а також сплатити відповідну пеню.

Податок на додану вартість

Пункт 5.18 статей 5 Закону України "Про податок на додану вартість" визначає, що звільняються від оподаткування операції по ввезенню на митну територію України наступного устаткування і матеріалів :

- устаткування, яке працює на нетрадиційних і поновлюваних джерелах енергії;

- устаткування і матеріалів для виробництва альтернативних видів палива за умов, якщо ці товари застосовуються платником податку для власного виробництва і якщо ідентичні товари з аналогічними якісними показниками не виробляються в Україні. Перелік і об'єми відмічених товарів встановлюються КМ України;

- матеріалів, устаткування і комплектуючих, які використовуються для виробництва устаткування, яке працює на нетрадиційних і поновлюваних джерелах енергії, яке виробляє альтернативні види палива.

Перелік і об'єми відповідних товарів встановлені Постановою КМ України від 14 травня в 2008 роки № 444 "Питання ввезення на митну територію України енергозбережних матеріалів, устаткування і комплектуючих". У разі порушення вимог відносно цільового використання таких товарів платник податку зобов'язаний збільшити податкові зобов'язання за результатами податкового періоду, на який доводиться таке порушення, на суму податку на додану вартість, що мала бути сплачена по вказаних операціях в звичайному режимі, а також заплатити пеню, нараховану відповідно до закону.

Митні збори

Згідно з Розділом 3 статті 19 пункт Закону "Про єдиний митний тариф" звільняються від сплати мит наступне устаткування і матеріали:

- устаткування, яке працює на нетрадиційних і поновлюваних джерелах енергії;

- устаткування і матеріали для виробництва альтернативних видів палива, які ввозяться на митну територію України вітчизняними підприємствами, за умов, якщо ці товари застосовуються ними для власного виробництва і якщо ідентичні товари з аналогічними якісними показниками не виробляються в Україні. У разі порушення вимог відносно цільового використання вказаних товарів суб'єкт зовнішньоекономічної діяльності зобов'язаний сплатити ввізне мито в порядку і розмірах, визначених законом.

"Зелені тарифи"

Загальна характеристика і історія становлення

Як згадувалося вище, спочатку був ухвалений Закон України "Про внесення змін до деяких законів України відносно встановлення "зеленого" тарифу" від 25 вересня 2008 року № 601 - VI, яким були внесені зміни до Закону про електроенергетику. Згідно з вказаним вище Законом, "зелений тариф - це спеціальний тариф, по якому купується електрична енергія, вироблена на об'єктах електроенергетики, які використовують альтернативні джерела енергії. Причому продавати електроенергію, вироблену таким чином можна безпосередньо споживачам, а Оптовий ринок зобов'язаний купувати за "зеленим" тарифом електричну енергію, вироблену таким чином і не продану за договірними цінами, безпосередньо споживачам або енергозабезпечуючим компаніям, які здійснюють господарську діяльність по постачанню електричною енергією за регульованим тарифом.

Раніше "Зелений" тариф повинен був затверджуватися НКРЕ щорічно для кожного суб'єкта господарської діяльності на рівні подвоєного середневзвешеного тарифу на електроенергію, яка купується у енергогенеруючих компаній, що працюють на оптовому ринку електричної енергії України по цінових заявках, за рік, передуючий року затвердженню тарифу. Такий порядок визначення "зеленого" тарифу повинен був застосовуватися для кожного суб'єкта господарювання протягом 10 років з дати його твердження. Діючий в той момент "зелений" тариф був встановлений Постановою НКРЕ від 15.01.2009 року № 25 "Про затвердження "зеленого" тарифу" на рівні 0,6624 грн. за 1 кВт/година.

Європейський банк реконструкції і розвитку планує допомагати в адаптації вказаного порядку і внесенні до нього необхідних змін в процесі впровадження таких тарифів в Україні. При реформуванні оптового ринку електроенергії в Україні планується передбачити стимулювання альтернативної енергетики, особливо за рахунок включення витрат, пов'язаних з виробництвом і підключенням до мережі, в тарифах на електроенергію для споживачів.

Діюча система

1 квітня 2009 року був ухвалений Закон України "Про внесення змін до Закону України "Про електроенергетику" відносно стимулювання використання альтернативних джерел енергії". Цим Законом система затвердження зелених тарифів була істотно змінена. Ухваленим Законом визначено, що розмір "зеленого" тарифу встановлюється для кожного суб'єкта господарської діяльності, який виробляє електричну енергію з використанням альтернативних джерел енергії, відносно кожного виду альтернативної енергії і для кожного об'єкту електроенергетики.

Тепер розмір "зеленого" тарифу буде обчислюватися шляхом множення роздрібного тарифу для споживачів другого класу напруги на січень 2009 року на спеціальний коефіцієнт "зеленого" тарифу для кожного виду альтернативної енергії.

Коефіцієнт "зеленого" тарифу коливається від 0,8 до 4,8.

Коефіцієнт "зеленого" тарифу для електроенергії, виробленої об'єктами електроенергетики, введеними в експлуатацію після 2014, 2019 і 2024 років, зменшується відповідно на десять, двадцять і тридцять відсотків від його базової величини.

"Зелений" тариф встановлюється до 1 січня 2030 року.

Вказаний порядок стимулювання виробництва електроенергії з альтернативних джерел енергії застосовуватиметься за умови, що починаючи з 1 січня 2012 року питома вага сировини, матеріалів, основних фондів, робіт і послуг українського походження у вартості будівництва відповідного об'єкту електроенергетики, який виробляє електричну енергію з використанням альтернативних джерел енергії, складатиме не менше 30%, а починаючи з 1 січня 2014 року - 50%.

Додатковою умовою для затвердження "зеленого" тарифу для об'єктів по виробництву електроенергії з використанням енергії сонячного випромінювання являється використання, починаючи з 1 січня 2011 року, на об'єктах електроенергетики сонячних модулів, у вартості виробництва яких питома вага матеріалів і сировини українського походження складає не менше ніж 30%.

23 липня 2009 року під час відкритого засідання НКРЕ затвердила "зелені" тарифи.

Нижче приведена таблиця 2.3. розмірів зелених тарифів, розрахованих відповідно до Закону України "Про внесення змін до Закону України "Про електроенергетику" відносно стимулювання використання альтернативних джерел енергії" від 01.04.2009 р.

Порядок встановлення

22 січня 2009 року було прийнято Постанову НКРЕ "Про затвердження Порядку встановлення, перегляду і припинення дії "зеленого" тарифу для суб'єктів господарської діяльності". Враховуючи, що з ухваленням Закону України "Про внесення змін до Закону України "Про електроенергетику" відносно стимулювання використання альтернативних джерел енергії" порядок істотно змінився, НКРЕ розробила зміни до вказаної вище

Таблиця 2.3. Розміри зелених тарифів

ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЯ, ВИРОБЛЕНА З ВИКОРИСТАННЯМ:		<i>Формула</i>	<i>Роздрібна ціна на ел/енергію для 2-го класу споживачів на січень 2009г, євро/кВт</i>	<i>Коефіцієнт зеленого тарифу</i>	<i>Коефіцієнт пікового періоду часу</i>	<i>Тариф, євро/кВт</i>
			А	В	С	
Енергії вітру :	Об'єктами, величина встановленої потужності яких не перевищує 600 КВт	$A*B$	0,05385	1,2	Не застосовується	0,0646
	Об'єктами, величина встановленої потужності яких більше 600 КВт, але не перевищує 2000 КВт	$A*B$	0,05385	1,4	Не застосовується	0,0754
	Об'єктами, величина встановленої потужності яких перевищує 2000 КВт	$A*B$	0,05385	2,1	Не застосовується	0,1131
Енергії біомаси :		$A*B$	0,05385	2,4	Не застосовується	0,1239
Енергії сонячного випромінювання :	Наземними об'єктами електроенергетики	$A*B*C$	0,05385	4,8	1,8	0,4653
	Об'єктами електроенергетики, які вмонтовані на даху будинків, будівель і споруд,	$A*B*C$	0,05385	4,6	1,8	0,4459

	величина встановленої потужності яких перевищує 100 КВт					
	об'єктами електроенергетики, які вмонтовані на даху будинків, будівель і споруд, величина встановленої потужності яких не перевищує 100 КВт, а також для об'єктів, вмонтованих на фасадах будинків, будівель і споруд, незалежно від їх граничної потужності	A*B*C	0,05385	4,4	1,8	0,4265
Малих гідроелектростанцій		A*B*C	0,05385	0,8	1,8	0,0775

- A** *Постанова НКРЭот 23 грудня 2008 року № 1440 "Про твердження на січень 2009 року роздрібних тарифів на електроенергію з урахуванням граничних рівнів тарифів при поступовому переході до формування єдиних роздрібних тарифів для споживачів на території України"*
- B** *Закон України від 16 жовтня 1997 року № 575/97-ВР "Про електроенергетику" із змінами, внесеними Законом України від 1 квітня 2009 року № 1220, - VI "Про внесення змін до Закону України "Про електроенергетику" відносно стимулювання використання альтернативних джерел енергії"*
- C** *Постанова НКРЕ від 20 грудня 2001 року № 1241 "Про тарифи, диференційовані по періодах часу"*

Постанови від 16.07.2009 року № 828. Згідно з вищезгаданим Порядком "зелений" тариф встановлюється НКРЕ і діє до 2030 року.

Передбачена формула коригування тарифу залежно від змін курсу, але згідно з цією формулою тариф може тільки збільшуватися, а не зменшуватися. Такий перегляд відбувається на кожну дату встановлення роздрібних тарифів для споживачів. Постановою визначений порядок подачі заяви про встановлення "зеленого" тарифу, а також основи для припинення його дії.

Для того, щоб конкретному підприємству був встановлений "зелений" тариф, підприємство подає в НКРЕ наступні документи в друкарській формі:

- заява відносно затвердження "зеленого" тарифу по встановленій формі;

- пояснювальну записку з детальною інформацією про суб'єкта господарської діяльності;

- розрахунок собівартості виробництва електричної енергії установкою з використанням альтернативних джерел енергії;

- обґрунтування статті і елементів витрат собівартості виробництва електричної енергії;

- пояснювальну записку до робочого проекту будівництва об'єктів електроенергетики з використанням альтернативних джерел енергії;

- копію технічних умов на підключення нових електроустановок суб'єкта господарської діяльності - виробника електричної енергії, який використовує альтернативні джерела енергії, отриманих відповідно до чинного законодавства;

- свідоцтво про відповідність побудованого об'єкту електроенергетики, який виробляє електричну енергію з використанням альтернативних джерел енергії, проектній документації, вимогам державних стандартів, будівельних норм і правил;

- копія кошторисної документації на здійснення реконструкції, модернізації і технічного переоснащення за рахунок власних або притягнених засобів;

- починаючи з 1 січня 2012 року документ, що підтверджує те, що відповідно до Порядку визначення питомої ваги сировини, матеріалів, основних фондів, робіт і послуг українського походження у вартості будівництва об'єктів електроенергетики і їх складових питома вага сировини, матеріалів, основних фондів, робіт і послуг українського походження у вартості будівництва відповідного об'єкту електроенергетики складає не менше тридцяти відсотків, а починаючи з 1 січня 2014 року - п'ятдесяти відсотків;

- у разі виробництва суб'єктом господарської діяльності електроенергії з використанням енергії сонячного випромінювання, починаючи з 1 січня 2011 року, документ, що підтверджує те, що у вартості виробництва використаних сонячних модулів питома вага матеріалів і сировини українського походження складає не менше тридцяти відсотків.

НКРЕ розглядає заяву і подані документи упродовж 30 календарних днів з дня представлення цих документів в повному об'ємі, після чого упродовж 15 днів виносить питання на відкрите засідання НКРЕ, про що повідомляє суб'єкта господарської діяльності. Рішення НКРЕ про затвердження "зеленого" тарифу оформляється постановою.

Порядок підключення до мережі

19 лютого 2009 року було прийнято Постанову КМ України № 126 "Про особливості приєднання до електричних мереж об'єктів електроенергетики, які виробляють електричну енергію з використанням альтернативних джерел", яке набуло чинності 03.03.2009 року. Згідно з цією Постановою точкою приєднання визначена межа земельної ділянки власника установки по виробництву електричної енергії або з його згоди частина земельної ділянки, відведеної для розташування такої установки.

Приєднання здійснюється згідно з угодою про приєднання, зразкову форму якого затвердило НКРЕ Постановою № 838 від 16 липня 2009 року.

Також встановлено, що власник установки по виробництву електричної енергії може реалізовувати вироблену понад власні потреби електричну енергію на оптовому ринку електричної енергії або енергопостачальнику за регульованим тарифом, або безпосередньо споживачам у встановленому законодавством порядку за договором купівлі-продажу електричної енергії, виробленої з використанням альтернативних джерел.

Зразкова форма договору купівлі-продажу електроенергії, виробленої з альтернативних джерел, безпосередньо споживачам затверджена вищеназаною постановою № 838. Згідно із змінами, внесеними до Закону України "Про електроенергетику" 01 квітня 2009 року, енергопостачальники, які поставляють енергію з використанням власних мереж, не мають права відмовити в доступі до цих мереж суб'єктам, які виробляють енергію з використанням альтернативних джерел енергії, і, також, повинні у своїх інвестиційних програмах передбачати витрати на таке підключення.

На даний момент важко передбачити якою мірою і наскільки скоро буде реалізовано це положення цього Закону на практиці. Альтернативою є будівництво електромереж з використанням технічних умов, про що ми згадували в розділі про електроенергетику. Також Кабінет Міністрів рекомендував НКРЕ передбачати компенсацію усіх витрат ліцензіата по передачі електричної енергії місцевими електричними мережами, пов'язаних із здійсненням організаційно-технічних заходів щодо приєднання установок по виробництву електричної енергії до електричних мереж, і збитків, пов'язаних з придбанням безпосередньо у енергогенеруючого підприємства електричної енергії, виробленої з використанням альтернативних джерел за "зеленим" тарифом, шляхом включення таких витрат в тарифи на її передачу.

Ресурси поновлюваних джерел енергії в Україні, їх енергетичний потенціал, об'єми використання приведені в таблиці 2.4.

Таблиця 2.4. Ресурси поновлюваних джерел енергії України

Джерела енергії	Теоретичний потенціал МВт·година/рік	Використання, МВт·година/рік	Технічний потенціал, МВт·година/рік
Геліоенергетика	$720 \cdot 10^9$	$81 \cdot 10^3$	$0,13 \cdot 10^9$
Вітроенергетика	$965 \cdot 10^9$	$0,8 \cdot 10^3$	$0,36 \cdot 10^9$
Геотермальна енергетика	$5128 \cdot 10^9$	$0,4 \cdot 10^3$	$14 \cdot 10^9$
Біоенергетика	$12,5 \cdot 10^6$	$0,014 \cdot 10^3$	$6,1 \cdot 10^6$
Мала гідроенергетика	$17,4 \cdot 10^6$	$0,5 \cdot 10^6$	$6,4 \cdot 10^6$

Змістовний модуль 2. ОСНОВНІ ДЖЕРЕЛА АЛЬТЕРНАТИВНОЇ ЕНЕРГІЇ

Тема 3. СОНЯЧНА ЕНЕРГЕТИКА

Перетворення сонячної енергії в електричну.

Інтенсивність сонячного випромінювання. Фотоелектричні властивості р - n переходу.

Вольт-амперна характеристика сонячного елемента.

Конструкції і матеріали сонячних елементів.

Системи сонячного теплопостачання.

Класифікація і основні елементи геліосистем.

Концентруючі геліоприймачі.

Плоскі сонячні колектори.

Теплова акумуляція енергії.

Енергетичний баланс теплового акумулятора.

Класифікація акумуляторів тепла.

Системи акумуляції.

Теплова акумуляція для сонячного обігріву і охолодження приміщень.

Фізичні основи процесів перетворення сонячної енергії

Інтенсивність сонячного випромінювання

Джерелом енергії сонячного випромінювання служить термоядерна реакція на Сонці. Основна частина цієї енергії випускається у вигляді електромагнітного випромінювання в діапазоні довжин хвиль $\lambda = 0,2 - 3$ мкм. При проходженні через атмосферу сонячне світло ослабляється, в основному за рахунок поглинання інфрачервоного випромінювання парами води, ультрафіолетового випромінювання - озоном і розсіяння випромінювання молекулами газів і частками пилу, що знаходяться в повітрі, і аерозолями. Параметром, що відбиває вплив атмосфери на інтенсивність і спектральний склад сонячного випромінювання, що доходить до земної поверхні, являється атмосферна (чи повітряна) маса (АМ).

При нульовій повітряній масі АМ₀ у верхньої межі атмосфери інтенсивність випромінювання рівна $E_0 = 1360$ Вт/м². Величина АМ₁ відповідає проходженню сонячного випромінювання через безхмарну атмосферу до рівня моря при зенитальному розташуванні Сонця. Повітряна маса для будь-якого рівня земної поверхні у будь-який момент дня визначається по формулі

$$AM(x) = \frac{x}{x_0} \frac{1}{\sin \Theta} \quad (3.1)$$

де x - атмосферний тиск, Па;

x_0 - нормальний атмосферний тиск (1,013·10⁵ Па);

Θ - кут висоти Сонця над горизонтом.

Найбільш характерною в земних умовах є величина АМ 1,5 ($\theta = 41^\circ 49'$). Вона прийнята за стандартну при інтегральній поверхневій щільності сонячного випромінювання $E_S = 835 \text{ Вт/м}^2$. Це необхідно для забезпеченні порівнянності результатів досліджень різних сонячних елементів. На мал. 3.1 приведений спектральний розподіл потоку фотонів позаатмосферного (АМ0) і наземного стандартизованого (АМ1, 5) сонячного випромінювання при перпендикулярному падінні променів на приймальний майданчик.

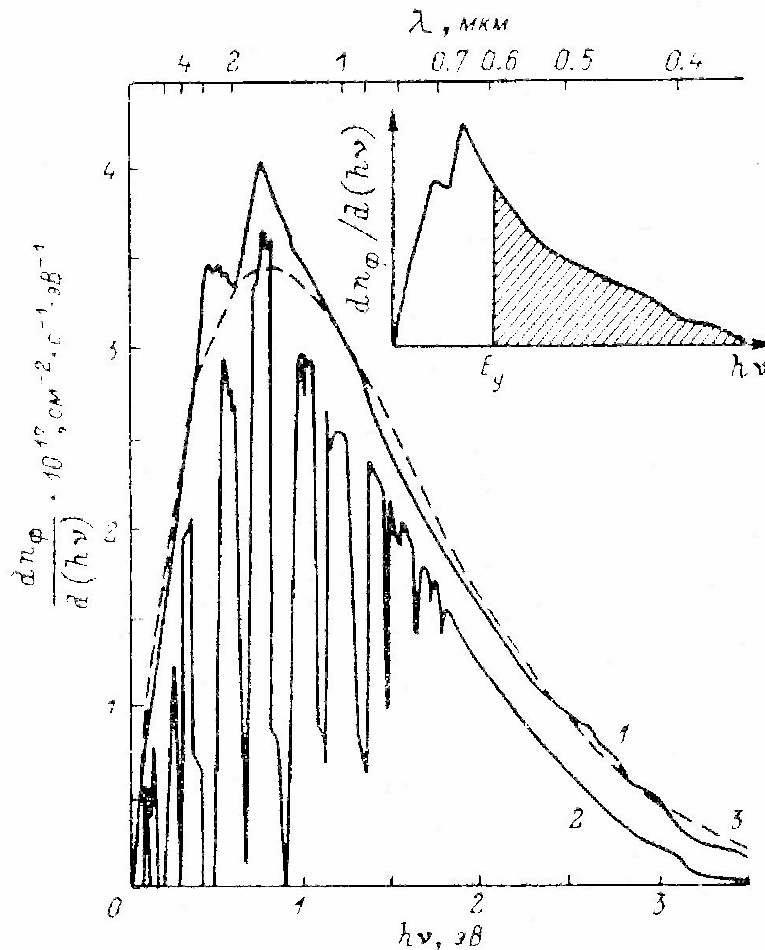


Рис. 3.1. Спектральний розподіл потоку фотонів сонячного випромінювання : 1 - позаатмосферне випромінювання (АМ0); 2 - наземне стандартизоване випромінювання (АМ1, 5); 3 - спектр випромінювання абсолютно чорного тіла при $T_C = 5800 \text{ К}$. На вставці заштрихована доля корисно використовуваних фотонів.

Енергія фотонів, eV , у випромінюванні з довжиною хвилі λ визначається із співвідношення

$$h\nu = h \frac{c}{\lambda} = \frac{1,24}{\lambda} \quad (3.2)$$

де h - постійна Планка, $6,626196(50) \cdot 10^{-34}$ Дж·с;
 c - швидкість світла, $2,9979250(10) \cdot 10^8$ м/с;
 λ - довжина хвилі, мкм.

Електронвольт - робота, яку необхідно зробити, щоб перемістити електрон між двома точками з різницею потенціалів 1 В. $1\text{eV} = 1,6 \cdot 10^{-19}$ Дж.

Гранична довжина хвилі, починаючи з якої фотони поглинатимуться в матеріалі сонячного елемента з шириною забороненої зони (характеризується відсутністю енергетичних рівнів, різна по ширині для різних матеріалів) E_g

$$\lambda_c = \frac{1,24}{E_g} \quad (3.3)$$

Більш довгохвильове випромінювання не поглинається в напівпровіднику і, отже, марно з точки зору фотоелектричного перетворення.

Фотоелектричні властивості p - n переходу

Сонячний фотоелемент виготовляється на основі пластини, виконаної з напівпровідникового матеріалу, наприклад кремнію (рис. 3.2.). У пластині створюються області з p - і n - типами провідності. Отримують різні типи провідності шляхом зміни типу введених в напівпровідник домішок. Наприклад, атоми III групи Періодичної системи Д.И. Менделєєва, введені в кристалічну решітку кремнію, надають останньому діркову (позитивну) провідність, а домішки V групи - електронну (негативну).

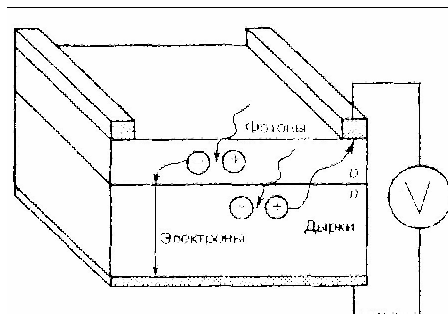


Рис. 3.2. Конструкція простого сонячного елемента

Потім виготовляється нижній і верхній електроконтакти, причому нижній контакт - суцільний, а верхній виконується у вигляді гребінчастої структури (тонкі смуги, сполучені відносно широкою шиною). Контакт p - или n -полупроводников призводить до освіти між ними контактного електричного поля, що грає важливу роль в роботі сонячного фотоелемента.

Розглянемо причину виникнення контактної різниці потенціалів. При з'єднанні в одному монокристалі напівпровідників p - і n -типа виникає дифузійний потік електронів з напівпровідника n -типа в напівпровідник p -типа і, навпаки, потік дірок з p - в n -полупроводник. В результаті такого

процесу прилегла до р - n переходу частина напівпровідника р -типа заряджатиметься негативно, а прилегла до р - n переходу частину напівпровідника n -типа, навпаки, придбає позитивний заряд. Таким чином, зблизька р - n переходу утворюється подвійний заряджений шар, який протидіє процесу дифузії електронів і дірок. Дійсно, дифузія прагне створити потік електронів з n -області в р -область, а поле зарядженого шару, навпаки, - повернути електрони в n -область. Аналогічним чином поле в р - n переході протидіє дифузії дірок з р - в n -область. В результаті встановлюється рівноважний стан: в області р - n переходу виникає потенційний бар'єр, для подолання якого електрони з n -полупроводника і дірки з р -полупроводника повинні витратити певну енергію.

Розглянемо роботу р - n переходу у фотоелементах. При поглинанні світла в напівпровіднику збуджуються електронно-діркові пари. У однорідному напівпровіднику фотозбудження збільшує тільки енергію електронів і дірок, не розділяючи їх в просторі, тобто електрони і дірки розділяються в "просторі енергій", але залишаються поруч в геометричному просторі. Для розподілу носіїв струму і появи фотоелектрорушійної сили (ФОТОЕРС) повинна існувати додаткова сила. Найбільш ефективний розподіл нерівноважних носіїв має місце саме в області р - n переходу (рис. 3.2). Що генеруються зблизька р - n переходу "неосновні" носії (дірки в n -полупроводнику і електрони в р -полупроводнику) дифундують до р - n переходу, підхоплюються полем р - n переходу і викидаються в напівпровідник, в якому вони стають основними носіями, : електрони локалізуються в напівпровіднику n -типа, а дірки - в напівпровіднику р -типа. В результаті напівпровідник р -типа отримує надлишковий позитивний заряд, а напівпровідник n -типа - негативний. Між n - і р -областями фотоелемента виникає різниця потенціалів - ФОТОЕРС, або напруга в режимі холостого ходу. Полярність ФОТОЕРС відповідає "прямому" зміщенню р - n переходу, яке знижує висоту потенційного бар'єру і сприяє інжекції дірок з р -області в n -область і електронів з n -області в р -область. В результаті дії цих двох протилежних механізмів - накопичення носіїв струму під дією світла і їх відтоку із-за пониження висоти потенційного бар'єру - при різній інтенсивності світла встановлюється різна величина ФОТОЕРС. При цьому величина ФОТОЕРС в широкому діапазоні освітленостей росте пропорційно логарифму інтенсивності світла.

При короткому замиканні освітленого р - n переходу в електричній цепі потече струм, пропорційний за величиною інтенсивності освітлення і кількістю електронно-діркових пар, що генеруються світлом. При включенні в електричній ланцюг корисного навантаження, величина струму в ланцюзі декілька зменшиться. Звичайний електричний опір корисного навантаження в ланцюзі сонячного елемента вибирають таким, щоб отримати що максимальну віддається цьому навантаженню електричну потужність.

Вольт-амперна характеристика сонячного елемента

Потік носіїв, що генеруються світлом, утворює фотострум I_{ϕ} . Величина I_{ϕ} дорівнює числу носіїв, що фотогенеруються, пройшли через р - n -переход в одиницю часу

$$I_{\phi} = q \frac{P_u}{h\nu} \quad (3.4)$$

де q - величина заряду електрона;

P_u - потужність поглиненого монохроматичного випромінювання.

Тут передбачається, що в напівпровіднику кожен поглинений фотон з енергією $h\nu \geq E_g$ створює одну електронно-діркову пару. Це умова добре виконується для сонячних елементів на основі Si і GaAs (у кремнії внутрішній фотоефект має місце для хвиль з довжиною $\lambda \leq 1,1$ мкм, тобто для видимого, ультрафіолетового і ближнього інфрачервоного випромінювань).

При нульових внутрішніх омичних втратах в сонячному елементі режим короткого замикання еквівалентний нульовій напрузі зміщення р - n -перехода, тому струм короткого замикання $I_{к.з.}$ з дорівнює фотоструму

$$I_{к.з.} = I_{\phi} \quad (3.5)$$

У режимі холостого ходу фотострум урівноважується "темновим" током I_t - прямим струмом через р - n -переход, що виникає при напрузі зміщення $U = U_x$. При цьому через р - n -переход протікають наступні струми: неосновних носіїв, основних носіїв і первинний фотострум. Абсолютне значення "темнового" струму

$$I_m = I_0 (e^{\frac{qU}{kT}} - 1) = I_{\phi} \quad (3.6)$$

де k - постійна Больцмана, $1,38 \cdot 10^{-23}$ Дж/До = $0,86 \cdot 10^{-4}$ эВ/До;

T - абсолютна температура, До;

I_0 - струм насичення (представляє суму струмів неосновних носіїв);

Повний струм через р - n -переход рівний

$$I = I_0 (e^{\frac{qU}{kT}} - 1) - I_{\phi} \quad (3.7)$$

Ця формула описує вольт-амперну характеристику освітленого р - n -перехода.

Напруга зміщення

$$U = \frac{kT}{q} \ln\left(\frac{I_{\phi} + I}{I_0} + 1\right) \quad (3.8)$$

звідки напруга холостого ходу

$$U_{xx} = \frac{kT}{q} \ln\left(\frac{I_\phi}{I_0} + 1\right) \quad (3.9)$$

Розглянемо підключення до р - п -переходу варійованого опору навантаження. Напрямок струму в навантаженні завжди співпадає з напрямом I_ϕ , а сам струм навантаження I_n дорівнює результуючому струму через р - п -переход (3.7). Приймаючи напрямок струму I_ϕ за позитивне, для I_n можна записати

$$I_n = I_\phi - I_0 \left(e^{\frac{qU_n}{kT}} - 1 \right) \quad (3.10)$$

тут U_n - напруга на навантаженні, рівна напрузі на р, - п -переході.

Вираження (3.10) описує вольт-амперну характеристику навантаження освітленого р - п -перехода. Вольт-амперна характеристика навантаження арсенід-галієвого р - п -перехода для значення фотоструму $I_\phi = 1$ А зображена на рис. 3.3, а.

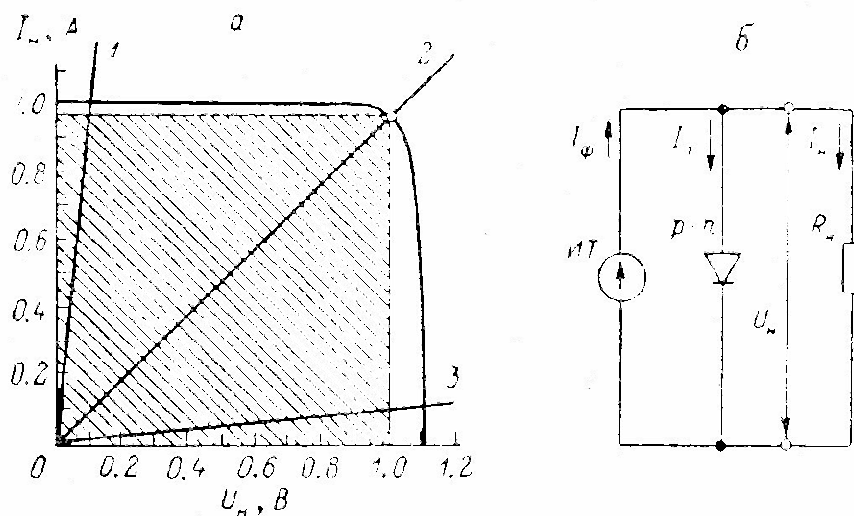


Рис. 3.3. Навантаження ВАХ р - п -перехода в GaAs і характеристики R_n при значеннях 0,1 (1), 1,026 (2) і 10 Ом(а) і еквівалентна схема освітленого р - п -перехода з опором навантаження (б).

Електрична потужність, що виділяється в навантаженні, визначається по формулі (нехтуємо одиницею у формулі (3.10))

$$P = I_n U_n = U_n \left(I_\phi - I_0 e^{\frac{qU_n}{kT}} \right) \quad (3.11)$$

У режимах короткого замикання і холостого ходу $P = 0$, оскільки або

U_n , або I_n дорівнюють нулю.

Конструкції і матеріали сонячних елементів

Виробництво структур на основі монокристалічного кремнію - процес технологічно складний і дорогий. Тому увага була звернена на такі матеріали, як сплави на основі аморфного кремнію (а - Si: H), арсенід галію і полікристалічні напівпровідники.

Аморфний кремній виступив дешевшою альтернативою монокристалічному. Перші СЕ на його основі були створені в 1975 році. Оптичне поглинання аморфного кремнію в 20 разів вище, ніж кристалічного. Тому для істотного поглинання видимого світла досить плівки а- Si :H товщиною 0,5-1,0 мкм замість дорогих кремнієвих 300-мкм підкладок. Крім того, завдяки існуючим технологіям отримання тонких плівок аморфного кремнію великої площі не вимагається операції різання, шліфовки і поліровки, необхідних для СЕ на основі монокристалічного кремнію. В порівнянні з полікристалічними кремнієвими елементами виробу на основі а - Si:H виробляють при нижчих температурах (300°C) : можна використовувати дешеві скляні підкладки, що скоротить витрату кремнію в 20 разів.

Поки максимальний ККД експериментальних елементів на основі а-Si:H - 12% - дещо нижче ККД кристалічних кремнієвих СЕ (~15%). Проте не виключено, що з розвитком технології ККД елементів на основі а- Si:H досягне теоретичної стелі - 16 %.

Арсенід галію - один з найбільш перспективних матеріалів для створення високоефективних сонячних батарей. Це пояснюється наступними його особливостями:

- майже ідеальна для одноперехідних сонячних елементів ширина за-прещеної зони 1,43 eВ;
- підвищена здатність до поглинання сонячного випромінювання : вимагається шар завтовшки всього в декілька мікрон;
- висока радіаційна стійкість, що спільно з високою ефективністю робить цей матеріал надзвичайно привабливим для использо-вання в космічних апаратах;
- відносна нечутливість до нагріву батарей на основі GaAs;
- характеристики сплавів GaAs з алюмінієм, миш'яком, фосфором або індієм доповнюють характеристики GaAs, що розширює можливості при проектуванні сонячних елементів.

Головне достоїнство арсеніду галію і сплавів на його основі - широкий діапазон можливостей для дизайну СЕ. Фотоелемент на основі GaAs може складатися з декількох шарів різного складу. Це дозволяє розробникові з великою точністю управляти генерацією носіїв заряду, що в кремнієвих сонячних елементах обмежено допустимим рівнем легування. Типовий сонячний елемент на основі GaAs складається з дуже тонкого шару AlGaAs як вікно.

Основний недолік арсеніду галію - висока вартість. Для здешевлення виробництва пропонується формувати СЕ на дешевших підкладках; вирощувати шари GaAs на підкладках, що видаляються, або підкладках багатократного використання.

Полікристалічні тонкі плівки також дуже перспективні для сонячної енергетики. Надзвичайно висока здатність до поглинання сонячного випромінювання у диселенида міді і індію (CuInSe_2) - 99 % світла поглинається в першому мікроні цього матеріалу (ширина забороненої зони - 1,0 eV)[2,5]. Найбільш поширеним матеріалом для виготовлення вікна сонячної батареї на основі CuInSe_2 являється CdS. Іноді для поліпшення прозорості вікна в сульфід кадмію додають цинк. Трохи галію в шарі CuInSe_2 збільшує ширину забороненої зони, що призводить до зростання напруги холостого ходу і, отже, підвищенню ефективності пристрою. Один з основних способів отримання CuInSe_2 - електрохімічне осадження з розчинів CuSO_4 , In_2O_3 і SeO_2 в деіонізованій воді при співвідношенні компонентів Cu : In : Se як 1:5:3 і $\text{pH} \gg 1,2-2,0$.

Теллурид кадмію (CdTe) - ще один перспективний матеріал для фотовольтаїки. У нього майже ідеальна ширина забороненої зони (1,44 eV) і дуже висока здатність до поглинання випромінювання. Плівки CdTe досить дешеві у виготовленні. Крім того, технологічно нескладно отримувати різноманітні сплави CdTe з Zn, Hg і іншими елементами для створення шарів із заданими властивостями.

Подібно до CuInSe_2 , найкращі елементи на основі CdTe включають гетероперехід з CdS як віконний шар. Оксид олова використовується як прозорий контакт і прояснює покриття. Серйозна проблема на шляху застосування CdTe - високий опір шару p - CdTe, що призводить до великих внутрішніх втрат. Але вона вирішена в p - i - n -структурі з гетероперехідом CdTe/ZnTe. Плівки CdTe мають високу рухливість носіїв заряду, а сонячні елементи на їх основі - високими значеннями ККД, від 10 до 16%.

Серед сонячних елементів особливе місце займають батареї, що використовують органічні матеріали. Коефіцієнт корисної дії сонячних елементів на основі діоксиду титану, покритого органічним барвником, дуже високий - ~11 %. Основа сонячних елементів цього типу - широкозонний напівпровідник, зазвичай TiO_2 , покритий моношаром органічного барвника. Принцип роботи елемента заснований на фотозбудженні барвника і швидкої інжекції електрона в зону провідності TiO_2 . При цьому молекула барвника окислюється, через елемент йде електричний струм і на платиновому електроді відбувається відновлення триїодиду до іодиду. Потім іодид проходить через електроліт до фотоелектроду, де відновлює окислений барвник.

Системи сонячного теплопостачання

Класифікація і основні елементи геліосистем

Системами сонячного теплопостачання називаються системи, що використовують як джерело теплової енергії сонячну радіацію. Їх

характерною відмінністю від інших систем низькотемпературного опалювання є застосування спеціального елемента - гелиоприемника, призначеного для уловлювання сонячної радіації і перетворення її в теплову енергію.

За способом використання сонячної радіації системи сонячного низькотемпературного опалювання підрозділяють на пасивні і активні.

Пасивними називаються системи сонячного опалювання, в яких як елемент, що сприймає сонячну радіацію і що перетворює її в теплоту, служать само будівля або його окремі обгороджування (будівля-колектор, стіна-колектор, покрівля-колектор і тому подібне (рис. 3.4)).

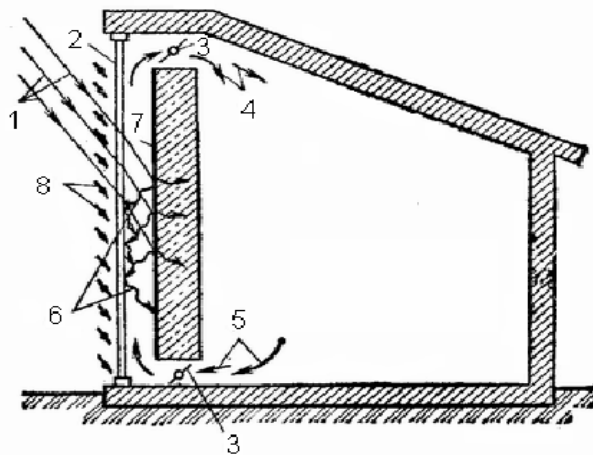


Рис. 3.4. Пасивна низькотемпературна система сонячного опалювання "стіна-колектор": 1 - сонячні промені; 2 - лучепрозорний екран; 3 - повітряна заслінка; 4 - нагріте повітря; 5 - охолоджене повітря з приміщення; 6 - власне довгохвильове теплове випромінювання масиву стіни; 7 - чорна лучевосприймаюча поверхня стіни; 8 - жалюзі.

Активними називаються системи сонячного низькотемпературного опалювання, в яких гелиоприемник є самостійним окремим пристроєм, що не відноситься до будівлі. Активні гелиосистеми можуть бути підрозділені:

- за призначенням (системи гарячого водопостачання, опалювання, комбіновані системи для цілей теплохолодоснабження);
- по виду використовуваного теплоносія (рідинні - вода, антифриз і повітря);
- за тривалістю роботи (цілорічні, сезонні);
- по технічному рішенню схем (одно-, двух-, багатоконтурні).

Повітря є широко поширеним незамерзаючим в усьому діапазоні робочих параметрів теплоносієм. При застосуванні його як теплоносія можливе поєднання систем опалювання з системою вентиляції. Проте повітря - малотепломісткий теплоносій, що веде до збільшення витрати

металу на пристрій систем повітряного опалювання в порівнянні з водяними системами.

Вода є тепломістким і широкодоступним теплоносієм. Проте при температурах нижче 0°С в неї необхідно додавати незамерзаючі рідини. Крім того, треба враховувати, що вода, насичена киснем, викликає корозію трубопроводів і апаратів. Але витрата металу у водяних геліосистемах значно нижча, що великою мірою сприяє ширшому їх застосуванню.

Сезонні геліосистеми гарячого водопостачання зазвичай одноконтурні і функціонують в літні і перехідні місяці, в періоди з позитивною температурою зовнішнього повітря. Вони можуть мати додаткове джерело теплоти або обходитися без нього залежно від призначення обслуговуваного об'єкту і умов експлуатації.

Геліосистеми опалювання будівель зазвичай двоконтурні або найчастіше багатоконтурні, причому для різних контурів можуть бути застосовані різні теплоносії (наприклад, в геліоконтурі - водні розчини незамерзаючих рідин, в проміжних контурах - вода, а в контурі споживача - повітря).

Комбіновані геліосистеми цілорічної дії для цілей теплохолодоснабження будівель багатоконтурні і включають додаткове джерело теплоти у вигляді традиційного теплогенератора, що працює на органічному паливі, або трансформатора теплоти.

Принципова схема системи сонячного теплопостачання приведена на рис. 3.5. Вона включає три контури циркуляції :

- перший контур, що складається з сонячних колекторів 1, циркуляційного насоса 8 і рідинного теплообмінника 3;
- другий контур, що складається з бака-акумулятора 2, циркуляційного насоса 8 і теплообмінника 3;
- третій контур, що складається з бака-акумулятора 2, циркуляційного насоса 8, водоповітряного теплообмінника (калорифера) 5.

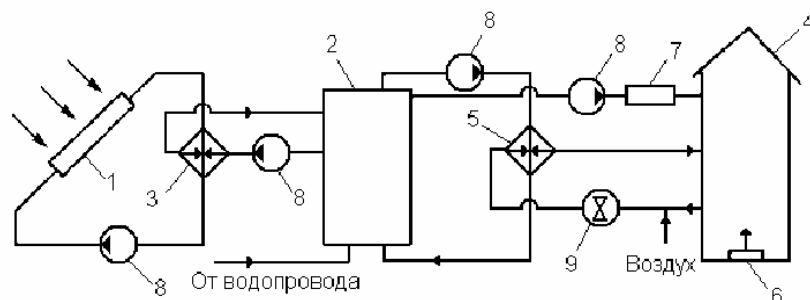


Рис. 3.5. Принципова схема системи сонячного теплопостачання : 1 - сонячний колектор; 2 - бак-акумулятор; 3 - теплообмінник; 4 - будівля; 5 - калорифер; 6 - дублер системи опалювання; 7 - дублер системи гарячого водопостачання; 8 - циркуляційний насос; 9 - вентилятор.

Функціонує система сонячного теплопостачання таким чином. Теплоносій (антифриз) теплоприємного контура, нагріваючись в сонячних

колекторах 1, поступає в теплообмінник 3, де теплота антифризу передається воді, циркулюючій в міжтрубному просторі теплообмінника 3 під дією насоса 8 другого контура. Нагріта вода поступає в бак-акумулятор 2. З бака-акумулятора вода забирається насосом гарячого водопостачання 8, доводиться при необхідності до необхідної температури в дублерові 7 і поступає в систему гарячого водопостачання будівлі. Підживлення бака-акумулятора здійснюється з водопроводу.

Для опалювання вода з бака-акумулятора 2 подається насосом третього контура 8 в калорифер 5, через який за допомогою вентилятора 9 пропускається повітря і, нагрівшись, поступає в будівлю 4. У разі відсутності сонячної радіації або нестачі теплової енергії, що виробляється сонячними колекторами, в роботу включається дублер 6.

Вибір і компонування елементів системи сонячного тепlopостачання у кожному конкретному випадку визначаються кліматичними чинниками, призначенням об'єкту, режимом теплоспоживання, економічними показниками.

Концентруючі геліоприймачі

Концентруючі геліоприймачі є сферичними або параболічними дзеркалами (рис. 3.6), виконаними з полірованого металу, у фокус яких поміщають тепловосприймаючий елемент (сонячний котел), через який циркулює теплоносій. Як теплоносій використовують воду або незамерзаючі рідини. При використанні як теплоносій води вночі і в холодний період систему обов'язково спорожняють для запобігання її замерзання.

Для забезпечення високої ефективності процесу уловлювання і перетворення сонячної радіації концентруючий геліоприймач має бути постійно спрямований строго на Сонці. З цією метою геліоприймач забезпечують системою стеження, що включає датчик напряму на Сонце, електронний блок перетворення сигналів, електродвигун з редуктором для повороту конструкції геліоприймача в двох площинах.

Перевагою систем з концентруючими геліоприймачами є здатність вироблення теплоти з відносно високою температурою (до 100 °С) і навіть пара. До недоліків слід віднести високу вартість конструкції; необхідність постійного очищення відзеркалювальних поверхонь від пилу; роботу тільки у світлий час доби, а отже, потреба в акумуляторах великого об'єму; великі енерговитрати на привід системи стеження за ходом Сонця, сумірні з енергією, що виробляється. Ці недоліки стримують широке застосування активних низькотемпературних систем сонячного опалювання з концентруючими геліоприймачами. Останнім часом найчастіше для сонячних низькотемпературних систем опалювання застосовують плоскі геліоприймачі.

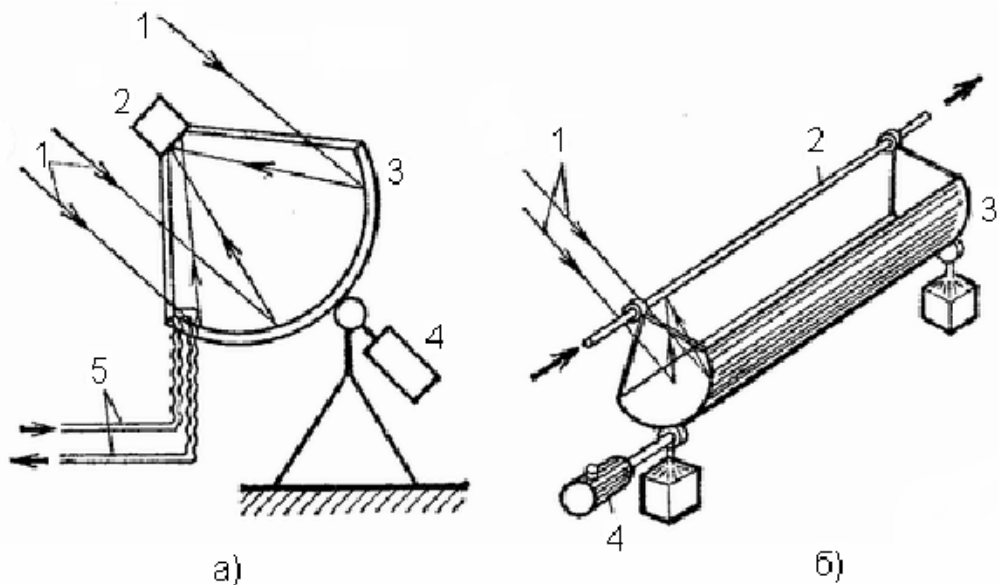


Рис. 3.6 Концентруючі геліоприймачі: а - параболічний концентратор; би - параболоциліндрический концентратор; 1 - сонячні промені; 2 - тепловосприймаючий елемент (сонячний колектор); 3 - дзеркало; 4 - механізм приводу системи стеження; 5 - трубопроводи, що підводять і відводять теплоносій.

Плоскі сонячні колектори

Плоский сонячний колектор - пристрій з поглинаючою панеллю плоскої конфігурації і плоскою прозорою ізоляцією для поглинання енергії сонячного випромінювання і перетворення її в теплову.

Плоскі сонячні колектори (рис. 3.7) складаються із скляного або пластикового покриття (одинарного, подвійного, потрійного), тепловосприймаючої панелі, забарвленої з боку, зверненої до сонця, в чорний колір, ізоляції на зворотному боці і корпуси (металевого, пластикового, скляного, дерев'яного).

Як тепловосприймаючої панель можна використовувати будь-який металевий або пластмасовий лист з каналами для теплоносія. Виготовляються тепловосприймаючі панелі з алюмінію або сталі двох типів : лист-труба і штамповані панелі (труба в листі). Пластмасові панелі із-за недовговічності і швидкого старіння під дією сонячних променів, а також із-за малої теплопровідності не знаходять широкого застосування.

Під дією сонячної радіації тепловосприймаючі панелі розігріваються до температур 70-80 °С, що перевищують температуру довкілля, що веде до зростання конвективної тепловіддачі панелі в довкілля і її власного випромінювання на небозвід. Для досягнення вищих температур теплоносія поверхню пластини покривають спектрально-селективними шарами, що активно поглинають короткохвильове випромінювання сонця і що знижують її власне теплове випромінювання в довгохвильовій частині спектру. Такі конструкції на основі "чорного нікелю", "чорного хрому",

окисли міді на алюмінії, окислі міді на мідь і інші дорогостоящи (їх вартість часто соизмерима з вартістю самої тепловоспринимающей панелі). Іншим способом поліпшення характеристик плоских колекторів являється створення вакууму між тепловоспринимающей панеллю і прозорою ізоляцією для зменшення теплових втрат (сонячні колектори четвертого покоління).

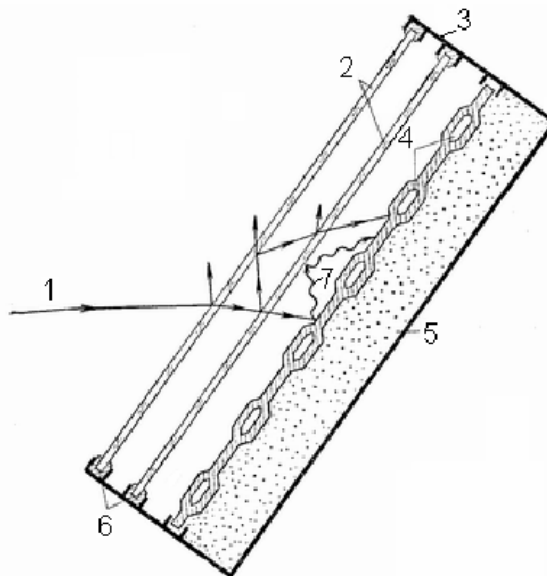


Рис. 3.7. Плоский сонячний колектор: 1 - сонячні промені; 2 - скління; 3 - корпус; 4 - тепловоспринимающая поверхня; 5 - теплоізоляція; 6 - ущільнювач; 7 - власне довгохвильове випромінювання тепловоспринимающей пластины.

Досвід експлуатації сонячних установок на основі сонячних колекторів виявили ряд істотних недоліків подібних систем. Передусім це висока вартість колекторів. Збільшення ефективності їх роботи за рахунок селективних покриттів, підвищення прозорості скління, вакуумування, а також пристрої системи охолодження виявляються економічно нерентабельними. Істотним недоліком є необхідність частого очищення стекол від пилу, що практично виключає застосування колектора в промислових районах. При тривалій експлуатації сонячних колекторів, особливо в зимових умовах, спостерігається частий вихід їх з ладу із-за нерівномірності розширення освітлених і затемнених ділянок скла за рахунок порушення цілісності скління. Відзначається також великий відсоток виходу з ладу колекторів при транспортуванні і монтажі. Значним недоліком роботи систем з колекторами є також нерівномірність завантаження впродовж року і доби. Досвід експлуатації колекторів в умовах Європи і європейської частини Росії при високій долі дифузної радіації (до 50%) показав неможливість створення цілорічної автономної системи гарячого водопостачання і опалювання. Усе геліосистеми з сонячними колекторами в середніх широтах вимагають пристрою великих за об'ємом баків-акумуляторів і включення в систему додаткового джерела енергії, що знижує економічний ефект від їх

застосування. У зв'язку з цим найбільш доцільне їх використання в районах з високою середньою інтенсивністю сонячної радіації (не нижче 300 Вт/м²).

Теплова акумуляція енергії

Енергетичний баланс теплового акумулятора

Теплова акумуляція - це фізичні або хімічні процеси, за допомогою яких відбувається накопичення тепла в теплому акумуляторі енергії (ТАЕ).

Акумулятор складається з резервуару для зберігання (зазвичай теплоізолюваного), акумулюючого середовища (робочого тіла), пристроїв для зарядки і розрядки і допоміжного устаткування.

Акумулююча система характеризується способами, якими енергія для зарядки акумулятора відбирається від джерела, трансформується (при необхідності) в необхідний вид енергії і віддається споживачеві.

На рис. 3.8 показаний процес теплової акумуляції з використанням посудини-акумулятора. Баланс енергії для цього процесу в загальному вигляді можна записати

$$E_{\text{вх}} - E_{\text{вих}} = E_{\text{ак}} \quad (3.12)$$

де $E_{\text{вх}}$ - підведена енергія, $E_{\text{вих}}$ - відведена енергія, $E_{\text{ак}}$ - закумуляована енергія.

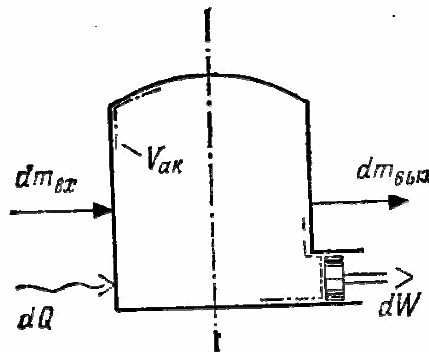


Рис. 3.8. Енергетичний баланс акумулятора.

Застосовуючи перший закон термодинаміки для підведеної і відведеної енергії до цієї відкритої системи, отримуємо основне рівняння акумуляції енергії для відкритих систем в диференціальній формі:

$$(u + pv + gH + \frac{c^2}{2})_{\text{вх}} dm_{\text{вх}} + dQ - (u + pv + gH + \frac{c^2}{2})_{\text{вих}} dm_{\text{вих}} - dW = d \left[(u + gH + \frac{c^2}{2})_{\text{ак}} m_{\text{ак}} \right] \quad (3.13)$$

де $m_{\text{ак}}$ - маса акумулюючого середовища; u - внутрішня енергія

(відлічувана від довільного нульового рівня); p - тиск; v - питомий об'єм; g - прискорення сили тяжіння; H - висота (відлічувана від довільного нульового рівня); gH - питома потенційна енергія; c - швидкість течії; c^2 - питома кінетична енергія; dQ - тепло, підведене до системи; dW - робота системи, не залежна від перенесення маси (наприклад, при русі стінок системи, електрична енергія, енергія валу двигуна).

Дослідження загального рівняння (3.13) показує, що акумуляція енергії може здійснюватися в результаті зміни: а) питомої внутрішньої енергії; б) питомої потенційної енергії; в) питомої кінетичної енергії; г) маси системи. До теплової акумуляції енергії зазвичай відносять випадок (а), а також випадок (б), якщо питома внутрішня енергія робочого тіла вища, ніж довкілля.

Якщо накопичення і кінетичній, і потенційній енергії виключено ($s_{ак} = 0$, $H = 0$) і якщо, крім того, члени рівняння (3.13), відповідні кінетичною і потенційною енергіям що підводиться і відводиться мас, нехтує малі, а робота обмежена рухом поверхонь, що обмежують систему, тобто якщо

$$dW = p_{ак} dV_{ак} \quad (3.14)$$

де $V_{ак}$ - об'єм акумулятора; $p_{ак}$ - тиск в акумуляторі, те рівняння (3.13) перетвориться до виду, справедливого для акумулятора тепла, :

$$((u + pv)_{вх} dm_{вх} + dQ - (u + pv)_{вих} dm_{вих} = d(um)_{ак} + p_{ак} dV_{ак}. \quad (3.15)$$

Використовуючи визначення ентальпії, маємо

$$h = u + pv \quad (3.16)$$

і, отже, енергетичний баланс (10) набирає вигляду

$$h_{вх} dm_{вх} + dQ - h_{вих} dm_{вих} = d(um)_{ак} + p_{ак} dV_{ак}. \quad (3.17)$$

Відповідно баланс маси запишеться як

$$dm_{вх} - dm_{вих} = dm_{ак} \quad (3.18)$$

Процеси зарядки і розрядки описуються в загальному вигляді рівняннями (12) або (14) і (15). У простих випадках можливе аналітичне рішення. У інших, складніших випадках можуть бути отримані чисельні рішення (особливо це відноситься до процесу розрядки).

Класифікація акумуляторів тепла

Відповідно до прийнятих вище визначень і виводів можна провести класифікацію акумуляторів тепла.

Що акумулює і теплообмінна середовища.

а) Пряма акумуляція: акумулює і теплообмінною є одне і те ж середовище. Акумулююче середовище може бути твердим, рідким, газоподібним або двофазним (рідина плюс газ).

б) Непряма акумуляція: енергія акумулюється тільки за допомогою теплообміну (наприклад, теплопровідністю через стінки резервуару) або в результаті масообміну спеціального теплообмінного середовища (у рідкому, двофазному або газоподібному стані). Власне акумулююче середовище може бути твердим, рідким або газоподібним (процес може протікати без фазового переходу, з фазовим переходом тверде тіло - тверде тіло, тверде тіло - рідина або рідина - пара).

в) Напівпряма акумуляція: процес протікає як у разі б), за винятком того, що акумулююча місткість теплообмінного середовища грає важливішу роль (наприклад, акумуляція гарячої нафти з твердою насадкою).

г) Сорбційна акумуляція: в цьому випадку використовується можливість деяких акумулюючих середовищ абсорбувати гази з виділенням тепла (і поглинанням тепла при десорбції газу). Передача енергії може відбуватися безпосередньо у формі тепла або за допомогою газу

Маса акумулюючого середовища.

а) Постійна маса ($dm_{ак} = 0$) : звичайно це випадок непрямой акумуляції. Проте може мати місце і пряму акумуляцію, якщо переміщувана частина маси після охолодження (при розрядці) або нагріву (при зарядці) повністю повертається в акумулятор (витіснювальна акумуляція).

б) Змінна маса ($dm_{ак} \neq 0$) : це завжди випадок прямої акумуляції.

Об'єм акумулятора.

а) Постійний об'єм ($dV_{ак} = 0$) : цей випадок відповідає акумуляції в закритих (чи з малою зміною об'єму) резервуарах.

б) Змінний об'єм ($dV_{ак} \neq 0$) : цей випадок відповідає акумуляції при атмосферному тиску або із спеціальним компресійним устаткуванням.

Тиск в акумуляторі.

а) Постійний тиск ($dp_{ак} = 0$).

б) Змінний (що ковзає) тиск ($dp_{ак} \neq 0$).

Системи акумуляції

Для виконання своїх функцій акумулююча система повинна мати

окрім акумулюючих посудин і їх внутрішніх устроїв також і зовнішнє устаткування. При тепловій акумуляції (як у теплових процесах промислових установок, так і в районних опалювальних системах) для зарядки і розрядки можуть знадобитися насоси, теплообмінники, випарники, клапани, трубопроводи.

Основні варіанти систем акумуляції для енергетичних установок показані на рис. 3.9. У основу класифікації покладено ділення на безнасосні і насосні системи акумуляції енергії.

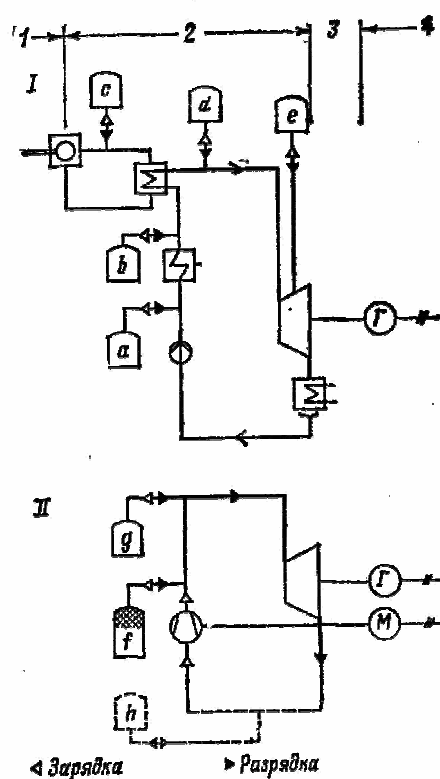


Рис. 3.9. Основні варіанти систем теплової акумуляції для енергоустановок: I - безнасосні системи акумуляції; II - насосна система акумуляції; 1 - первинна енергія; 2 - перетворення енергії; 3 - механічна енергія; 4 - електрична енергія.

Безнасосні системи акумуляції отримують енергію для зарядки з теплового циклу енергетичної установки. У верхній частині мал. 3.9 показані чотири безнасосні системи акумуляції :

а) система акумуляції енергії за допомогою стислих газів, зокрема, для газотурбінних циклів;

б) система акумуляції з регенеративним підігріванням поживної води парових циклів;

в) система акумуляції тепла первинного циклу для теплових енергетичних установок з роздільними теплообмінним і робочим циклами (аналогічно тому, як це робиться в сонячних теплоенергетичних установках);

d, e) системи акумуляції тепла в робочому циклі за допомогою акумуляції насиченої або перегрітої пари і високотемпературної акумуляції тепла в газових турбінах.

Подальша класифікація безнасосних систем акумуляції свя-зана з виділенням двох груп :

- включена в енергоустановку системи акумуляція з установкою базисного навантаження, яка здатна покрити таке навантаження без використання систем акумуляції, або з основною турбіною для базисного навантаження і окремою піковою турбіною, або з основною турбіною, здатною нести підвищене навантаження, яке покриває також і пікове навантаження);

- безнасосные системи акумуляції з окремим перетворювачем енергії (парогенератором) і окремим двигуном (турбіною для пікового навантаження).

Крім того, слід відрізнити акумуляцію з постійними параметрами, при якій акумулююче середовище відбирається з процесу і вводиться в нього з акумулятора в одній і тій же точці циклу (так звана "оборотна акумуляція"), від акумуляції із змінними параметрами, при якій введення середовища здійснюється в іншій точці (нижче по потоку), або зі значно нижчими параметрами.

Насосні системи акумуляції заряджаються з допомогою електричної або механічної енергії. У нижній частині мал. 3.9 показані насосні системи акумуляції :

- f) система пневматичної акумуляції з окремим аккумулятором теплоти стискування або без нього;

- g, h) системи акумуляції з використанням процесу теплового насоса (наприклад, з паровим компресором), з верхнім (g) і нижнім (h) акумуляторами; один з них, наприклад нижній, може бути замінений доквіллям.

Насосні системи акумуляції заряджаються зазвичай від електричної мережі і тому можуть бути підключені в будь-якому місці мережі. Таким чином, вони можуть і не входити до складу енергетичної установки. Були запропоновані насосні системи, що також входять до складу енергоустановки, акумуляція, що заряджається механічною енергією від газової або парової турбіни.

Верхній акумулятор зазвичай має параметри (тиск, температуру) вище за параметри доквілля, тоді як параметри нижнього приблизно такі ж, як і у доквілля, яке, таким чином, може служити нижнім акумулятором (системи акумуляції з тепловим джерелом). Насосні системи акумуляції можуть бути спроектовані і так, що доквілля використовується як верхній акумулятор, тоді як параметри нижнього акумулятора вибираються багато нижче, ніж у доквілля (системи акумуляції з низькотемпературним теплоприемником). В цьому випадку тепло для процесу відбирається з

довкілля, а нижній (низькотемпературний) акумулятор відбирає відпрацьоване тепло і нагрівається. Як відзначалося раніше, щільність ексергії таких систем, що запасається, з "негативною ексергією" може бути дуже висока (у межі нескінченна при 0 °К).

Розглянута вище класифікація важлива для оцінки ефективності системи акумуляції, потужності і швидкості зарядки і розрядки, для вибору режиму роботи, а також для контролю функціонування.

Теплова акумуляція для сонячного обігріву і охолодження приміщень

Типова схема активної системи з тепловою акумуляцією енергії для отримання гарячої води (рис. 3.10) включає первинний контур на антифризі, теплообмінник в нижній частині акумуляуючого бака і додатковий нагрівач у верхній його частині. Оскільки ефективність сонячного колектора знижується із збільшенням різниці температур первинного контура і довкілля, температуру первинного контура слід підтримувати на можливо нижчому рівні. Для цього слід забезпечити невеликий перепад температур в теплообміннику, перешкодити перемішуванню в баку і забезпечити підведення тепла тільки в найхолоднішу частину бака.

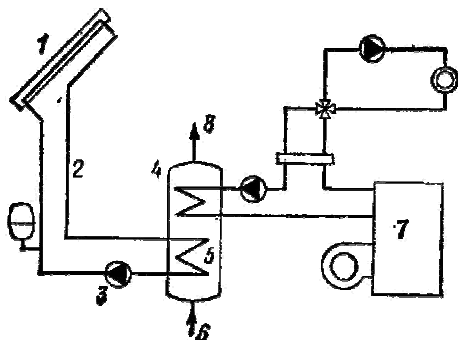


Рис. 3.10. Схема отримання гарячої води для побутових потреб з використанням сонячної енергії: 1 - сонячні колектори; 2 - первинний цикл (антифриз); 3 - циркуляційний насос; 4 - акумуляуючий бак; 5 - сонячний теплообмінник; 6 - подача холодної води; 7 - додатковий нагрівач; 8 - лінія подачі.

Вибір співвідношення між розмірами сонячного колектора і акумулятора для короткочасної (гаряча побутова вода) і довготривалої (обігрів) акумуляції - цікаве оптимізаційне завдання. Загальний оптимум виходить, коли оптимальні характеристики як колектора, так і акумулятора. Питомі місткості акумуляторів для короткочасної акумуляції зазвичай складають 50-100 кг води на 1 м² площі колектора, а для довготривалої акумуляції в кліматичних умовах Центральної Європи потрібні значення питомої місткості 1000 кг/м². Сонячний басейн, де колектор і акумулятор поєднані, є часткою злучаємо акумуляцію з використанням гарячого теплоносія (рис. 3.11). Сонячна радіація поглинається донною поверхнею басейну. У теплоносії створюється і підтримується градієнт концентрації солі (концентрація збільшується з глибиною) між верхнім конвективним шаром (під дією вітру) і нижнім конвективним шаром (в результаті відведення тепла). Завдяки цьому конвекція і пов'язаний з нею тепловідвід

до поверхні пригнічуються, і шар завтовшки ~ 1 м, в якому немає конвекції, служить тепловою ізоляцією.

У такий спосіб можна досягти температури води 100°C, а 90°C є звичайним розрахунковим значенням в зонах з жарким кліматом.

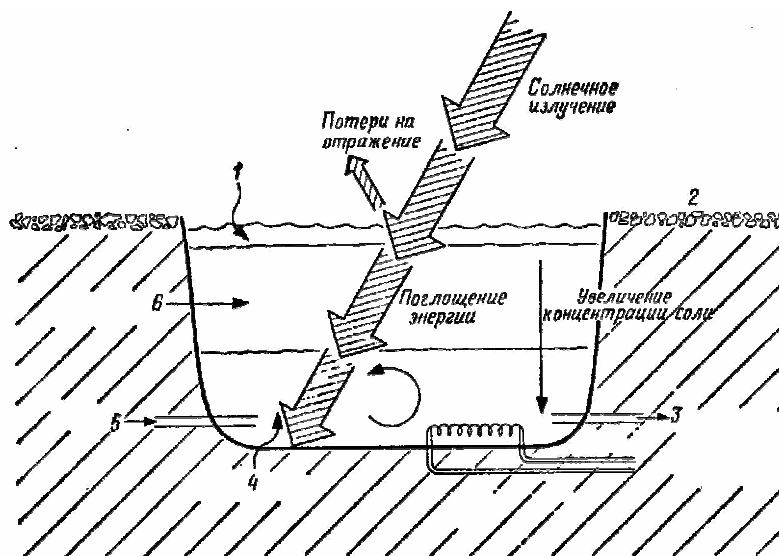


Рис. 3.11. Схема сонячного басейну з градієнтом концентрації солі : 1 - поверхневий шар води; 2 - поверхня землі; 3 - вихід гарячого соляного розчину до споживача тепла або до теплообмінника; 4 - конвективна (що акумулює) область; 5 - повернення холодної соляної розчину; б - неконвективний (що ізолює) шар.

Були запропоновані і розроблені системи акумуляції на основі використання теплоти фазового переходу для зарядки і розрядки повітрям (рис. 3.12) або водою (рис. 3.13). На рис. 3.14 показаний варіант теплообмінника з обрешченими кільцевими каналами з роздільними контурами зарядної і розрядної середовищ. Таким чином, теплообмінник дозволяє проводити одночасно зарядку і розрядку. Кожен теплообмінний елемент складається з внутрішньої і зовнішньої трубок, тепловий контакт між якими забезпечується подовжніми ребрами з матеріалу з хорошою теплопровідністю (наприклад, алюмінію). Кільцевий простір між ребрами заповнений матеріалом, що акумулює енергію фазового переходу (рівну теплоті плавлення). У цьому варіанті система теплової акумуляції працює як гібридний акумулятор, в якому використовуються теплота фазового переходу і теплота нагріву робочого тіла.

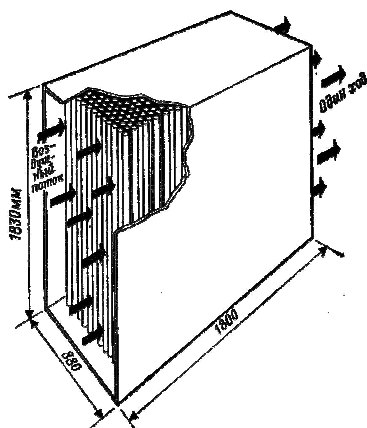


Рис. 3.12. Блок сонячних енергоакуюлюючих стержнів з 2400 кг

$\text{CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ($T_f = 27,2 \text{ }^\circ\text{C}$) в поліетиленових циліндрах для опалювання квартири.

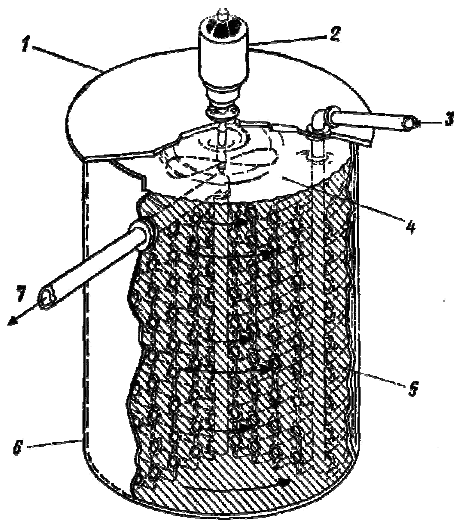


Рис. 3.13. Агрегат CALMAC для акумуляції теплоти фазового переходу на $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ або $\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$: 1 - знімна кришка; 2 - двигун для перемішування; 3 - вхід води; 4 - гідрат солі; 5 - пластиковий теплообмінник; 6 - бак; 7 - вихід води.

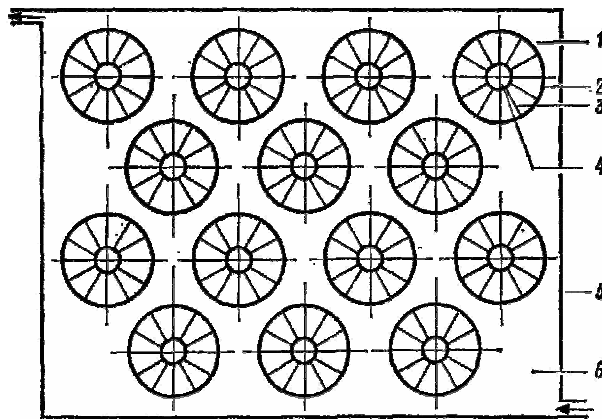


Рис. 3.14. Теплообмінник з обрєбленими кільцевими каналами для акумуляції енергії з використанням теплоти фазового переходу : 1 - елемент теплообмінного блоку ; 2 - термоаккумулююче речовина; 3 - подовжнє ребро; 4 - гарячий теплоносій; 5 - резервуар (кожух); 5 - холодний теплоносій для розрядки.

Колектори сонячного тепла розділяються на активні і пасивні; роль останніх часто виконують самі конструкційні деталі будівлі. Такі деталі повинні мати прозорі зовнішні поверхні (у вигляді вікон або прозорих покриттів) і високу ефективну теплоємність.

Правильно вибрані властивості системи ТАЕ сприяють вирівнюванню температури в приміщенні.

Якщо такі властивості сонячної системи ТАЕ, як товщина, теплопровідність і теплоємність колектора, вибрані правильно, то сонячні теплові потоки, що проходять через зовнішню поверхню, можуть бути затримані приблизно на 12 год, що внесе, таким чином, сприятливий вклад до теплового балансу приміщення на режимах як нагріву, так і охолодження.

Тема 4. Вітрова енергетика

Енергія вітру і можливості її використання.

Походження вітру.

Класифікація вітродвигунів за принципом роботи.

Робота поверхні при дії на неї сили вітру.

Робота вітрового колеса крильчатого вітродвигуна.

Теорія ідеального вітряка.

Поняття ідеального вітряка.

Класична теорія ідеального вітряка.

Теорія реального вітряка.

Робота елементарних лопатей вітроколеса.

Перше рівняння зв'язку.

Друге рівняння зв'язку.

Момент і потужність усього вітряка.

Втрати вітряних двигунів.

Енергія вітру і можливості її використання

Походження вітру

Основною причиною виникнення вітру є нерівномірне нагрівання сонцем земної поверхні.

Земна поверхня неоднорідна: суша, океани, гори, ліси обумовлюють різне нагрівання поверхні під однією і тією ж широтою. Обертання Землі також викликає відхилення повітряних течій. Усі ці причини ускладнюють загальну циркуляцію атмосфери. Виникає ряд окремих циркуляцій, в тій або іншій мірі пов'язаних один з одним.

На екваторі у земної поверхні лежить зона затишшя із слабкими змінними вітрами. На північ і на південь від зони затишшя розташовані зони пасатів, які внаслідок обертання Землі із заходу на схід мають відхилення до заходу. Таким чином, в північній півкулі постійні вітри приходять з північного сходу, в південному з південного сходу, як показано на схемі рис. 4.1. Пасати тягнуться приблизно до 30° північною і південною широт і відрізняються рівномірністю повітряних течій по напрямку і швидкості. Середня швидкість південно-східних пасатів північної півкулі у поверхні землі досягає 6-8 м/сек. Ці вітри поблизу великих континентів порушуються сильними річними коливаннями температури і тиску над материками. Висота шару пасатів тягнеться від 1 до 4 км. Вище над пасатами знаходиться шар змінних вітрів, а над цим шаром знаходиться зона антипасатів, що дмуть в напрямі, протилежному до напрямку пасатів. Висота шару антипасатів міняється від 4 до 8 км залежно від пори року і від місця.

У субтропічних широтах в поясах високого тиску зони пасатів змінюються штильовими областями. На північ і південь від цих областей приблизно до 70° на усіх висотах дмуть вітри між західним і південно-західним румбами в північній півкулі і між західним і північно-західним - в

південній півкулі. У цих широтах, крім того, в атмосфері безперервно виникають і затухають вихрові рухи, що ускладнюють просту схему загальної циркуляції атмосфери, показано на рис. 4.1.

Місцеві вітри. Особливі місцеві умови рельєфу земної поверхні (моря, гори і тому подібне) викликають місцеві вітри.

Бризи. Внаслідок зміни температур вдень і вночі виникають берегові морські вітри, які називаються бризами.

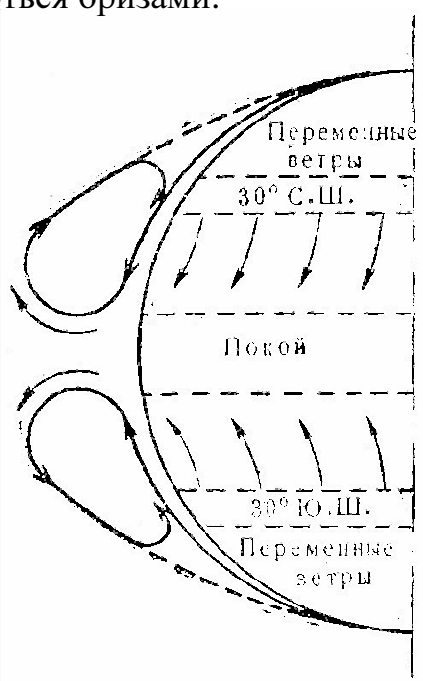


Рис. 4.1. Схема загальної циркуляції земної атмосфери.

Вдень при сонячній погоді суша нагрівається сильніше, ніж поверхня моря, тому нагріте повітря стає менш щільним і піднімається вгору. Разом з цим холодніше морське повітря спрямовується на сушу, утворюючи морський береговий вітер. Повітря, що піднімається над сушею, тече у верхньому шарі у бік моря і на деякій відстані від берега опускається вниз.

Таким чином виникає циркуляція повітря з напрямом вниз - на берег моря, вгору - від суші до моря. Вночі над сушею повітря охолоджується сильніше, ніж над морем, тому напрям циркуляції змінюється: вниз повітря тече на морі, а вгору з моря на сушу. Зона поширення бризу близько 40 км у бік моря і 40 км у бік суші. Висота поширення бризов в наших широтах досягає від 200 до 300 м. У тропічних країнах бризи спостерігаються майже протягом усього року, а в помірному поясі тільки влітку, при жаркій погоді. У нас бризи можна спостерігати влітку біля берегів Чорного моря.

Мусони. Річні зміни температури в берегових районах великих морів і океанів також викликають циркуляцію, аналогічну бризам, але з річним періодом. Ця циркуляція, більшого розміру, ніж бризи, називається мусонами. Виникають мусони з наступних причин. Влітку континент нагрівається сильніше, ніж навколишні його моря і океани; завдяки цьому над континентом утворюється знижений тиск, в повітря внизу спрямовується

до континенту від океанів, а вгорі навпаки, тече від континентів до навколишніх океанів. Ці вітри носять назву морських мусонів. Взимку континенти значно холодніші, ніж поверхня моря; над ними утворюється зона підвищеного тиску; внаслідок цього нижні шари повітря прямують від континенту до океанів, а у верхніх шарах - навпаки, від океанів до континентів. Ці вітри називаються материковими мусонами.

Сильні мусони можна спостерігати на південному узбережжі Азії - в Індійському океані і Аравійському морі, де влітку вони мають південно-західний напрям, а взимку - північно-східне. У східних берегів Азії також спостерігаються мусони. Зимом дмуть суворі північнозахідні материкові вітри; влітку південно-східні і південні морські вологі вітри. Ці вітри значно впливають на клімат Далекосхідного краю.

Класифікація вітродвигунів за принципом роботи

Існуючі системи вітродвигунів за схемою пристрою вітроколеса і його положенням в потоці вітру розділяються на три класи.

Перший клас включає вітродвигуни, у яких вітрове колесо розташовується у вертикальній площині; при цьому площина обертання перпендикулярна напрямку вітру, і, отже, вісь ветроколеса паралельна потоку. Такі вітродвигуни називаються крильчатими.

Швидкохідністю називається відношення окружної швидкості кінця лопаті до швидкості вітру :

$$Z = \frac{wR}{V} \quad (4.1)$$

Крильчаті вітродвигуни, згідно ГОСТ 2656-44, залежно від типу ветроколеса і швидкохідності, розділяються на три групи (мал. 4.2.).

- вітродвигуни багатолопатевої, тихохідні, з швидкохідністю $Z_n \leq 2$.
- вітродвигуни малолопатевої, тихохідні, у тому числі вітряні млини, з швидкохідністю $Z_n > 2$.
- вітродвигуни малолопатевої, швидкохідні, $Z_n \geq 3$.

До другого класу відносяться системи вітродвигунів з вертикальною віссю обертання вітрового колеса. За конструктивною схемою вони розбиваються на групи:

- карусельні, у яких неробочі лопаті або прикриваються ширмою, або розташовуються ребром проти вітру;
- роторні вітродвигуни системи Савониуса.

До третього класу відносяться вітродвигуни, що працюють за принципом водяного млинового колеса і звані барабанними. У цих вітродвигунів вісь обертання горизонтальна і перпендикулярна напрямку вітру.

Основні недоліки карусельних і барабанних вітродвигунів витікають з самого принципу розташування робочих поверхонь ветроколеса в потоці вітру, а саме:

1. Оскільки робочі лопаті колеса переміщуються у напрямі повітряного потоку, вітрове навантаження діє не одночасно на усі лопаті, а по черзі. В результаті кожна лопать випробовує переривчасте навантаження, коефіцієнт використання енергії вітру виходить дуже низьким і не перевищує 10%, що встановлено експериментальними дослідженнями.

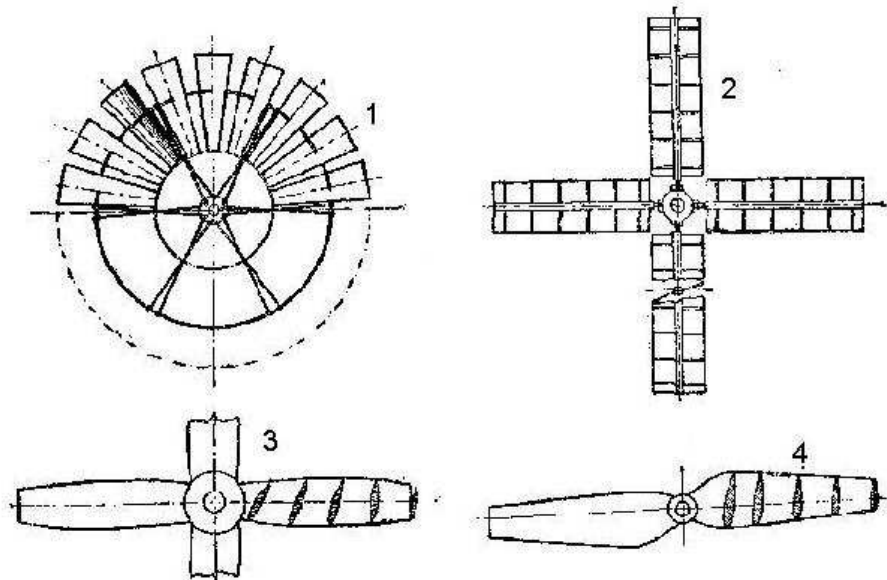


Рис. 4.2. Схеми ветроколес крильчатих вітродвигунів : 1 - многолопастных; 2-4 - малолопастевих

2. Рух поверхонь вітроколеса у напрямі вітру не дозволяє розвинути великі оберти, оскільки поверхні не можуть рухатися швидше за вітер.

3. Розміри використовуваної частини повітряного потоку (ометаемая поверхня) малі в порівнянні з розмірами самого колеса, що значно збільшує його вагу, віднесено до одиниці встановленої потужності вітродвигуна.

У роторних вітродвигунів системи Савоніуса найбільший коефіцієнт використання енергії вітру 18%.

Крильчаті вітродвигуни вільні від перерахованих вище недоліків карусельних і барабаних вітродвигунів. Хороші аеродинамічні якості крильчатих вітродвигунів, конструктивна можливість виготовляти їх на велику потужність, відносно легка вага на одиницю потужності - основні переваги вітродвигунів цього класу.

Комерційне застосування крильчатих вітродвигунів почалося з 1980 року. За останні 14 років потужність вітродвигунів збільшилася в 100 разів: від 20-60 кВт при діаметрі ротора близько 20 м на початку 1980 років до 5000 кВт при діаметрі ротора понад 100 м до 2003 року (рис. 4.3). Деякі прототипи вітродвигунів мають ще більшу потужність і діаметр ротора. За той же період вартість генерованої вітряками енергії знизилася на 80 %. Залежність вартості електроенергії від потужності вітродвигунів при їх розташуванні на

узбережжі і далеко від моря представлена на рис. 4.4 (у цінах 2001 р.).

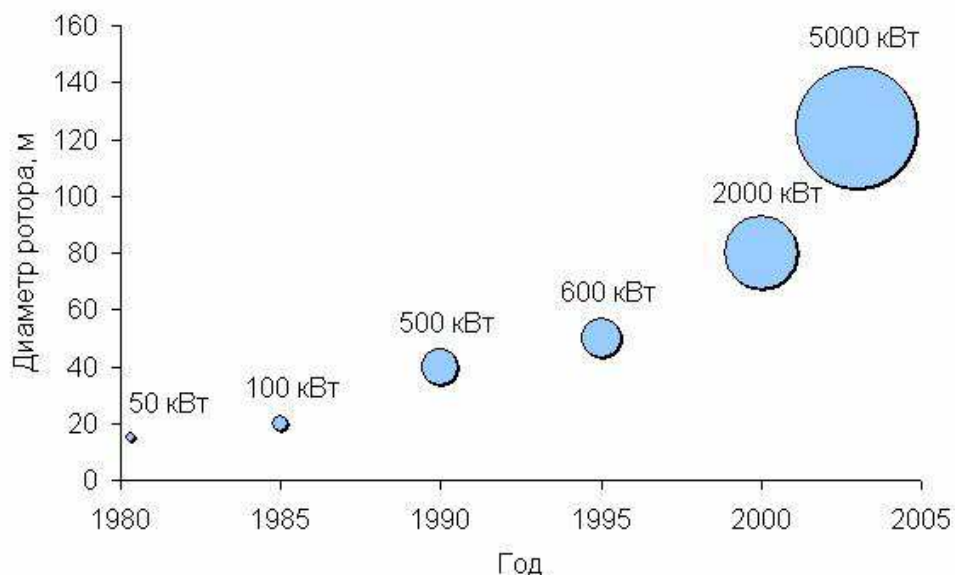


Рис. 4.3. Зростання потужності і діаметру ротора комерційних ветродвигателів

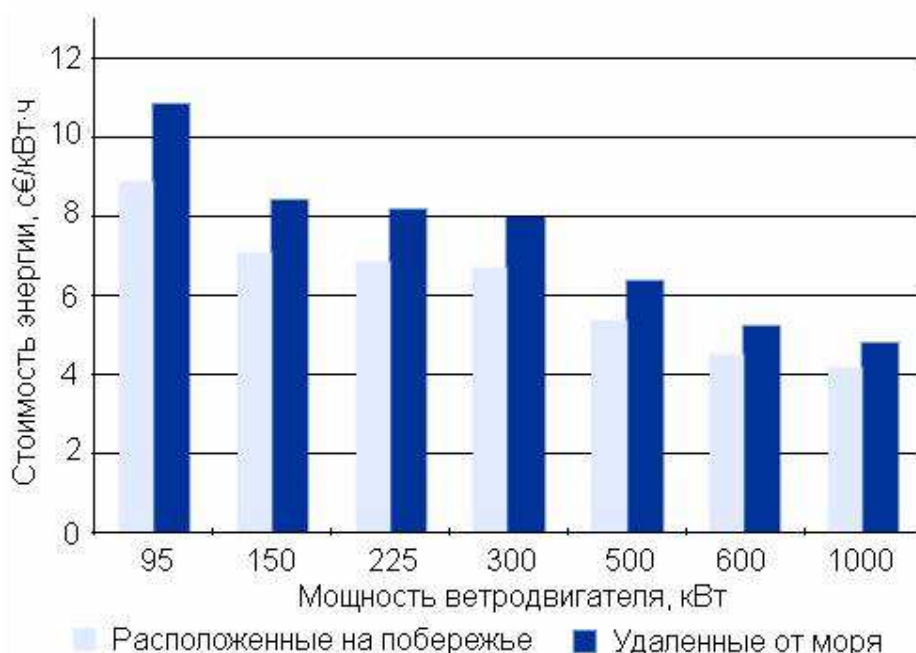


Рис. 4.4. Залежність вартості електроенергії від потужності ветродвигателів при їх розташуванні на узбережжі і далеко від моря

Робота поверхні при дії на неї сили вітру

Швидкістю вітру називають відстань в метрах, прохідну масою повітря протягом однієї секунди. Швидкість вітру постійно міняється за величиною і напрямом. Причиною цих змін є нерівномірне нагрівання земної

поверхні і нерівності рельєфу місцевості.

Швидкість вітру є найважливішою характеристикою технічних властивостей вітру. Потік вітру з поперечним перерізом F має кінетичну енергію, визначувану вираженням, :

$$\frac{mV^2}{2} \quad (4.2)$$

Маса повітря, що протікає через поперечний переріз F із швидкістю V , рівна:

$$m = cFV \quad (4.3)$$

Підставивши (4.3) у вираження кінетичної енергії (4.2), отримаємо:

$$\frac{mV^2}{2} = \frac{\rho FV^3}{2}$$

звідки витікає, що енергія вітру змінюється пропорційно кубу його швидкості.

Подивимося, скільки відсотків енергії вітру може перетворити на корисну роботу поверхня, що поставлена перпендикулярно до напрямку вітру і переміщається в цьому ж напрямі, що має місце, наприклад, у ветродвигателів карусельного типу.

Потужність T визначається твором сили P на швидкість V :

$$T = PV \quad (4.4)$$

Одну і ту ж роботу можна отримати або за рахунок великої сили, при малій швидкості переміщення робочої поверхні, або, навпаки, за рахунок малої сили, а отже, і малій поверхні, але при відповідно до збільшеної швидкості її переміщення.

Допустимо, ми маємо поверхню F , поставлену перпендикулярно до напрямку вітру. Повітряний потік внаслідок гальмування його поверхнею отримає підпір і обтікатиме її і чинити тиск силою P_x .

Внаслідок дії цієї сили поверхня переміщатиметься у напрямі потоку з деякою швидкістю U (мал. 4.5); робота при цьому дорівнюватиме твору сили на швидкість U , з якою переміщається поверхня F , тобто:

$$T = P_x U \quad (4.5)$$

де P_x - сила опору, яка рівна, :

$$P_x = C_x F \frac{\rho}{2} (V - U)^2 \quad (4.6)$$

де C_x - аеродинамічний коефіцієнт лобового опору;

F - поверхня миделевого перерізу теля, тобто проекції площі тіла на площину, перпендикулярну напрямку повітряного потоку.

В цьому випадку вітер набігає на поверхню з відносною швидкістю,

рівною, :

$$W = V - U \quad (4.7)$$

Підставивши значення P_x з рівняння (4.5) в рівняння (4.6), отримаємо

$$T = C_x F \frac{\rho}{2} (V - U)^2 U \quad (4.8)$$

Визначимо відношення роботи, рухомою поверхнею, що розвивається, і вираженою рівнянням (4.8), до енергії вітрового потоку, що має поперечний переріз, рівний цій поверхні, а саме:

$$\xi = \frac{C_x F \frac{\rho}{2} (V - U)^2 U}{F \frac{\rho V^3}{2}} = C_x (V - U)^2 \frac{U}{V^3} \quad (4.9)$$

Після перетворень отримаємо:

$$\xi = C_x \left(1 - \frac{U}{V}\right)^2 \frac{U}{V} \quad (4.10)$$

Величину ξ називають коефіцієнтом використання енергії вітру.

З рівняння (4.10) ми бачимо, що ξ залежить від швидкості переміщення поверхні у напрямі вітру. При деякому значенні швидкості U коефіцієнт ξ набуває максимального значення. Насправді, якщо швидкість переміщення поверхні дорівнює нулю $U = 0$, то робота вітру також дорівнює нулю. Якщо $U = V$, тобто поверхня переміщається із швидкістю вітру, робота також дорівнюватиме нулю, оскільки немає сили опору, за рахунок якої здійснюється робота. Звідси витікає, що значення швидкості U знаходиться в межах між $U = 0$ і $U = V$.

Встановлено, щоб отримати максимальне ξ , поверхня повинна переміщатися з швидкістю:

$$U = \frac{1}{3} V. \quad (4.11)$$

Максимальний коефіцієнт використання енергії вітру при роботі поверхні силою опору не може бути більше $\xi = 0,192$.

Робота вітрового колеса крильчатого ветродвигателя

Крыльчатые ветроколеса працюють за рахунок косоного удару при русі лопатей перпендикулярно до напрямку швидкості вітру в протилежність до прямого удару, розглянутого у попередньому випадку. Пристрій такого колеса показаний на рис. 4.6.

На горизонтальному валу закріплені крила, число яких у сучасних ветродвигателях буває від 2 і більше. Крило ветроколеса складається з маху а і лопаті б, закріплюваною на маху так, що вона утворює з площиною обертання деякий кут φ . Цей кут називають кутом заклинювання лопаті (рис. 4.7). При цьому на її елементи набігає повітряний потік з відносною швидкістю W під кутом α , який називають кутом атаки, і діє з силою R . Кути φ і α значною мірою визначають ефективність крил. Силу R розкладають на сили P_x і P_y (рис. 4.7, а). Сили P_x чинять тиск у напрямі вітру, який називається лобовим тиском. Сили P_y діють в площині у – у обертання ветроколеса і створюють момент, що крутить.

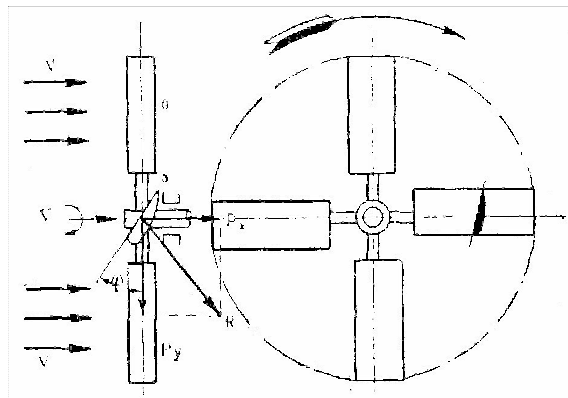


Рис. 4.6. Конструктивна схема крильчатого ветроколеса.

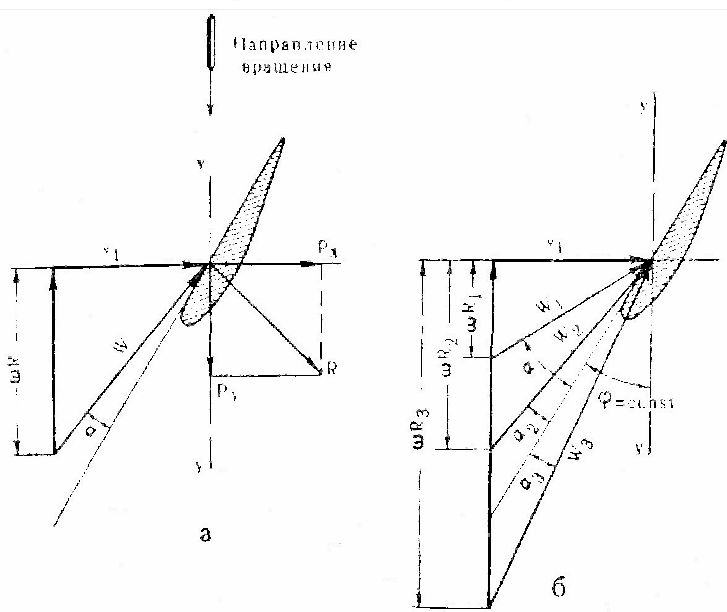


Рис. 4.7. а - схема дії сил повітряного потоку на елемент лопаті; б - графічне зображення відносного потоку, що набігає на елементи лопаті, розташовані на різних радіусах ветроколеса.

Максимальні сили, що приводять колесо в обертання, виходять при деякому значенні кута атаки α , тобто кута нахилу відносного потоку до поверхні лопаті. Зважаючи на те що окружна швидкістю довжині крила не однакова, а зростає у міру видалення його елементів від осі обертання

ветроколеса, відносна швидкість W набігання потоку на лопать також зростає. Разом з цим убуває кут атаки α , і при деякій окружній швидкості wR , де w кутова швидкість, цей кут стане негативним (рис. 4.7, б). Отже, не усі елементи крила матимуть максимальну підйомну силу.

Якщо ми зменшуватимемо кут φ кожного елемента лопаті у міру видалення його від осі обертання так, щоб найвигідний кут атаки α приблизно зберігався постійним, то ми отримаємо умову, при якій приблизно усі елементи лопаті працюватимуть зі своєю максимальною підйомною силою. Лопать із змінним кутом заклинювання з отримує форму гвинтової поверхні.

Правильні кути заклинювання лопаті при хорошій аеродинамічній якості профілю, а також ширині, відповідній заданій швидкохідності, забезпечують високий коефіцієнт використання енергії вітру. У добре виконаних моделях він досягає 46%.

Теорія ідеального вітряка

Поняття ідеального вітряка

Ідеальним вітряком називають ветроколесо, у якого, :

- 1 вісь обертання паралельна швидкості вітру;
- 2 нескінченне велике число лопатей дуже малої ширини;
- 3 профільний опір крил дорівнює нулю, і циркуляція уздовж лопаті постійна;
- 4 втрачена швидкість повітряного потоку на ветроколесі постійна по усій поверхні вітряка, що змітається;
- 5 кутова швидкість прагне до нескінченності.

Теорію ідеального вітряка уперше розробив в 1914 р.. В. П. Ветчинкин на основі теорії ідеального грібного гвинта. У цій роботі він встановив поняття коефіцієнта використання енергії вітру ідеальним вітряком.

У 1920 р. проф. Н.Е. Жуковский виклав теорію "Вітряного млина НЕЖ", де зробив висновок коефіцієнта використання енергії вітру ідеальним вітряком.

Аналогічні теорії були розроблені пізніше також в нашій країні проф. Г. Х. Сабининым і акад. Г. Ф. Проскура.

Теорія ідеального вітряка проф. Н. Е. Жуковского носить назву класичної теорії; вона встановлює, що максимальний коефіцієнт використання енергії вітру ідеальним вітряком дорівнює 0,593.

Якнайповніше, з точки зору практичного застосування, теорія ідеального вітряка викладена проф. Г. Х. Сабининым, згідно якої коефіцієнт використання енергії вітру ідеальним вітряком рівний 0,687. Відмінність цієї теорії від колишніх теорій полягає в тому, що при визначенні осьової сили тиску потоку на ветроколесо імпульс сил підраховується по вихровому соленоїду в тому місці, де він набув вже сталої циліндричної форми, а не у

момент його освіти, як приймалося колишніми теоріями. Оскільки соленоїд в циліндричній частині має площу перерізу більшу, ніж площа, ометаема ветроколесом, то осьова сила і коефіцієнт використання енергії вітру, по теорії Г. Х. Сабинина, виходять дещо великими.

Класична теорія ідеального вітряка

Представимо рівномірний потік вітру, що набігає на ідеальне ветроколесо із швидкістю V в перерізі AA' (рис. 4.8). У перерізі BB' на ветроколесі швидкість буде $V_1 = V - v_1$, а на деякій відстані позаду вітряка в перерізі CC' швидкість буде $V_2 = V - v_2$.

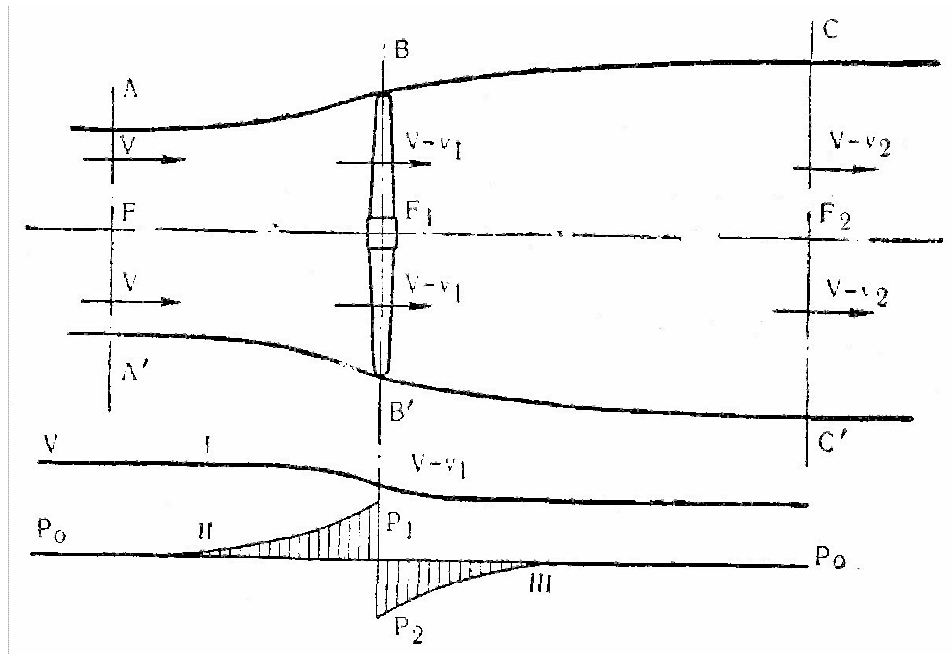


Рис. 4.8. Характеристика повітряного потоку, що протікає через ветроколесо.

При цьому ветроколесо, що обертається, створить підпір, внаслідок чого швидкість потоку, у міру наближення до вітряка і деякий час за вітряком, падає, як показано кривій I на рис. 4.8. Разом з цим тиск повітря p , у міру наближення до вітряка, підвищується (крива II), і при проходженні через ометаемую поверхню воно різко падає. За вітряком утворюється деяке розрідження $p_0 - p_2$, яке, у міру видалення від вітряка, асимптотически наближається до нуля, тобто відновлюється нормальний тиск (крива III). Втрату швидкості за ідеальним вітряком можна встановити за допомогою рівняння Бернуллі :

$$p_2 + \frac{\rho V_2^2}{2} = p_0 + \frac{\rho V^2}{2} \quad (1)$$

Оскільки $p_2 < p_0$, то $V > V_2$

Кінетична енергія вітру перед вітряком рівна $\frac{mV^2}{2}$, а за вітряком

$\frac{m(V - v_2)^2}{2}$. Різниця цих енергій витрачена на ветроколесе і, у разі відсутності втрат, може бути отримана як корисна робота:

$$T_1 = \frac{mV^2}{2} - \frac{m(V - v_2)^2}{2} \quad (2)$$

Перетворивши праву частину рівняння, отримаємо:

$$\frac{m}{2}[V^2 - (V - v_2)^2] = \frac{m}{2}(2Vv_2 - v_2^2) = mv_2(V - \frac{v_2}{2}) \quad (3)$$

Отже:

$$T_1 = mv_2 \left(V - \frac{v_2}{2} \right) \quad (4)$$

Енергію T_1 , сприйняту ветроколесом, можна виразити як твір з сили тиску вітру P на швидкість в площині вітряка $V - v_1$), тобто:

$$T_1 = P \quad (5)$$

Лобовий тиск P дорівнює приросту кількості руху струменя, що проходить через ометаємую поверхню, тобто:

$$P = mv^2 \quad (6)$$

Підставляючи значення P в рівняння (5), отримаємо

$$T_1 = mv^2 \quad (7)$$

Порівнюючи рівняння (4) і (7) знаходимо, що:

$$mv_2 \left(v - \frac{v_2}{2} \right) = mv_2 (V - v_1) \quad (8)$$

звідки

$$v_1 = \frac{v_2}{2} \quad (9)$$

чи

$$v_2 = 2v_1 \quad (10)$$

Рівність (10) показує, що втрата швидкості повітряного потоку відбувається не лише в перерізі ветроколеса, але також і на деякій відстані за вітряком, причому повна втрата швидкості в два рази більше втрати на ветроколесе.

Через ометаємую поверхню F ветроколеса протікає маса повітря m , кількість якої за 1 секунду буде рівна:

$$m = cFV \quad (11)$$

Підставляючи значення маси повітря у вираження кінетичної енергії вітру перед ветроколесом, отримаємо:

$$\frac{mV^2}{2} = \frac{\rho FV^3}{2} \quad (12)$$

Узявши відношення секундної роботи, сприйнятої ідеальним ветроколесом (5) до тієї енергії вітру, яка протікала б через переріз, рівний ометаємій поверхні вітряка (12), отримаємо ідеальний коефіцієнт використання енергії вітру ξ_i

$$\xi_i = \frac{P(V - v_1)}{F \frac{\rho V^3}{2}} \quad (13)$$

Перетворимо це рівняння:

$$\xi_i = \frac{P(V - v_1)}{F \frac{\rho V^3}{2}} = 2 \frac{P}{F \rho v^2} \frac{V - v_1}{V} \quad (14)$$

тут вираження

$$B = \frac{2P}{F \rho v^2} \quad (15)$$

називають коефіцієнтом навантаження на ометаємую площу, або коефіцієнтом лобового тиску.

Підставивши в це рівняння $P = \rho F(V - v_1)v_2 = \rho F(V - v_1)2v_1$ і позначивши $\frac{v_1}{V} = e$, після скорочень отримаємо

$$B = \frac{2\rho F(V - v_1)2v_1}{\rho FV^2} = \frac{4(V - v_1)v_1}{V^2} = 4e(1 - e) \quad (16)$$

Поступаючи так само з рівнянням (13), для ξ отримаємо

$$\xi = \frac{\rho F(V - v_1)^2 2v_1}{F \frac{\rho V^3}{2}} = \frac{4(V - v_1)^2 v_1}{V^3} = 4e(1 - e)^2 \quad (17)$$

Відношення $\frac{v_1}{V} = e$ називають коефіцієнтом гальмування.

Визначимо значення e , при якому ξ_i матиме максимальну величину. Для цього візьмемо першу похідну і прирівняємо її нулю, т.е:

$$\frac{d\xi_i}{de} = \frac{d}{de} [4e(1 - e)^2] = \frac{d}{de} (4e - 8e^2 + 4e^3) = 0 \quad (18)$$

Чи

$$\frac{d\xi_i}{de} = 4 - 16e + 12e^2 = 0 \quad (19)$$

Звідки

$$3e^2 - 4e + 1 = 0 \quad (20)$$

Вирішуючи цю рівність, знаходимо, що ξ_i набуває максимального

значення, коли $e = 1/3$ при цьому

$$\xi_i = 4 \frac{1}{3} \left(1 - \frac{1}{3}\right)^2 = 0,593 \quad (21)$$

З рівняння (16) знаходимо B коефіцієнт навантаження на ометаємую площу при максимальному ξ_i

$$B = 4 \frac{1}{3} \left(1 - \frac{1}{3}\right) = 0,888 \quad (22)$$

Таким чином, з класичної теорії ідеального вітряка витікають наступні основні положення:

1. Максимальний коефіцієнт використання енергії вітру ідеального ветроколеса рівний $\xi_i = 0,593$.

2. Втрата швидкості в площині ветроколеса дорівнює одній третині швидкості вітру : $v_1 = 1/3 V$.

3. Повна втрата швидкості вітру за ветроколесом в два рази більше втрати швидкості в площині ветроколеса : $v_2 = 2/3 V$

Таким чином, швидкість вітру за ветроколесом в три рази менше швидкості вітру перед ветроколесом.

4. Коефіцієнт навантаження на ометаємую поверхню ветроколеса рівний $B = 0,888$.

Задаючись коефіцієнтом гальмування $e = \frac{v_1}{V}$ в межах від 0 до 1 і

підраховуючи за допомогою рівнянь (13) і (16), набудемо наступних значень коефіцієнтів ξ_i і B (таблиця. 1, рис. 4.9).

Таблиця 4.1

Значення коефіцієнтів використання і навантаження залежно від коефіцієнта гальмування

$e = \frac{v_1}{V}$	0,100	0,200	0,333	0,400	0,500	0,600	0,700	0,800	0,900	1,000
ξ_i	0,324	0,512	0,593	0,576	0,500	0,384	0,252	0,128	0,036	0
B	0,360	0,640	0,888	0,960	1,000	0,960	0,840	0,640	0,360	0

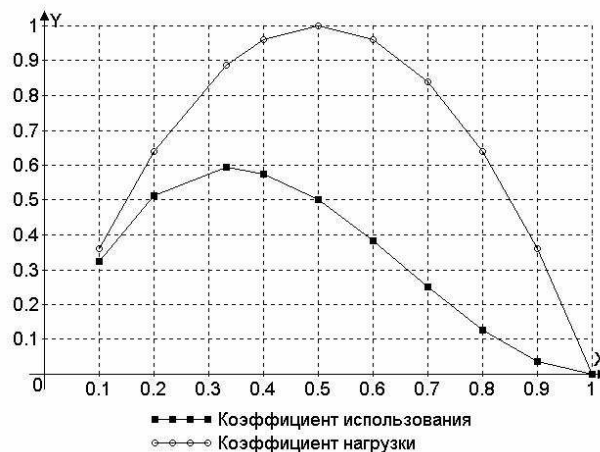


Рис. 4.9. Графіки залежності коефіцієнтів використання і навантаження від коефіцієнта гальмування

Теорія реального вітряка

Робота елементарних лопатей ветроколеса. Перше рівняння зв'язку

Виділимо з лопатей ветроколеса двома концентричними колами з радіусами r і $r + dr$ кільцеву поверхню $dF = 2\pi r dr$. Це кільце на крилах виріже відрізки завдовжки dr , які називаються елементарними лопатями (рис. 4.10). Через усі точки обох кіл проведемо лінії струму, що утворюють дві поверхні ABC , $A'B'C'$ бутыліобразной форми (рис. 4.11). Рідину, ув'язнену між цими поверхнями, назвемо елементарним кільцевим струменем.

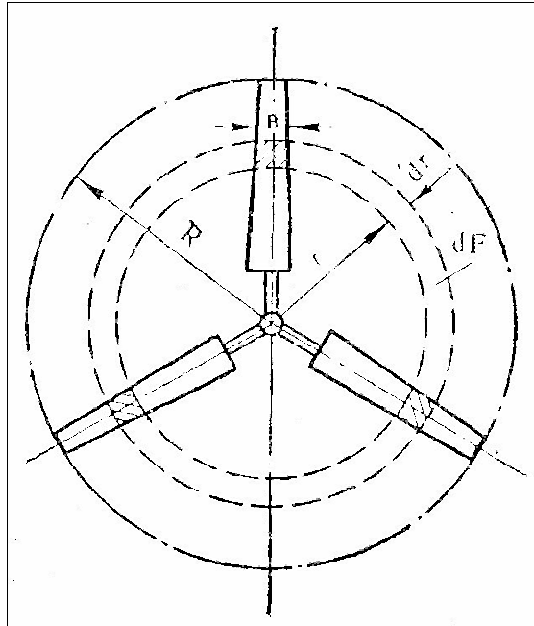


Рис. 4.10. Виділення елементарних лопатей на ветроколесе.

Зробимо припущення, що зазвичай приймається в аналогічних теоріях, що різниця тисків по обидві сторони вітрового колеса, діюча на площу кільця, що виходить від перетину ометаємой площиною елементарного струменя, сприймається елементарними лопатями.

На підставі цього складаємо перше рівняння зв'язку :

$$2\pi r dr (p_1 - p_2) = i(dY \cos \beta + dX \sin \beta) \quad (1)$$

де Y - підйомна сила крила, спрямована перпендикулярно потоку;

X - сила опору крила (лобовий опір крила), спрямована по потоку;

β - кут між площиною обертання ветроколеса і напрямом повітряного потоку, що набігає на крило; i - число лопатей ветроколеса.

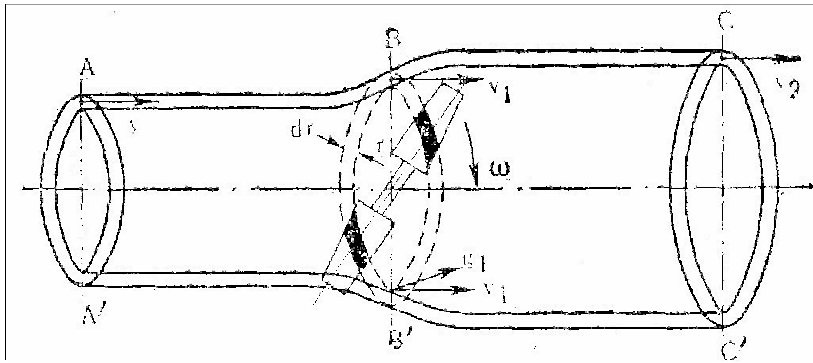


Рис. 4.11. Елементарний кільцевий струмінь.

Для визначення напрямку сил, діючих на елементарну лопать, зображуватимемо її переріз на рис. 4.12, де вісь Z спрямована по осі ветроколеса і вісь $x - x$ в площині його обертання; V - напрям швидкості вітру; W - напрям швидкості відносного потоку, що набігає на елемент лопаті.

Розкладемо силу dR , діючу на елементарну лопать, на дві сили: dX , діючу по потоку, і dY , спрямовану перпендикулярно потоку. Сила dX викликає опір елемента крила; dY викликає окружне зусилля елемента крила і називається підйомною силою.

Внаслідок обертання ветроколеса в площині $x - x$ повітряний потік набігає на ветроколесо не із швидкістю вітру V , а з відносною швидкістю W , яка складається геометрично з швидкості вітру V і окружній швидкості ωr , де ω кутова швидкість і r - відстань елемента лопаті від осі обертання ветроколеса.

Швидкість потоку, що набігає на елемент лопаті, у відносному русі буде рівна:

$$W = \sqrt{V_1^2 + (-w_2 - u_1)^2} \quad (2)$$

де $V_1 = V - v_1$ - швидкість вітру в площині вітряка.

Швидкість u_1 виходить як реакція від моменту, що крутить, розвивається лопатями. Ця швидкість має напрям, зворотний моменту; її величина береться як середня для усієї зони, в якій працюють лопаті. Насправді ця швидкість перед ветроколесом дорівнює нулю і безпосередньо за вітряком рівна u_2 . Оскільки закон зміни цієї швидкості невідомий, то, як перше наближення, її приймають рівною:

$$u_1 = \frac{u_2}{2} \quad (3)$$

Сили dY і dX можна виразити як:

$$dY = C_y b dr \frac{\rho}{2} W^2, \quad (4)$$

$$dX = C_x b dr \frac{\rho}{2} W^2 \quad (5)$$

де b - ширина елемента лопаті по хорді.

Крім того, на підставі рівняння для лобового тиску на вітряк (по теорії ідеального вітряка Г. Х. Сабініна) можемо написати:

$$p_1 - p_2 = \frac{P}{F_1} = \rho V v_2 \quad (6)$$

Підставляючи замість dY і dX і $p_1 - p_2$ їх значення в рівняння (1) отримаємо

$$2\pi r dr \rho V v_2 = i(b dr C_y \frac{\rho}{2} W^2 \cos \beta + b dr C_x \frac{\rho}{2} W^2 \sin \beta) \quad (7)$$

після скорочення отримаємо:

$$2\pi r V v_2 = i b dr C_y \frac{W^2}{2} \cos \beta (1 + \frac{C_x}{C_y} \operatorname{tg} \beta) \quad (7a)$$

Чи

$$4\pi r V v_2 = i b dr C_y W^2 \cos \beta (1 + \frac{C_x}{C_y} \operatorname{tg} \beta) \quad (7b)$$

На підставі мал. 4.12 можна ввести позначення

$$\operatorname{ctg} \beta = \frac{w_2 + u_1}{V - v_1} = z_u \quad (8)$$

яке називають числом відносних модулів. З рівняння (8) маємо:

$$-\omega r - u_1 = -z_u (V - v_1) \quad (8a)$$

чи

$$((-\omega r - u_1))^2 = z_u^2 \quad (8b)$$

і, знаючи, що $V_1 = V - v_1$, рівняння (2) можемо переписати так:

$$W = \sqrt{(V - v_1)^2 + z_u^2 (V - v_1)^2} = (V - v_1) \sqrt{1 + z_u^2} \quad (9)$$

Замінімо

$$\sin \beta \frac{V - v_1}{W} = \frac{V - v_1}{(V - v_1)\sqrt{1 + z_u^2}} = \frac{1}{\sqrt{1 + z_u^2}} \quad (10)$$

$$\cos \beta = \frac{wr + u_1}{W} = \frac{wr + u_1}{(V - v_1)\sqrt{1 + z_u^2}} = \frac{z_u}{\sqrt{1 + z_u^2}} \quad (11)$$

$$\operatorname{tg} \beta = \frac{1}{z_u} \quad (12)$$

$$\frac{C_x}{C_y} = \mu \quad \text{- зворотна якість крила} \quad (13)$$

і підставимо їх в рівняння (7б)

$$4\pi V v_2 = ibC_y (V - v_1)^2 (1 + z_u^2) \frac{z_u}{\sqrt{1 + z_u^2}} \left(1 + \frac{\mu}{z_u}\right). \quad (7в)$$

Вводячи в це рівняння $e = \frac{v_1}{V}$ і замінивши v_2 його значенням з рівності $v_2 = \frac{2v_1}{1 + \frac{v_1}{V}}$, отримаємо:

$$ibC_y = 8\pi r \frac{e}{(1+e)(1+e)^2} \frac{1}{(z_u + \mu)\sqrt{1 + z_u^2}} \quad (14)$$

Це рівняння називається рівнянням зв'язку; воно зв'язує ширину лопаті і коефіцієнт підйомної сили з деформацією потоку, величиною e , що характеризується.

Узявши суму проєкцій сил елемента лопаті на дотичну до кола, по якому він рухається, отримаємо окружне зусилля, що розвивається елементарними лопатями, :

$$dQ = ibdr \frac{\rho}{2} W^2 (C_y \sin \beta - C_x \cos \beta)$$

Підставляючи сюди значення W , $\sin \beta$ і $\cos \beta$ і вводячи $C_x = \mu C_y$, отримаємо:

$$dQ = ibdr \frac{\rho}{2} (V - v_1)^2 (1 + z_u^2) C_y \frac{1 - \mu z_u}{\sqrt{1 + z_u^2}} \quad (15)$$

Підставляючи сюди значення $ibCu$ з рівняння (14) і зробивши скорочення, отримаємо:

$$dQ = 4\pi r dr \rho \frac{e}{1+e} V^2 \frac{1-\mu z_u}{z_u + \mu} \quad (16)$$

Момент відносно осі вітряка рівний:

$$dM = dQr = 4\pi r^2 dr \rho \frac{e}{1+e} V^2 \frac{1-\mu z_u}{z_u + \mu} \quad (17)$$

Секундна робота елементарних лопатей :

$$dT = dMw = 4\pi r dr \rho \frac{e}{1+e} V^3 \frac{1-\mu z_u}{z_u + \mu} z \quad (18)$$

Секундна енергія далеко перед вітряком, що знаходиться в потоці, площа перерізу якого визначається площею кільця, що змітається елементарними лопатями, рівна:

$$dT_0 = 2\pi r dr \rho \frac{V^3}{2}. \quad (18a)$$

Поділивши секундну роботу елементарних лопатей на цю енергію, отримаємо елементарний коефіцієнт використання енергії вітру :

$$\xi = \frac{dT}{dT_0} = \frac{4e}{1+e} \frac{1-\mu z_u}{z_u + \mu} z. \quad (19)$$

Помноживши і розділивши вираження (19) на $(1 - e)$ отримаємо:

$$\xi = 4e \frac{1-e}{1+e} \frac{1-\mu z_u}{z_u + \mu} \frac{z}{1-e}. \quad (19a)$$

Оскільки вираження $4e \frac{1-e}{1+e}$ представляє ідеальний коефіцієнт використання енергії вітру, то можемо записати:

$$\xi = \xi_i \frac{1-\mu z_u}{z_u + \mu} \frac{z}{1-e} = \xi_i \eta, \quad (20)$$

Де

$$\eta = \frac{1-\mu z_u}{z_u + \mu} \frac{z}{1-e} \quad (21)$$

називають відносним коефіцієнтом корисної дії елементарного вітряка.

При великому числі модулів можна приблизно вважати:

$$\frac{z}{1-e} \cong z_u$$

І тоді

$$\eta = \frac{1 - \mu z_u}{z_u + \mu} \frac{z}{1-e} \quad (21a)$$

Нагадаємо, що числом модулів, або швидкохідністю ветродвигателя, називають відношення окружної швидкості кінця лопаті до швидкості вітру :

$$Z = \frac{wR}{V}.$$

Число модулів елементів лопатей на радіусі r рівне:

$$z = \frac{wR}{V}. \quad (22)$$

Число модулів для будь-якого радіусу r вітряка з відомою швидкохідністю Z може бути виражене так:

$$z = Z \frac{r}{R}, \quad (23)$$

де R - радіус ветроколеса.

Друге рівняння зв'язку

Момент відносно осі вітряка аеродинамічних сил, діючих на елементарні лопаті, рівний за величиною і протилежний по знаку до моменту кількості руху, що отримується елементарним струменем, захопленим вітряним колесом. Тут передбачається, що в цьому процесі бере участь і приєднана маса, оскільки інакше теорема Гельмгольца про збереження вихору не була б виконана.

Друге рівняння зв'язку виводимо з рис. 4.13.

$$i(dY \sin \beta - dX \cos \beta)r = d(m_1 + m_2)2u_1r \quad (24)$$

але

$$d(m_1 + m_2) = 2\rho r dr \rho V.$$

Підставляючи вказане рівняння і значення dY і dX з рівнянь (4) і (5) в рівняння (24), отримаємо:

$$i b d r (c_y \sin \beta - C_x \cos \beta) \frac{\rho}{2} W^2 r = 2 \pi r d r \rho V 2 u_1 r. \quad (24a)$$

Замінивши в цьому рівнянні $\sin \beta$ і $\cos \beta$ їх значеннями з рівнянь (10) і (11) і зробивши скорочення, отримаємо:

$$ib(C_y \frac{1}{\sqrt{1+z_u^2}} - C_x \frac{z_u}{\sqrt{1+z_u^2}})W^2 = 8\pi r V u_1. \quad (24a)$$

Підставляючи сюди (13) і (9), отримаємо

$$ibC_y \frac{1-\mu z_u}{\sqrt{1+z_u^2}} (V-v_1)^2 (1+z_u^2) = 8\pi r V u_1. \quad (24b)$$

З цієї рівності знаходимо відношення $\frac{u_1}{V}$, для чого розділимо праву і ліву частини на $8\pi r V^2$ і замінимо відношення $\frac{u_1}{V}$ його значенням е

$$\frac{u_1}{V} = \frac{ibC_y}{8\pi r} (1-e)^2 (1-\mu z_u) \sqrt{1+z_u^2} \quad (25)$$

Підставляючи їх рівняння (14) значення $\frac{ibC_y}{8\pi r}$ і провівши скорочення, отримаємо:

$$\frac{u_1}{V} = \frac{e}{1+e} \frac{1-\mu z_u}{z_u + \mu} \quad (26)$$

Перетворюючи рівняння (8), знаходимо співвідношення між z_u і z :

$$z_u = \frac{wr + u_1}{V - v_1} = \frac{wr}{V} \frac{V}{V-1} + \frac{u_1}{V} \frac{V}{V-1} = \frac{z}{1-e} + \frac{u_1}{V(1-e)}.$$

Підставимо значення $\frac{u_1}{V}$ з рівняння (24) :

$$z_u = \frac{z}{1-e} + \frac{e}{1-e^2} \frac{1-\mu z_u}{z_u + \mu} \quad (27)$$

$$z = z_u (1-e) - \frac{e}{1+e^2} \frac{1-\mu z_u}{z_u + \mu} \quad (28)$$

Вирішуємо це рівняння відносно z_u :

$$\begin{aligned} z_u^2 + \mu z_u - \frac{z_u z}{1-e} - \frac{\mu z}{1-e} - \frac{e}{1-e^2} + \frac{e}{1-e^2} \mu z_u &= 0; \\ z_u^2 - z_u \left(\frac{z}{1-e} - \mu - \frac{e}{1-e^2} \mu \right) - \frac{e}{1-e^2} - \mu \frac{z}{1-e} &= 0; \\ z_u = \frac{1}{2} \left[\frac{z}{1-e} - \mu \left(1 + \frac{e}{1-e^2} \right) \right] \pm \sqrt{\frac{1}{4} \left[\frac{z}{1-e} - \mu \left(1 + \frac{e}{1-e^2} \right) \right]^2 + \frac{e}{1+e^2} + \mu \frac{z}{1-e}} &= 0 \quad (29) \end{aligned}$$

Оскільки μ зазвичай має малу величину, то, прийнявши $\mu = 0$,

рівняння (28) і (29) можна спростити:

$$z = z_u(1-e) - \frac{e}{z_u(1-e)}. \quad (28a)$$

$$z_u = z \frac{1 + \sqrt{1 + \frac{4e(1-e)}{z^2(1+e)}}}{2(1-e)} = z \frac{1 + \sqrt{1 + \frac{\xi_i}{z^2}}}{2(1-e)}. \quad (29a)$$

Рівняння (14), (22) і (29) дозволяють зробити повний аеродинамічний розрахунок ветроколеса для заданих ωR і V , а також форми профілю крила. При цьому користуються діаграмою C_y і C_x , побудованою для цього профілю.

Задаючись e в межах 0,28 до 0,35 і найбільш вигідним кутом атаки, по діаграмі C_y і C_x для цього профілю знаходять: $\mu = \frac{C_x}{C_y}$.

Підставляючи значення z , e і μ в рівняння (29), знаходять число відносних модулів z_u . Далі, користуючись рівнянням (14), знаходять сумарну ширину лопатей ib :

$$ib = \frac{8\pi r}{C_y} \frac{e}{(1+e)(1-e)^2} \frac{1}{(z_u + \mu)\sqrt{1+z_u^2}}. \quad (30)$$

І, нарешті, визначають кут заклинювання лопаті φ на радіусі r :

$$\varphi = \arctg z_u - \alpha. \quad (31)$$

C_y знаходять по діаграмі C_y по α , побудованою на підставі експериментальних даних.

Момент і потужність усього вітряка

Момент усього вітряка отримаємо, проінтегрувавши рівняння (27) в межах від r_0 до R , де r_0 - відстань від осі вітряка до початку лопаті і R - відстань від осі вітряка до кінця лопаті.

$$M = \int_{r_0}^R dM = \int_{r_0}^R 4\pi r^2 \rho \frac{e}{1+e} V^2 \frac{1-\mu z_u}{z_u + \mu} dr \quad (32)$$

Цей момент зазвичай виражають в абстрактних величинах і означають через \bar{M} з рисою вгорі. При цьому праву і ліву частині рівності (32) ділять на $\pi R^3 \frac{\rho V^2}{2}$ і вводять позначення $\bar{r} = \frac{r}{R}$, звану відносним радіусом:

$$\bar{M} = \int_{r_0}^R 8 \frac{e}{1+e} \frac{1-\mu z_u}{z_u + \mu} r^2 dr \quad (33)$$

Рівняння (33) є основним для обчислення характеристики моментів. Їм можна користуватися при змінних значеннях e у подовж r , якщо припустити, що елементарні струмені не впливають один на одного, що практично допустимо при плавних змінах e .

Для вітряка з постійним e по радіусу ми можемо винести e за знак інтеграла :

$$\bar{M} = 8 \frac{e}{1+e} \int_{r_0}^{\bar{R}} \frac{1-\mu z_u}{z_u + \mu} r^2 dr \quad (34)$$

Цей інтеграл можна вирішити, якщо нехтувати крученням струменя, яке у швидкохідних вітряків трохи.

Отже, ми можемо прийняти $u_1 = 0$ і відносно число модулів z_u з рівняння (8) можемо виразити так:

$$z_u = \frac{wr + u_1}{V - v_1} \cong \frac{wr}{V - v_1} = \frac{wr}{V(1-e)} = \frac{z}{1-e} \quad (35)$$

Для кінця лопаті маємо:

$$Z_u \cong \frac{wR}{V - v_1}. \quad (36)$$

Розділивши рівняння (35) на (36), отримаємо

$$\frac{r}{R} \cong \frac{z_u}{Z_u}; \quad (37)$$

$$\frac{dr}{R} \cong \frac{dz_u}{Z_u}. \quad (38)$$

Зробивши ряд перетворень рівняння (34) і нехтуючи малими величинами μ^2 і $\frac{z_{u_0}^3}{Z_u^3}$, отримаємо:

$$\bar{M} = \frac{4e}{(1+e)Z_u} \left[(1+\mu) \left(1 - \frac{r_0^2}{R^2} \right) - 2\mu \left(\frac{Z_u}{3} + \frac{1 - \frac{r_0}{R}}{Z_u} \right) \right]. \quad (39)$$

Підставляючи значення z_u з рівняння (35), отримаємо:

$$\bar{M} = \frac{4e}{Z} \frac{1-e}{1+e} \left[\left(1 - \frac{r_0^2}{R^2} \right) - 2\mu \left(\frac{Z_u}{3} + \frac{1 - \frac{r_0}{R}}{Z_u} - \frac{1 - \frac{r_0^2}{R^2}}{2} \right) \right]. \quad (40)$$

Потужність, що розвивається вітряком, рівна $M\omega$, а оскільки з рівняння (33) момент рівний:

$$M = \bar{M} \pi R^3 \frac{\rho V^2}{2} \quad (33a)$$

те потужність, що розвивається вітряком, можна написати так:

$$T = Mw = \bar{M} \pi R^3 \rho \frac{V^2}{2} w, \quad (41)$$

Поставивши сюди $Z = \frac{wR}{V}$, замість $w = \frac{ZV}{R}$, отримаємо:

$$T = \bar{M} \pi R^2 \rho \frac{V^3}{2} Z, \quad (42)$$

Замінивши \bar{M} його значенням з рівняння (40), отримаємо:

$$T = 4e \frac{1-e}{1+e} \left[\left(1 - \frac{r_0^2}{R^2} \right) - 2\mu \left(\frac{Z_u}{3} + \frac{1-\frac{r_0}{R}}{Z_u} - \frac{1-\frac{r_0^2}{R^2}}{2} \right) \right] \pi R^2 \rho \frac{V^3}{2}. \quad (43)$$

Розділивши потужність вітряка на секундну енергію потоку, отримаємо коефіцієнт використання енергії вітру :

$$\xi = \frac{T}{\pi R^2 \rho \frac{V^3}{2}} = 4e \frac{1-e}{1+e} \left[\left(1 - \frac{r_0^2}{R^2} \right) - 2\mu \left(\frac{Z_u}{3} + \frac{1-\frac{r_0}{R}}{Z_u} - \frac{1-\frac{r_0^2}{R^2}}{2} \right) \right]. \quad (44)$$

Оскільки:

$$4e \frac{1-e}{1+e} = \xi_i \text{ і } \xi = \xi_i \eta$$

Тє

$$\eta = \left[\left(1 - \frac{r_0^2}{R^2} \right) - 2\mu \left(\frac{Z_u}{3} + \frac{1-\frac{r_0}{R}}{Z_u} - \frac{1-\frac{r_0^2}{R^2}}{2} \right) \right]. \quad (45)$$

При виведенні цього рівняння не були взяті до уваги втрати, що відбуваються внаслідок утворення вихорів, що сходять з кінців лопатей, а також прийнято кручення струменя, що йде, рівним нулю, що допустимо у швидкохідних вітряків.

Отже, коефіцієнт використання енергії вітру, підрахований по формулі (44), буде значно вищий можливого до отримання в практиці.

Втрати вітряних двигунів

Втрати вітряних двигунів розділяються на чотири групи.

1. Кінцеві втрати, що відбуваються за рахунок утворення вихорів, що сходять з кінців лопатей. Ці втрати визначаються на підставі теорії індуктивного опору. Частина цих втрат була врахована при виведенні ідеального коефіцієнта використання енергії вітру ξ_i ; неврахована частина кінцевих втрат виражається формулою (46) :

$$\bar{T}_j \cong \frac{e}{1-e} \left[\frac{\sqrt[8]{1 + \left(\frac{1-e}{Z}\right)^2}}{(1+e)iZ} - \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{iZ}{\pi\left(1-\frac{e}{2}\right)}\right)^2}} \right]. \quad (46)$$

2. Профільні втрати, які викликаються тертям струменів повітря об поверхню крила і залежать тільки від профілю лопатей.

Потужність, що поглинається профільним опором елементарних лопатей завдовжки dr , на радіусі r вітряка рівна:

$$dT_p = iC_p b dr \rho \frac{W^2}{2} W, \quad (47)$$

де C_p - коефіцієнт профільного опору, який для крила нескінченного розмаху рівний C_x , тобто:

$$C_p = C_x.$$

Оскільки $\frac{C_x}{C_y} = \mu$, або $C_x = \mu C_y$, то $C_p = \mu C_y$. Підставляючи значення C_p , рівне μC_y і $W = (V - v_1) \sqrt{1 + Z_u^2}$ в рівняння (47), отримаємо

$$dT_p = iC_y \mu dr \frac{\rho}{2} (V - v_1)^3 (1 + z_u^2) \sqrt{1 + z_u^2}.$$

Підставляємо значення iC_y з рівняння (14) і робимо перетворення цього рівняння :

$$dT_p = \frac{4\pi r dr e}{(1+e)(1-e)^2} \rho (V - v_1)^3 \frac{1 + z_u^2}{z_u + \mu} \mu$$

Підставляємо:

$$r = z \frac{V}{w};$$

$$dr = \frac{V}{w} dz;$$

$$z_u \cong \frac{z}{1-e};$$

і відкидаємо в знаменнику μ , як малу величину, в порівнянні з z_u :

$$dT_p \cong 4\pi \rho \frac{V^5}{w^2} \frac{e(1-e)^2}{1+e} \mu \left[1 + \frac{z^2}{(1-e)^2} \right] dz.$$

Інтегруючи в межах від 0 до Z отримаємо:

$$dT_p \cong 4\pi\rho \frac{V^5}{w^2} \frac{e(1-e)^2}{1+e} \int_0^z \mu \left[1 + \frac{z^2}{(1-e)^2} \right] dz.$$

Профільні втрати там, де вже кінчилася лопать, існують у вигляді опору маху, яке, таким чином, враховується приблизно. В результаті інтеграції отримуємо профільні втрати усього вітряка :

$$T_p \cong \pi R^2 \frac{\rho V^3}{2} \frac{4e(1-e)^3}{1+e} \frac{V^2}{w^2 R^2} 2\mu' \left[Z + \frac{Z^3}{3(1-e)^2} \right].$$

Де $\mu' = \frac{C_x}{C_y}$ є середня величина по усій лопаті.

Оскільки $\frac{4e(1-e)}{1+e} = \xi_i$ і $\frac{V}{wR} = \frac{1}{Z}$, то підставляючи значення цих виразів в це рівняння і розділивши його на $\pi R^2 \rho \frac{V^3}{2} \xi_i$, отримаємо остаточну формулу профільних втрат в безрозмірному значенні:

$$\bar{T}_p \cong \frac{T_p}{\pi R^2 \frac{\rho V^3}{2} \xi_i} = 2\mu' \left[\frac{1-e}{Z} + \frac{Z}{3(1-e)} \right]. \quad (48)$$

3. Втрати на кручення струменя за вітряком дорівнюють живій силі тангенціальних швидкостей струменя, що йде. Величину цих втрат отримаємо, проінтегрувавши живу силу від тангенціальних швидкостей усіх елементарних струменів в межах від r_0 до R , а саме:

$$T_m = \int_{r_0}^R (2\pi r dr \rho V) \frac{u_2^2}{2} \quad (49)$$

Замінімо в цьому вираженні u_2 його значенням, яке дорівнює $2u_1$. Так на підставі рівнянь (25) і (21)

$$\frac{u_1}{V} = \frac{e}{1+e} \frac{1-\mu z_u}{z_u + \mu} = \frac{e}{1+e} \frac{1-\mu z_u}{(1+\frac{\mu}{z_u})z_u},$$

$$z_u \cong \frac{z}{1-e} \text{ и } \eta = \frac{1-\mu z_u}{1+\frac{\mu}{z_u}},$$

Отримаємо

$$u_1 \cong \frac{e}{z} \frac{1-e}{1+e} \eta V,$$

Отже:

$$u_2 = 2u_1 \cong 4e \frac{1-e}{1+e} \eta \frac{V}{2z},$$

Звідки:

$$u_2 = \frac{V}{2z} \xi_i \eta,$$

Чи

$$u_2 = \frac{V}{2Z} \frac{R}{r} \xi \eta. \quad (50)$$

Підставляючи значення u_2 в рівняння (49), отримаємо:

$$T_m = \int_{r_0}^R \pi r dr \rho V^3 \frac{R^2}{r^2} \frac{\xi^2 \eta^2}{4Z^2}.$$

Виносячи постійні за знак інтеграла і замінивши η деяким його значенням η_1 , середнім для усього радіусу r , отримаємо:

$$T_m = \pi R^2 \rho \frac{V^3}{2} \frac{\xi^2 \eta_1^2}{2Z^2} \int_{r_0}^R \frac{dr}{r} = \pi R^2 \rho \frac{V^3}{2} \frac{\xi^2 \eta_1^2}{2Z^2} \ln \frac{R}{r_0}.$$

Поділивши обидві частини цієї рівності на потужність ідеального вітряка :

$$T_i = \pi R^2 \rho \frac{V^3}{2} \xi_i,$$

отримаємо абстрактну величину втрат на кручення струменя за вітряком:

$$\overline{T_m} = \frac{\xi_i \eta_1^2}{2Z^2} \ln \frac{R}{r_0}. \quad (51)$$

4. Втрати, що відбуваються внаслідок неповного використання усієї ометаної площі, враховуються відношенням:

$$\left(\frac{r_0}{R} \right)^2.$$

Корисну потужність, що розвивається вітряком, отримаємо, віднявши усі втрати з потужності ідеального вітряка :

$$T = T_i \left(1 - \frac{r_0}{R} \right)^2 - T_j - T_p - T_m.$$

Розділивши на T_i отримаємо:

$$\frac{T}{T_i} = 1 - \frac{r_0^2}{R^2} - \frac{T_j}{T_i} - \frac{T_p}{T_i} - \frac{T_m}{T_i},$$

Звідки:

$$T = T_i \left[1 - \left(\frac{r_0}{R} \right)^2 - \overline{T_j} - \overline{T_p} - \overline{T_m} \right]. \quad (52)$$

Розділивши праву і ліву частині цього рівняння на вираження енергії вітру $\pi R^2 \rho \frac{V^3}{2}$, отримаємо коефіцієнт використання енергії вітру реального вітряка :

$$\xi = \xi_i \left[1 - \left(\frac{r_0}{R} \right)^2 - \bar{T}_j - \bar{T}_p - \bar{T}_m \right]. \quad (53)$$

Оскільки, згідно з рівнянням (20), $\xi = \xi_i \eta$, знаходимо, що відносний коефіцієнт корисної дії η вітряка рівний:

$$\eta = 1 - \frac{r_0^2}{R^2} - \bar{T}_j - \bar{T}_p - \bar{T}_m. \quad (54)$$

Тема 5. Геотермальна енергія

Тепловий режим земної кори. Джерела геотермального тепла.

Тепловий режим земної кори.

Підземні термальні води (гідротерми).

Запаси і поширення термальних вод.

Стан геотермальної енергетики в Україні.

Використання геотермальної енергії для вироблення теплової і електричної енергії.

Пряме використання геотермальної енергії.

Геотермальні електростанції з бінарним циклом.

Використання геотермальної енергії для теплопостачання житлових і виробничих будівель.

Теплопостачання високотемпературною сильно мінералізованою термальною водою.

Теплопостачання низькотемпературною маломінералізованою термальною водою.

Тепловий режим земної кори. Джерела геотермального тепла.

Тепловий режим земної кори

Під геотермікою (від грецьких слів "гео" - земля і "термо" - тепло) розуміється наука, що вивчає тепловий стан земної кори і Землі в цілому, його залежність від геологічної будови, складу гірських порід, магматичних процесів і цілого ряду інших чинників.

Критерієм теплового стану земної кулі є поверхневий градієнт температури, що дозволяє судити про втрати тепло Землі. Екстраполюючи градієнт на великі глибини, можна якоюсь мірою оцінити температурний стан земної кори. Величина, відповідна поглибленню в метрах, при якому температура підвищується на 1° З, називається геотермічним ступенем.

У зв'язку із зміною інтенсивності сонячного випромінювання тепловий режим перших 1,5-40 м земної кори характеризується добовими і річними коливаннями. Далі мають місце багаторічні і вікові коливання температури, які з глибиною поступово затухають. На будь-якій глибині температура гірських порід (Т) приблизно може бути визначена по формулі

$$T = t_g + \frac{(H + h)}{\sigma} \quad (5.1)$$

Де t_g - середня температура повітря цієї місцевості, H - глибина, для якої визначається температура; h - глибина шару постійних річних температур; σ - геотермічний ступінь.

Середня величина геотермічного ступеня дорівнює 33 м, і з поглибленням від зони постійної температури на кожні 33 м температура підвищується на 1 °С.

Геотермічні умови надзвичайно різноманітні. Це пов'язано з геологічною будовою того або іншого району Землі. Відомі випадки, коли збільшення температури на 1°C відбувається при поглибленні на 2-3 м

Ці аномалії зазвичай знаходяться в областях сучасного вулканізму. На глибині 400-600 м в деяких районах, наприклад Камчатки, температура доходить до $150\text{-}200^{\circ}\text{C}$ і більш.

Нині отримані дані про досить глибоке промерзання верхньої зони земної кори. Геотермічні спостереження в зоні вічної мерзлоти дозволили встановити, що потужність мерзлих гірських порід досягає 1,5 тис. м. Так, в районі річки Мархи (приплив Вилюя) на глибині 1,8 тис. м температура складає усього лише $3,6^{\circ}\text{C}$. Тут геотермічний ступінь складає 500 м на 1°C . На окремих платформених частинах території (на Російській платформі) температура з глибиною приблизно наступна: 500 м - не вище 20°C , 1 тис. м - $25\text{-}35^{\circ}\text{C}$; 2 тис. м - $40\text{-}60^{\circ}\text{C}$; 3-4 тис. м - до 100°C і більш.

Підземні термальні води (гідротерми)

У земній корі існує рухливий і надзвичайно тепломісткий енергоносіє - вода, що грає важливу роль в тепловому балансі верхніх геосфер. Вода насичує усі породи осадового чохла. Вона міститься в породах гранітною і осадовою оболонкою, а ймовірно, і у верхніх частинах мантії. Рідка вода існує тільки до глибин 10-15 км, нижче при температурі близько 700°C вода знаходиться виключно в газоподібному стані.

На глибині 50-60 км при тисках близько $3\cdot 10^4$ атм зникає межа фазовості, тобто водяний газ придбаває таку ж щільність, що і рідка вода.

У будь-якій точці земної поверхні, на певній глибині, залежній від геотермічних особливостей району, залягають пласти гірських порід, що містять термальні води (гідротерми). У зв'язку з цим в земній корі слід виділяти ще одну зону, умовно звану "гідротермальною оболонкою". Вона простежується повсюдно по усій земній кулі тільки на різній глибині. У районах сучасного вулканізму гідротермальна оболонка іноді виходить на поверхню. Тут можна виявити не лише гарячі джерела, киплячих грифонів і гейзери, але і парогазові струмені з температурою $180\text{-}200^{\circ}\text{C}$ і вище.

Температура підземних вод коливається в широких межах, обумовлюючи їх стан, впливаючи на склад і властивості. Відповідно до температури теплоносія усі геотермальні джерела підрозділяють на епітермальні, мезотермальні і гіпотермальні.

До **епітермальних джерел** зазвичай відносять джерела гарячої води з температурою $50\text{-}90^{\circ}\text{C}$, розташовані у верхніх шарах осадових порід, куди проникають ґрунтові води.

До **мезотермальних джерел** відносять джерела з температурою води $100\text{-}200^{\circ}\text{C}$.

У **гіпотермальних джерелах** температура у верхніх шарах перевищує 200°C і практично не залежить від ґрунтових вод.

Походження термальних вод може бути пов'язане з діяльністю теплових вогнищ, але найчастіше вода, тим або іншим способом потрапляючи в пласт породи, здійснює довгий шлях, поки не приходить в контакт з тепловим потоком або поступово розігрівається, відбираючи тепло у порід.

Рідка фаза води і тепло можуть походити з одного джерела лише у тому випадку, якщо таким є остигаючий магматичний розплав. Перегріта вода у вигляді парових струменів виділяється з розплаву разом з газами і легколетучими компонентами, спрямовуючись у верхні, холодніші горизонти. Вже при температурах 425-375 °З пар може конденсуватися в рідку воду; у ній розчиняються більшість летких компонентів - так з'являється гідротермальний розчин "ювенільного" (первозданного) типу. Під терміном "ювенільні" геологи мають на увазі води, які ніколи раніше не брали участь у водообороті; такі гідротерми у прямому розумінні слова є первинними, новоутвореними. Вважають, що так само сформувалася уся поверхнева гідросфера морів і океанів в епоху молоді магматичної активності планети, коли тільки-тільки зароджувалися тверді консолідовані "острови" материкових платформ.

Прямою протилежністю "ювенільних" вод є води інфільтраційного походження. Якщо "ювенільні" води, відділяючись від магматичного розплаву, піднімаються до поверхні, то переважаючий рух інфільтраційних вод - від поверхні углиб. Джерело вод цього типу є атмосферними опадами або взагалі поверхневими потоками. По поровому простору порід або зонам тріщин ці води проникають (інфільтруються) в глибші горизонти. По шляху руху вони насичуються різними солями, розчиняють підземні газы, нагріваються, відбираючи тепло у порід, що водопроводять.

Залежно від глибини проникнення інфільтраційних вод вони стають більш менш нагрітими. За середніх геотермічних умов для того, щоб інфільтраційні води стали термальними (тобто з температурою більше 37 °С), потрібне їх занурення на глибину 800-1000 м

Інфільтраційні гідротерми здатні вилитися на поверхню у вигляді гарячих джерел, якщо існує можливість розвантаження води на поверхню по розломах, виклинюваннях шарів, що відбувається в нижчих відносно області живлення ділянках. Причому, щоб вода залишалася термальною, під'їм її до поверхні повинен відбуватися дуже швидко, наприклад, по широких тріщинах розломів. При повільному підйомі гідротерми остигають, віддаючи закумуляоване тепло вміщуючим породам. Проте, якщо пробурити свердловину на глибину 3-4 тис. м і забезпечити швидкий підйом води, можна отримати термальний розчин з температурою до 100 °С. Усе це стосується областей з середніми геотермічними показник-мі і не відноситься до вулканічних районів або зон недавнього горнообранования.

Вулканічний тип термальних вод слід виділити особливо. Як вже говорилося, гарячі джерела вулканічних районів не можна цілком вважати

"ювенільними", тобто магматичними. Досвід досліджень показує, що в пригнічуючому випадку вода вулканічних терм має поверхневе інфільтраційне походження. Окрім гейзерів вулканічний тип гідротерм включає грязьових грифонів і котли, парові струмені і газові фумароли.

Усі перераховані типи термальних вод мають різноманітний хімічний і газовий склад. Їх загальна мінералізація коливається від ультрапресних категорій (менше 0,1 г/л) до категорій надміцних розсолів (більше 600 г/л). Гідротерми містять в розчиненому стані різні гази: активні (агресивні), такі, як вуглекислота, сірководень, атомарний водень, і малоактивні - азот, метан, водень.

У геотермальній енергетиці можуть бути використані практично усі види термальних вод : перегріті води - при здобичі електроенергії, прісні термальні води - в комунальному теплообеспеченні, солонуваті води - в бальнеологічних цілях, розсоли - як промислова сировина.

Запаси і поширення термальних вод

До областей поширення родовищ термальних вод відносяться: вулканічне кільце басейну Тихого океану, Альпійський складчастий пояс, рифтові долини континентів, серединно-океанічні хребти, платформені занурення і предгірні крайові прогини (рис. 5.1).

По своєму походженню родовища термальних вод можна підрозділити на два типи, що розрізняються способом перенесення теплової енергії.

Перший тип утворюють геотермальні системи конвекційного походження, що відрізняються високою температурою вод, що розвантажуються на денну поверхню. Це райони розташування сучасних або нещодавно згаслих вулканів, де на поверхню виходять не лише гарячі води, але і пароводяна суміш з температурою до 200 °С і більш. На сьогодні усі геотермальні електростанції працюють в районах сучасного вулканізму.

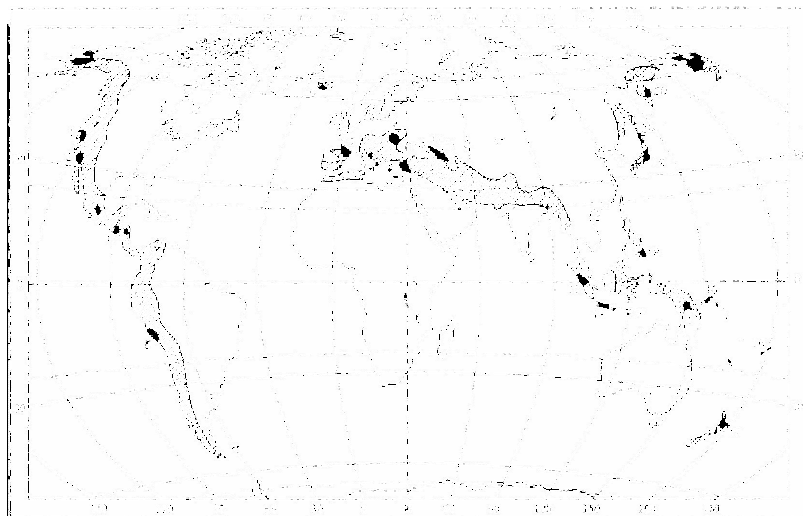


Рис. 5.1. Области виробництва геотермальної енергії в системі

третинних орогенических поясів (заштриховано) : 1 - Каліфорнія; 2 - Серро Прие-то; 3 - Мексика, Ідальго; 4 - Сан-Сальвадор; 5 - Чилі, Атакама; 6 - Ісландія; 7 - Араак-лак; 8 - Лардерелло, Монте-Амиата; 9 - Угорський басейн ; 10 - Айдин- Денизли; 11 - Кавказ; 12 - Суматра; 13 - Ява; 14 - Нова Гвінея; 15 - Нова Британія; 16 - Фіджі, Нові Гебриди; 17 - Вайракей, Вайотапу; 18 - Філіппіни; 19 - Японія; 20 - Камчатка.

До родовищ конвекційного типу відносяться також гідротермальні прояви так званих рифтових зон, що характеризуються активним тектонічним режимом і помірно підвищеними геотермічними градієнтами - 45-70 °З/км. (Рифтові зони і пов'язані з ними термоаномалії, як правило, тягнуться на величезні відстані. Наприклад, Північно-мексиканський басейн термальних вод простягнувся на 1,5 тис. км, від північно-східної частини Мексики до Флориди. Одна зі свердловин тут з глибини 5859 м дає пароводяну суміш з температурою 273 °З, причому цей флюїд виходить при високому тиску.)

Другий тип геотермальних родовищ утворюється при переважаючому кондуктивном прогріванні підземних вод, зосереджених в глибоких платформених западинах і предгірних прогинах. Вони розташовуються в невулканічних районах і характеризуються нормальним геотермічним градієнтом - 30-33 °З/км.

Бурінням на нафту і газ, а частково і на воду виявлені сотні підземних артезіанських басейнів термальних вод, що займають площі в декілька мільйонів квадратних кілометрів. Як правило, артезіанські басейни, розташовані в рівнинних областях і предгірних прогинах, містять воду з температурою 100-150° З на глибині 3-4 км.

Можна без перебільшення сказати, що будь-який відмічений на карті предгірний прогин, який був сформований в епоху альпійського горотворення, містить басейн термальних вод. Такі артезіанські басейни предгірних прогинів Піренеев, Альп, Карпат, Криму, Кавказу, Копет-Дага, Тянь-шаня, Паміру, Гімалаїв. Термальні води цих басейнів демонструють унікальне різноманіття хімічних типів від прісних (питних) до розсолів, вживаються як мінеральна сировина для витягання цінних елементів. Більше половини усіх відомих мінеральних (лікувальних) вод виходить у вигляді джерел або виводиться свердловинами в межах альпійських предгірних і міжгірських прогинів. Досвід показує, що термальні води подібних малих басейнів є найбільш перспективними для комплексного використання в практичних цілях.

Підрахунки запасів термальних вод ґрунтуються на наявних даних про об'єми гравітаційних вод, що знаходяться в пластах, об'ємах самих водоносних горизонтів і колекторних властивостях гірських порід, що складають їх. Запаси термальних вод є загальною кількістю виявлених термальних вод, що знаходяться в порах і тріщинах водоносних горизонтів, що мають температуру 40-200° З, мінералізацію до 35 г/л і глибина

залягання до 3,5 тис. м від денної поверхні.

З розвитком глибокого буріння на 10-15 км відкриваються багатообіцяючі перспективи розтину високотемпературних джерел тепла. На таких глибинах в деяких районах країни (виключаючи вулканічні) температура вод може досягти 350° З і вище.

Райони виходу на поверхню кристалічного фундаменту (Балтійський, Український, Анабарський щити) і підведені гірські споруди (Урал, Кавказ, Карпати і т. д.) абсолютно не мають запасів термальних вод. На ділянках занурення фундаменту, тобто при збільшенні товщини осадового чохла, в надрах спостерігається деяке "потепління" до 35-40 °З на платформах і до 100-120 °З в глибоких предгірних западинах.

До районів, що мають максимально "теплі" земні надра, поза сумнівом, відноситься Курило-Камчатська вулканічна зона. Тут нагретість порід і вод, що містяться в них, залежить не лише від глибини їх залягання, але більшою мірою від близькості до вулканічних центрів і розломів в земній корі.

Таким чином, температура порід, а отже, і вод знаходиться залежно від глибини залягання і від району, який характеризується більшою або меншою геотермічною активністю.

Стан геотермальної енергетики в Україні

Стан і перспективи в Україні. Визначено, що створення ефективних геотермальних станів в Україні можливо за умови реалізації новітніх технологій здобичі геотермальної енергії з використанням геотермальних циркуляційних систем, а також технічної реалізації систем по закачуванню в надра Землі використаної високомінералізованої води.

Потенціал. Доцільність розвитку геотермальної енергетики в Україні визначається наявністю значних ресурсів геотермальної енергії України, які по своєму тепловому еквіваленту перевищують запаси традиційного енергетичного палива.

В Україні великі термальні зони на глибинах менше 4 км є в Криму і в Карпатах. Загальний потенціал підземних вод регіонів Прикарпаття і Криму складає 1,5 млн м³ в добу або 550 млн м³ за рік.

Тепло цих родовищ можна використовувати за допомогою створення підземних циркуляційних систем (ПЦС). Досвідчена ПЦС побудована в Україні біля м. Ужгороду для тепlopостачання теплично-парникового комбінату і тваринницької ферми; глибина цієї системи 2,3 км, температура 124 °С. Геотермальні родовища, придатні для технічної експлуатації, зареєстровані і в інших областях: Полтавській, Чернігівській, Харківській, Донецькій.

Ресурси геотермальної енергії на території України по тепловому еквіваленту перевищують запаси традиційного палива.

Оцінка показників технічного і доцільно економічного потенціалу проводилася з урахуванням технічної бази, економічної ситуації і завдань

"Програми розвитку НВИЭ" в Україні по розділу "Геотермальна енергетика" до 2014 г.

Територіальний розподіл ресурсів. Серед районів України, перспективних для розвитку геотермальної енергетики, слід виділити Закарпаття. За геологічними і геофізичними даними, на глибинах до 6 км температура гірських порід досягає там 230.275 °С. Значні ресурси геотермальної енергії зосереджені в Криму, де спостерігаються найбільші геотермічні градієнти. Температура гірських порід у ряді районів на глибині 3,5.4 км може досягати 160.180 °С.

Деякі характеристики перспективних для геотЭС районів України. Згідно з отриманими оцінками запасів геотермальної енергії, пріоритетними районами першочергового будівництва геотЭС в Україні є такі:

у Криму - Керченський півострів;

у Предкарпат'є - Львівська область;

окремі родовища в Харківській, Полтавській і Донецькій областях.

Технічні особливості геотермальної електроенергетики (обмежені значення верхніх температур циклів і висока мінералізація геотермальних теплоносіїв) дуже специфічні, тому на перших порах особливу увагу необхідно сконцентрувати на введенні в дію декількох дослідно-експериментальних ТЭС невеликої потужності для відробітку технології і устаткування. Так, обмежені значення верхніх температур термодинамічних циклів геотЭС призводять до необхідності використання спеціального устаткування, спеціальних робочих тіл і збільшення кількості низкопотенціальної теплоти. Висока мінералізація геотермальних теплоносіїв обумовлює необхідність використання корозійностійких матеріалів, а наявність розчинених в геотермальних водах газів (СО₂ і інших) - допоміжного устаткування, тобто систем газовиділення і утилізації відпрацьованого теплоносія, що призводить до значного збільшення витрат потужності на власні потреби (до 50 % і більш).

Використання геотермальної енергії для вироблення теплової і електричної енергії.

Пряме використання геотермальної енергії

Геотермальні станції у вулканічних районах базуються на родовищах пароводяної суміші, що добувається з природних підземних колекторів тріщин з глибини 0,5-3 км. Пароводяна суміш в середньому має міру сухості 0,2-0,5 і ентальпію 1500-2500 кДж/кг. В середньому одна експлуатаційна свердловина забезпечує електричну потужність 3-5 МВт, середня вартість буріння складає 900 доларів за метр.

Геотермальна електростанція з безпосереднім використанням природної пари. Найпростіша і доступніша геотермальна енергоустановка є паротурбінною установкою з протиподавленням.

Природна пара зі свердловини подається прямо в турбіну з наступним виходом в атмосферу або в пристрій, що уловлює цінні хімічні речовини. У турбіну з протипротиводавлением можна подавати вторинну пару або пару, що отримується з сепаратора. За цією схемою електростанція працює без конденсаторів, і відпадає необхідність в компресорі для видалення з конденсаторів газів, що не конденсуються. Ця установка найбільш проста, капітальні і експлуатаційні витрати на неї мінімальні. Вона займає невелику площу, майже не вимагає допоміжного устаткування і її легко пристосувати як переносну геотермальну електростанцію (рис. 5.2).

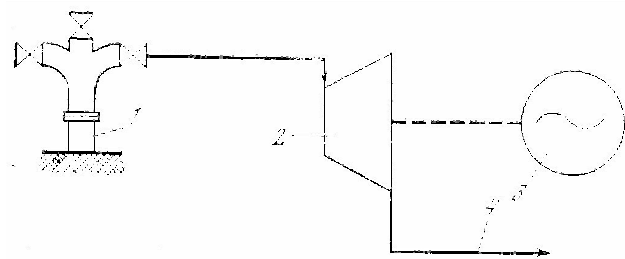


Рис. 5.2. Схема геотермальної електростанції з безпосереднім використанням природної пари : 1 - свердловина; 2 - турбіна; 3 - генератор; 4 - вихід в атмосферу або на хімічний завод.

Установки турбогенераторів з протипротиводавлением не перешкоджають промислому використанню хімічних речовин, що містяться в природному теплоносії. Так, наприклад, в природній парі деяких родовищ Італії знаходиться 150-700 міліграм/кг борної кислоти, і за допомогою подібних установок можна добувати цей цінний продукт одночасно з виробленням електроенергії.

Розглянута схема може стати найвигіднішою для тих районів, де є достатні запаси природної пари. Раціональна експлуатація забезпечує можливість ефективної роботи такої установки навіть при змінному дебіті свердловин.

У Італії працює декілька таких станцій. Одна з них - потужністю 4 тис. кВт при у діловій витраті пари близько 20 кг/сек, або 80 т пара в годину; інша - потужністю 16 тис. кВт, де встановлено чотири турбогенератори потужністю по 4 тис. кВт. Остання забезпечується паром від 7-8 свердловин.

У подібних схемах вимагається значна кількість пари, яка з великим успіхом може бути використана в турбінах конденсаційного типу.

Геотермальна електростанція з конденсаційною турбіною і прямим використанням природної пари - це найбільш сучасна схема для отримання електричної енергії.

Пара зі свердловини подається в турбіну. Відпрацьований в турбіні, він потрапляє в змішувачий конденсатор. Суміш води, що охолоджує, і конденсату вже відпрацьованої в турбіні пари випускається з конденсатора в підземний бак, звідки забирається циркуляційними насосами і прямує для охолодження в градирню. З градирни вода, що охолоджує, знову потрапляє в

конденсатор (рис. 5.3).

За такою схемою працює геотермальна електростанція Лардерелло, що використовує природну пару, найбільша в Італії. Вона була спроектована на початку другої світової війни, але вступила в лад тільки в потім-військові роки. На електростанції встановлено чотири турбогенератори потужністю по 26 тис. кВт і два турбогенератори по 9 тис. кВт. Останні призначені для покриття власних навантажень.

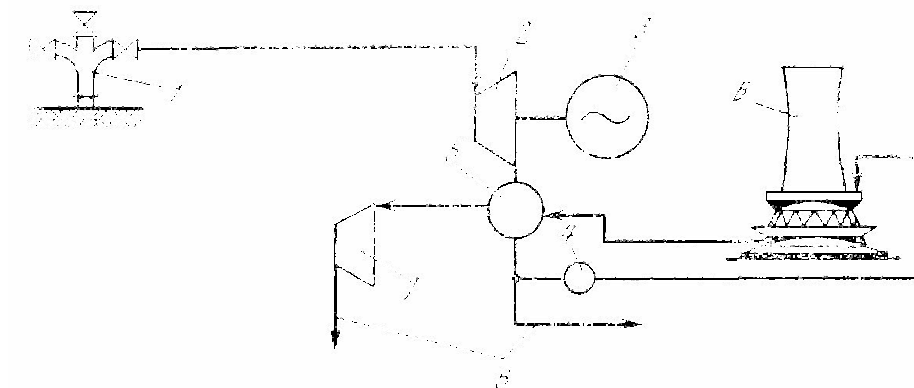


Рис. 5.3. Схема геотермальної електростанції з конденсаційною турбіною і прямим використанням природної пари : 1 - свердловина; 2 - турбіна; 3 - генератор; 4 - насос; 5 - конденсаційний конденсатор; 6 - градирня; 7 - компресор; 8 - скидання.

Жоден зі встановлених тут турбогенераторів протягом багатьох років не переводився в резерв. Коефіцієнт використання встановленої потужності складає 98%. Стабільна робота геотермальної електростанції Лардерелло- 3 відкрила шлях до конструювання нових електростанцій з використанням конденсаційних турбін. За такою схемою з деякими змінами працюють багато геотермальних електростанцій: Лардерелло- 2 (Італія), Вайракей (Нова Зеландія) та ін.

Завдяки технічним удосконаленням споживання пари на кожен кіловат потужності стало значно менше. Зараз витрата пари на новій електростанції Лаго (Італія) складає вже 8 кг/кВт-ч.

Геотермальні електростанції з бінарним циклом

Геотермальна електростанція з паропреобразователем. Конденсаційна турбіна з паропреобразователем працює на вторинній парі. Ці станції найбільш вигідні там, де природна пара має високу температуру і великий зміст газів. Схема електростанції наступна: природна пара зі свердловини поступає в паропреобразователь і своє тепло віддає вторинному теплоносію, після чого чиста вторинна пара прямує в конденсаційну турбіну. Відпрацьована пара йде в конденсаційний конденсатор. Газы, що не конденсуються, містяться в парі, відділяються в паропреобразователе і викидаються або в атмосферу,

або йдуть на хімічні заводи. Недоліком цієї схеми є зниження параметрів пари перед турбіною. В порівнянні з електростанціями, що безпосередньо використовують природну пару, питома витрата пари тут менше на 30%.

Геотермальна електростанція, що працює за цією схемою (рис. 5.4), дозволяє повністю використовувати усі хімічні речовини, що містяться в природній парі.

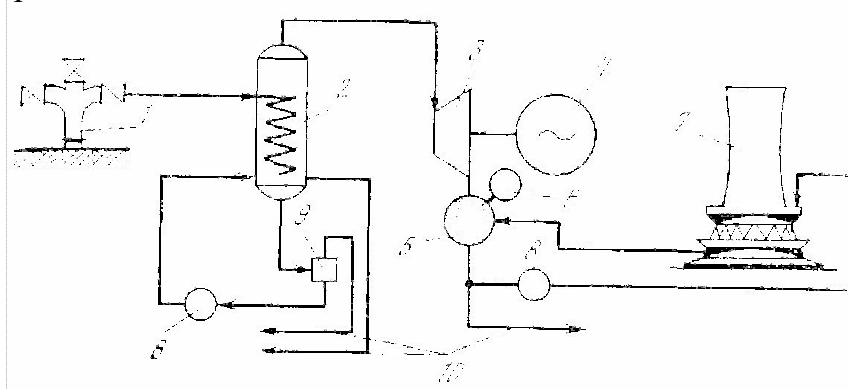


Рис. 5.4. Схема геотермальної електростанції з паропреобразователем: 1 - свердловина; 2 - паропреобразователь; 3 - турбіна; 4 - генератор; 5 - конденсатор; 6 - вакуумний насос; 7 - градирня; 8 - насос; 9 - дегазатор; 10 - скидання.

Досвід підтверджує, що вартість будівництва геотермальної електростанції з паропреобразователем трохи більше вартості електростанції з прямим використанням пари в конденсаційній турбіні. За схемою з паропреобразователем були побудовані електростанції Лардерелло- 2 і Кастельнуово (Італія). На станції Лардерелло- 2 встановлено 7 турбін потужністю по 11 тис. квт. Питома витрата пари на цій електростанції - 14 кг/квт.

Геотермальні електростанції з конденсаційною турбіною, що працюють на відсепарованій парі, будуються там, де зі свердловини отримують пару з великим вмістом води. Пара або пароводяна суміш зі свердловини прямує в спеціальний пристрій, розташований на свердловині. Під тиском в сепараторові відбувається розподіл пароводяної суміші на пару і воду. Відсепарована пара по трубопроводу прямує в турбіну і т. д.

Конденсаційні турбіни, що працюють на відсепарованій парі, знайшли застосування в будівництві геотермальних електростанцій в Росії (Паужетское родовище на Камчатці), Ісландії (родовище Хверагерди) і в інших країнах.

Розглянута схема має свої переваги. Отримана в сепараторе пара практично не містить газів, що полегшує роботу турбін.

Схема Паужетской ГеоТЭС

Нині проведені геологічні, геофізичні, гідрогеологіческие і інші дослідження тепло-аномальних районів Камчатки; виявлені великі ресурси термальних вод з високою температурою.

Для отримання електричної енергії за рахунок глибинного тепла Землі і будівництва досвідчено-промислової геотермальної станції гідрогеологічно-розвідники визнали найкращим районом долину річки Паужетки, розташовану на півдні Камчатки, в 35 км від узбережжя моря Охотського.

У 1957 р. почалося буріння розвідувальних свердловин. При бурінні на термальні води, особливо в зоні вулканічних проявів, застосовували глинистий розчин і, безперервно промиваючи, охолоджували ствол свердловини, що запобігло пароводяним викидам. Всього було пробурено 21 свердловину завглибшки від 220 до 480 м. Кожна в середньому давала близько 10 кг/сик пароводяній суміші з теплосодержанням 170 ккал/кг. Одна з них з глибини 250 м розкрила температуру 195 °З, інша з глибини 375 м - 200° С.

По хімічному складу Паужетские гідротерми належать до типу хлоридних натрієвих вод. Загальна мінералізація їх складає 1,0-3,4 г/л, температура на виході зі свердловин - 144-200 °З, тиск на гирлі свердловини - 2-4 атм, рН від 8,0 до 8,2. Термальні води містять підвищені кількості кремнекислоти (250 міліграм/л) і борної кислоти (150 міліграм/л). Пара насичена також газами: вуглекислим - 500 міліграм/кг, сірководнем - 25 міліграм/кг, аміаком - до 15 міліграма/кг та ін.

За попередніми даними, Паужетское геотермальне родовище дасть можливість отримувати 30-50 тис. кВт електричної потужності. Схема досвідчено-промислової станції, запропонована інститутом Теплоэлектропроект, представлена на рис 5.5.

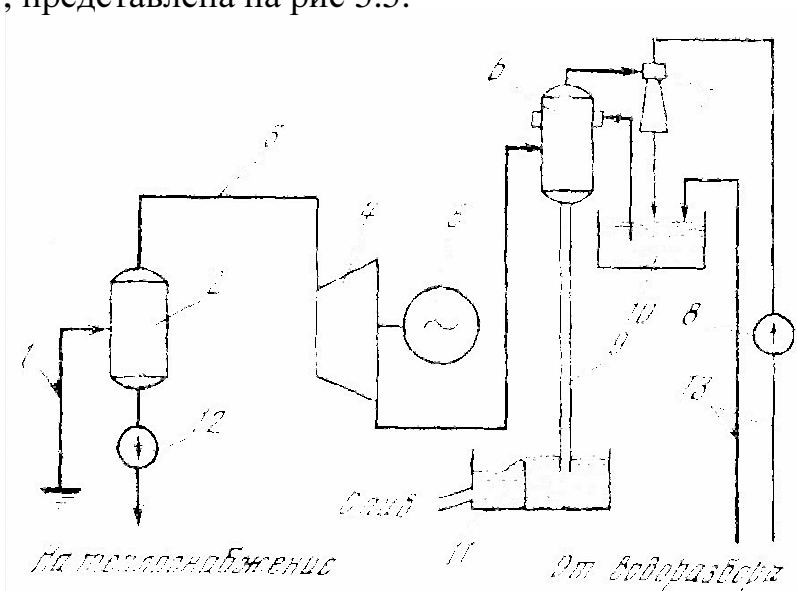


Рис. 5.5. Схема Паужетской досвідчено-промислової геотермальної електростанції : 1 - свердловина; 2 - сепаратор; 3 - паропровід; 4 - турбіна ; 5 - генератор; 6 - змішуючий конденсатор; 7 - водоструминний ежектор; 8 - ежекторний насос; 9 - барометрична труба; 10 - бак води, що охолоджує; 11 - зливний колодязь; 12 - насос гарячої води; 13 - трубопровід холодної води

Пароводяна суміш зі свердловини поступає в сепаратора (місткістю 10

м³, з навантаженням парового об'єму 600-800 м³/годину), розташованого на свердловині. Тут при тиску 1,5 атм відбувається розподіл пари і води. Відсепарована пара по паропроводу поступає до турбін. Гаряча вода з температурою 100-110 °Із скидається в річку, і тільки невелика частина її йде по трубах для опалювання і гарячого водопостачання житлових будівель селища і електростанції. На станції встановлені змішуючі конденсатори. Оскільки конденсат пари, що відпрацювала в турбінах, тут даремний, такі конденсатори компактніше і вимагають менше води, що охолоджує. Для видалення газів з конденсаторів встановлені водоструминні ежектори з витратою води 800-900 м³/години

На ній встановлено дві турбіни типу "МК-2,5" виробництва Калузького турбінного заводу потужністю по 2,5 тис. кВт кожна. Станція дає струм Озерновському селищу, рибокомбінату і довколишнім населеним пунктам.

Використання геотермальної енергії для теплопостачання житлових і виробничих будівель.

Вступ

Для опалювання і гарячого водопостачання житлових і виробничих будівель потрібна температура води не нижче 50-60° С.

Найбільш раціональне використання термальних вод може бути досягнуте при послідовній їх експлуатації: спочатку в опалюванні, а потім в гарячому водопостачанні. Але це представляє деякі труднощі, оскільки потреба в гарячій воді за часом роки відносно постійна, тоді як опалювання є сезонним, воно залежить від кліматичних умов району, температури зовнішнього повітря, пори року і доби.

Нині розроблені різні схеми використання термальних вод для опалювання і гарячого водопостачання житлових і промислових будівель.

Теплопостачання високотемпературною сильно мінералізованою термальною водою

Термальна вода має температуру вище 80° С, але сильно мінералізована. У цих умовах виникає необхідність в пристрої проміжних теплообмінників. Принципове рішення такої схеми показане на рис. 5.6.

Тут термальна вода зі свердловин розділяється на дві паралельні гілки: одна прямує в теплообмінник опалювання і потім в теплообмінник 1-го ступеня підігрівання води для гарячого водопостачання; друга - в теплообмінник 2-го ступеня.

Щоб уникнути заростання трубопроводу, термальну воду використовують з проміжним теплообмінником. Високомінералізовану воду зі свердловини подають в резервуар із змійовиками, по яких поступає прісна річкова вода. Нагріта прісна вода йде до споживача, а випадні з термальних

вод солі осідають в резервуарі і на зовнішніх поверхнях змієвика. Недоліком схеми з теплообмінником є скорочення потенціалу термальної води (на кінцеву різницю темпера-тур в теплообміннику), що спрацьовує.

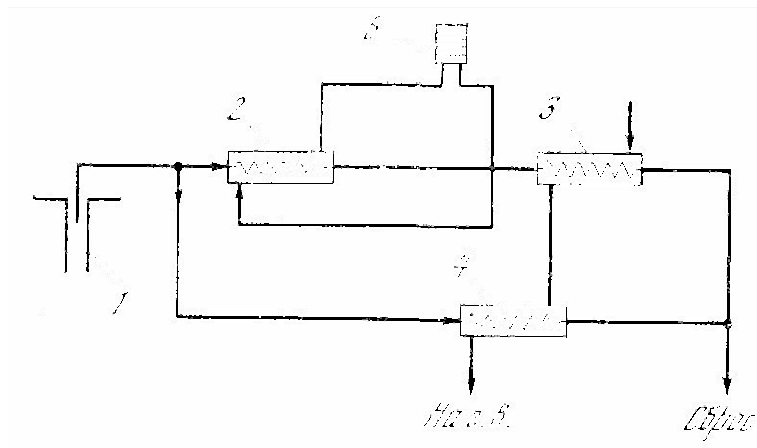


Рис. 5.6. Принципова схема геотермального тепlopостачання з теплообмінниками: 1 - свердловина; 2 - теплообмінник системи опалювання; 3 - теплообмінник гарячого водопостачання 1-го ступеня; 4 - те ж, 2-у ступеню; 5 - система опалювання.

Вищеописана схема дуже застосовна для Закарпаття. Термальна вода на курорті "Берегово" використовувалася тільки в бальнеологічних цілях. Глибокі свердловини розкрили високотермальну воду, і з'явилася можливість опалювати нею житлові і виробничі будівлі, теплично-парникові господарства. Для цього вода з температурою 78°C зі свердловин поступає в теплообмінник типу "труба в трубі", який віддає частину тепла прісній воді. Потім прісна вода прямує по трубах в житлові і виробничі будівлі для гарячого водопостачання, технологічних потреб, в теплиці, де вирощують в рік два урожаї овочів. Охолоджена в теплообміннику до температури $37-38^{\circ}\text{C}$ з термальна вода подається у ванни і душі бальнеолечебниці.

Тепlopостачання низькотемпературною маломінералізованою термальною водою

Термальна вода маломінералізована, але з низьким тепловим потенціалом (температура нижче 80°C). Тут вимагається підвищення потенціалу термальної води. Здійснити це можна різними методами, приведемо основні з них:

- а) подача термальної води паралельно на опалювання і гаряче водопостачання і піковий догріває опалювальної води;
- б) бессливная система геотермального тепlopостачання ;
- в) застосування теплових насосів;

г) поєднане застосування теплових насосів і пікового догрєва.

За схемою (а) термальна вода зі свердловин поступає в систему горячєводоснабжєния і паралельно в пікову котельню. Тут вона догрєває до температури, відповідної метеорологічним умовам, і подається в системи опалювання (рис. 5.7). Ця схема особливо доцільна для районів з дорогим бурінням, оскільки пікова котельня дозволяє скоротити число свердловин.

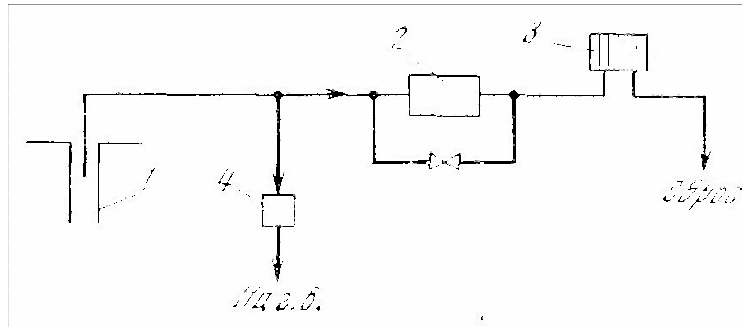


Рис. 5.7. Принципова схема геотермального теплопостачання з паралельною подачею геотермальної води на опалювання і гаряче водопостачання і піковим догрєвом води на опалювання: 1 - свердловина; 2 - піковий догрєватель; 3 - система опалювання; 4 - бак-акумулятор.

Схема (б) представляє складніший варіант попередньої схеми. Тут термальна вода, що поступає зі свердловин, нагрєвається до температури 160-200 °С, що обумовлюється кліматичними умовами і дозволяє досягти рівності води в теплових мережах і системах гарячого водопостачання.

На рис. 5.8 приведена принципова схема такої установки. Зі свердловини 0 термальна вода поступає в котельню 8, потім, пройшовши через дєгазатор 7 і хімводоочистку 2, подається в нагрєвач 5. Перегрєта вода прямує в житлові будинки. Абонентське введєння кожного будинку обладнанє змішувачем 4, в якому мережева вода змішується з відпрацьованою водою з системи опалювання. Суміш необхідної температури послїдовно проходить систему опалювання 5, а потім повністю витрачається в системі гарячого водопостачання 6. Передбачєна можливість скидання відпрацьованої води з системи опалювання в каналізацію, а також установка бака-акумулятора 7 для одного або групи будівель.

З підвищенням температури зовнішнього повітря витрата води на введєнні залишається постійною, частина води поступає в систему гарячого водопостачання, минувши систему опалювання по спеціальній перемичці. При цьому за допомогою терморєгулятора підтримується однакова температура води в системі гарячого водопостачання протягом усього опалювального сезону.

У літній період термальна вода подається на гаряче водопостачання, минувши підігрєвач, по обвідному трубопроводу в котельній.

Здійснення такої схеми дозволяє повніше використовувати тепло термальній воді, скоротивши до мінімуму число свердловин, зменшити діаметр теплових мереж і їх протяжність, понизити металеємність систем опалювання. Проте в такій системі пікова котельня перетворюється по суті на базисний генератор тепла для опалювання, який працює увесь опалювальний сезон. Звідси велика встановлена потужність котлової і велика витрата палива. Існує думка, що температура догрева не повинна перевищувати 100 °З із-за небезпеки виникнення корозії і накипу. У такому разі розподільні мережі рекомендується виконувати двотрубними. Це додатковий чинник, що знижує ефективність системи.

Усе сказане примушує критично відноситися до цієї схеми і вибір її обґрунтовувати ретельним економічним розрахунком у кожному конкретному випадку.

Схема (в) передбачає утилізацію тепла низькотемпературних термальних джерел за допомогою теплового насоса. На рис. 5.9 показана типова схема тепlopостачання з компресійним тепловим насосом.

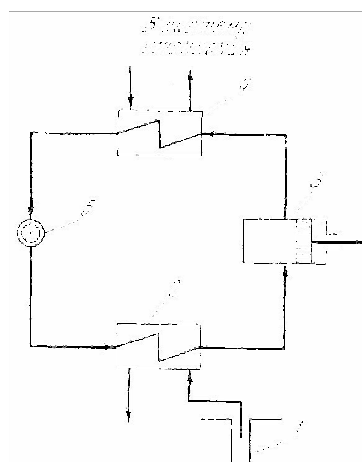


Рис. 5.9. Принципова схема геотермального тепlopостачання із застосуванням теплового насоса: 1 - свердловина; 2 - випарник; 3 - компресор; 4 - конденсатор; 5 - регулюючий вентиль.

Гаряча вода зі свердловин 1 подається до випарника теплового насоса 2, де відбувається передача її тепла робочій речовині, що швидко випаровується. Пари, що утворюються, стискаються компресором 3 і прямують в конденсатор 4, де конденсуються при вищому тиску, віддаючи тепло воді, циркулюючій в системі опалювання. Охолоджена вода скидається в каналізацію. Ефективність схеми підвищується при роботі теплового насоса літом в режимі холодильної машини. В цілях повнішого спрацьовування тепла термальній воді була запропонована складніша модифікація цієї схеми з тепловими насосами.

Схема (г) - комплексна система тепlopостачання з трансформацією тепла скидної води у поєднанні з піковим її підігріванням і якісним регулюванням (рис. 5.10).

Вода з джерела 1, пройшовши очищення 2, перекачується насосною

станцією 3 у кількості Q_a по однотрубному теплопроводу 4 і поступає до споживачів з температурою t_a . Один потік води Q_1 догріває в піковій котельній 5 до температури t_n і поступає в змішувач 7, де до нього підмішується відпрацьована вода, заздалегідь підігріта в конденсаторах теплового насоса 8 до температури t_g .

Відпрацьована вода з температурою t_0 після системи опалювання 6 розгалужується на три потоки. Одна частина Q_3 поступає в конденсатори теплового насоса 8 і змішувач 7. Друга частина її прямує у випарники теплового насоса 9, де вона охолоджується до температури t_x і скидається. Третя частина прямує в змішувач 12, з якого вода з температурою t_r у кількості Q_r поступає в бак-акумулятор 11 і систему гарячого водопостачання 10.

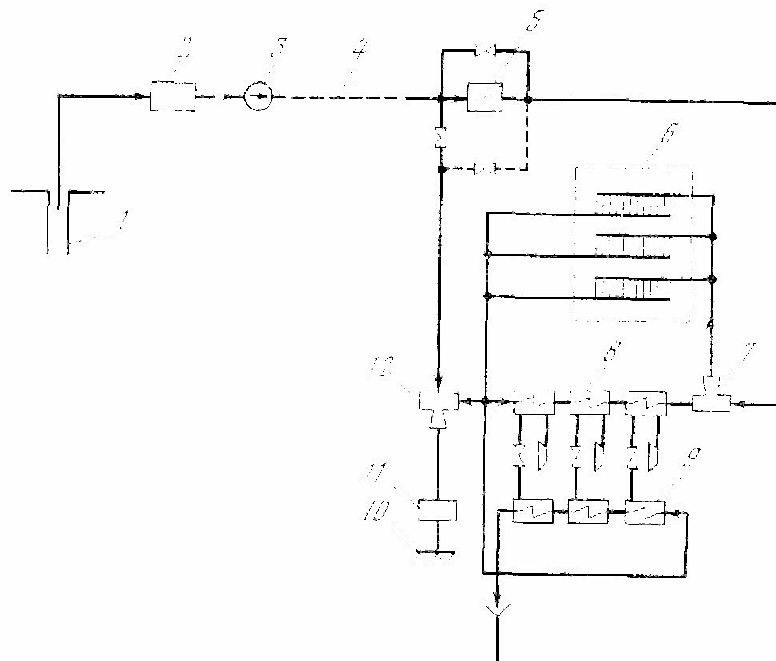


Рис. 5.10. Схема комплексного геотермального теплопостачання із застосуванням пікового догріву і теплових насосів : 1 - свердловина; 2 - водоочистка; 3 - насосна станція; 4 - транзитний теплопровід; 5 - піковий догрівач; 6 - система опалювання; 7 і 12 - змішувачі; 8 - конденсатори; 9 - випарники; 10 - система гарячого водопостачання; 11 - бак-акумулятор.

Другий потік води джерела Q_2 через вентиль V_1 поступає в змішувач 12 і мережа гарячого водопостачання. Якщо температура геотермальної води нижча за температуру t_r , то вода догріває до t_r в котельній 5 і через вентиль V_2 поступає в систему гарячого водопостачання у кількості Q_r .

З метою підвищення опалювального коефіцієнта і забезпечення гнучкішого регулювання теплонасосні агрегати включаються в систему теплопостачання за послідовно-протічнійною схемою так, щоб нагрів води в конденсаторі 8 і охолодження води, що скидається, у випарниках 9 здійснювалося в декілька східців.

Із зміною температури зовнішнього повітря якісне регулювання здійснюється пікової котельній, тоді як теплопроизводительность теплового насоса і споживання води зі свердловин залишаються незмінними. Після відключення пікової котельної якісне регулювання здійснюється тепловим насосом. Це забезпечує рівномірний річний графік споживання води зі свердловин.

У цій системі доля використання тепла геотермальної води тим більше, чим нижче розрахункова температура в системах опалювання. Тому тут доцільне застосування конвекторною або панельною систем опалювання, де розрахункова температура 40-45° С.

Порівняння цієї системи з бессливной показує, що питома витрата геотермальної води в схемі з термотрансформаторами майже в два рази перевищує такий в бессливной системі, між тим коефіцієнт ефективності виявляється більше. Сумарна доля теплоиспользующих установок в річному тепловому балансі мінімальна. Ця обставина створює передумови для застосування цієї схеми в районах, де витрати на перевезення палива можуть перевищити витрати на буріння великого числа свердловин.

Тема 6. Енергетичні ресурси океану

Енергетичні ресурси океану.

Баланс поновлюваної енергії океану.

Основи перетворення енергії хвиль.

Перетворювачі енергії хвиль : хвилі, що відстежують профіль, використовують енергію водяного стовпа, що коливається, підводні пристрої.

Використання енергії приливів і морських течій.

Загальні відомості про використання енергії приливів.

Потужність приливних течій і приливного підйому води.

Використання енергії океанських течій.

Загальна характеристика технічних рішень.

Перетворення теплової енергії океану.

Ресурси теплової енергії океану.

Схема ОТЕС, що працює по замкнутому циклу.

Схема ОТЕС, що працює по відкритому циклу.

Використання перепаду температур океан-атмосфера.

Пряме перетворення теплової енергії.

Енергетичні ресурси океану

Баланс поновлюваної енергії океану

Основна доля енергії, що поступає у Світовий океан, - результат поглинання ним сонячного випромінювання. Енергія поступає в океан також в результаті гравітаційної взаємодії космічних тіл і водних мас планети, що створює приливи, і вступу тепла з глибини планети. Поверхня Світового океану займає близько 70 % поверхні усієї планети і складає приблизно 360 млн. км². Велика частина цієї поверхні постійно вільна від льоду і добре поглинає сонячне випромінювання. У океанській воді приблизно 65 % сонячного випромінювання поглинається першим метром водної товщі і до 90 % - десятиметровим шаром. У денний час в низьких широтах вода прогрівається приблизно на 10 м і більш за рахунок процесів теплопровідності і турбулентного перемішування (тверда поверхня суші прогрівається не більше ніж на 0,5 м).

Запасене океаном тепло частково у вигляді довгохвильового випромінювання ($\lambda > 10$ мкм) переизлучається, а частково передається в атмосферу теплопровідним пограничним шаром і внаслідок випару. Відносна роль цих процесів різна для різних районів планети, але на широтах від 70° с.ш. до 70° ю.ш. характеризується приблизно однаковими значеннями: довгохвильове випромінювання в атмосферу і космічний простір 41 %; передача тепла атмосфері за рахунок теплопровідності 5 %; втрат на випар 54 %.

За рахунок руху повітряних і водних мас запасена океаном енергія переноситься по усій планеті, причому в області між екватором і 70° с. ш. в середньому 40 % тепла переноситься океанськими течіями, а на 20° с. ш. вклад океану в перенесення енергії складає до 74%. Щорічно з поверхні океану випаровується шар води завтовшки приблизно 1 м (близько 340·10¹² т) і близько 36·10¹² т води повертається із стоком річок, льодовиків і тому подібне

Приблизно 2/3 сумарні сонячні випромінювання випробовують в океані і на поверхні суші різні зміни: перетворюються в тепло 43 %; витрачаються на випар, утворення опадів 22 %; повідомлення енергії річок, вітру, хвилям, різним видам течій в океані 0,2 %. Приблизно 0,02 % усій енергії сприйнятого сонячного випромінювання йде на утворення продукції фотосинтезу і частково на утворення викопного палива.

Порівняємо з цією величиною сумарний потік енергії, що поступає з надр Землі і у вигляді приливної енергії. Виділити з вказаних потоків ті, що безпосередньо мають відношення тільки до океану, досить важко. Для енергетики важливі не абсолютні величини потужностей різних джерел, а лише та їх частина, яку можна перетворити в потрібні для господарської діяльності види енергії.

Співробітниками океанографічного інституту Скриппса (США) виконані оцінки сумарних і допустимих для переробки потужностей різних океанічних джерел енергії за п'ять років - з 1977 по 1982 р.. Відповідні дані приведені на діаграмах рис. 6.1, на яких відмічено два рівні - сумарний і допускаючий перетворення (заштрихований). Пізніші оцінки зроблені з урахуванням цілого ряду технологічних і екологічних чинників. Вони, як правило, в частині допустимої до використання енергії виявилися нижче.

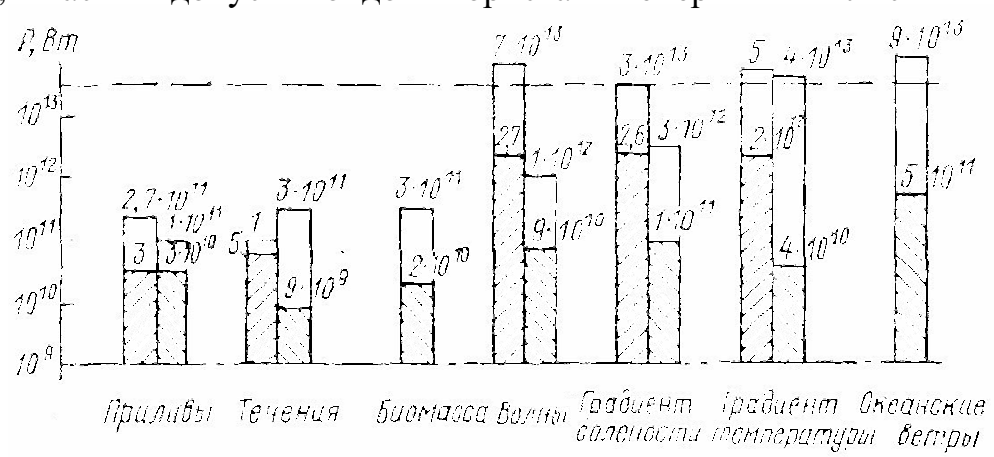


Рис. 6.1. Розподіл океанських джерел енергії по потужності (праві стовпці - за оцінками 1977 р., ліві - за оцінками 1982 р.).

При оцінці можливостей приливної енергетики враховано, що працювати на повну потужність ПЭС можуть тільки протягом 30 % часу. Дані по океанських течіях отримані з урахуванням 1 % допустимого уповільнення швидкості течії. При оцінці можливостей енергетичного

використання продукції океанського фотосинтезу взяті до уваги 50 % ефективності перетворення бурих водоростей в метан і можливість розміщення відповідних ферм в 20 % районів природного апвелінга. Апвелінг - підйом глибинних вод, багатих біогенними речовинами, що грають роль добрив. Для прибережних хвильових генераторів встановлені ККД 50 % і час роботи 40 % річного бюджету часу. ККД перетворення градієнта солоності прийнятий рівним 3%, а градієнта температур - 5 %, причому в останньому випадку вважається реальним розмістити перетворювачі на 2 % поверхні океану в тропічній зоні. Для вітрових станцій коефіцієнт перетворення енергії вітру прийнятий рівним 60%, і допустимим рівнем вилучення потужності вважають 1 % потужності вітрів, що дмуть на видаленні від берега.

Важливі і такі "технологічні" властивості океанських ресурсів енергії, як щільність енергії і стабільність джерела енергії. Ці властивості визначають розміри майбутніх перетворювачів, необхідні встановлені потужності, режими використання енергії.

Основи перетворення енергії хвиль

Величезні кількості енергії можна отримати від морських хвиль. Потужність, переносима хвилями на глибокій воді, пропорційна квадрату їх амплітуди і періоду. Тому найбільший інтерес представляють довгоперіодні ($T \approx 10$ с) хвилі великої амплітуди ($a \approx 2$ м), довжини гребеня, що дозволяють знімати з одиниці, в середньому від 50 до 70 кВт/м

Найбільше число хвильових енергетичних пристроїв розробляється для витягання енергії з хвиль на глибокій воді. Це найбільш загальний тип хвиль, існуючий за умови, що середня глибина моря D перевищує величину половини довжини хвилі $\lambda / 2$.

Поверхневі хвилі на глибокій воді мають наступні основні характерні особливості:

- хвилі є незрушуваними синусоїдальними з нерегулярною довжиною, фазою і напрямом приходу;
- рух кожної частки рідини в хвилі є круговим (тоді як контури хвиль, що змінюються, свідчать про поширення хвильового руху, самі по собі частки не пов'язані з цим рухом і не переміщуються в його напрямі);
- амплітуда руху часток рідини експоненціально зменшується з глибиною.
- істотно, що амплітуда хвилі a не залежить від її довжини λ , швидкості поширення c , періоду T , а залежить лише від характеру передуючої взаємодії вітру з морською поверхнею.

У хвилях на глибокій воді немає поступальної ходи рідини. У підповерхневому шарі рідини її частки здійснюють круговий рух з радіусом

орбіти a , рівним амплітуді хвилі (рис. 6.2). Висота хвилі H від вершини гребеня до основи дорівнює її подвоєній амплітуді ($H = 2a$).

Кутова швидкість руху часток ω вимірюється в радіанах в секунду. Зміна форми хвильової поверхні таке, що спостерігається поступальна хода, хоча сама вода не переміщається у напрямі поширення хвилі (зліва направо). Це уявне переміщення є результат спостереження фаз зміщення послідовно розташованих часток рідини; як тільки одна частка в гребені опускається, інша займає її місце, забезпечуючи збереження форми гребеня і поширення хвильового руху вперед.

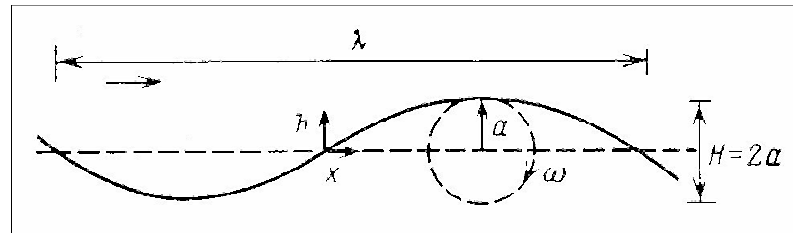


Рис. 6.2. Характеристики хвилі.

Співвідношення, що встановлює залежність між частотою і завдовжки для поверхневої хвилі на глибокій воді

$$\lambda = \frac{2\pi g}{\omega^2} \quad (6.1)$$

Період руху хвилі

$$T = \frac{2\pi}{\omega} = \frac{2\pi}{\sqrt{\frac{2\pi g}{\lambda}}} = \sqrt{\frac{2\pi\lambda}{g}} \quad (6.2)$$

Швидкість частки рідини в гребені хвилі

$$v = a\omega = a\sqrt{\frac{2\pi g}{\lambda}} \quad (6.3)$$

Швидкість переміщення поверхні хвилі у напрямі x визначиться як

$$c = \frac{\omega\lambda}{2\pi} = \frac{n}{\omega} = g\sqrt{\frac{\lambda}{2\pi g}} = \sqrt{\frac{g\lambda}{2\pi}} \quad (6.4)$$

Швидкість c називають фазовою швидкістю поширення хвиль, що створюються на поверхні рідини. Ця величина не залежить від амплітуди хвилі і неявним чином пов'язана із швидкістю руху часток рідини в хвилі.

Повна кінетична енергія на одиницю ширини хвильового фронту і

одиночку довжини уздовж напрямку поширення хвилі рівна

$$E_k = \frac{\rho a^2 g}{4} \quad (6.5)$$

Нормована потенційна енергія хвилі дорівнює в точності такій же величині

$$E_p = \frac{\rho a^2 g}{4} \quad (6.6)$$

Повна енергія на одиницю площі поверхні хвилі дорівнює сумі кінетичною і потенційною енергій.

$$E = E_k + E_p = \frac{\rho a^2 g}{2} \quad (6.7)$$

Виразення для енергії на одиницю ширини хвильового фронту і на одиницю довжини хвилі уздовж напрямку його поширення запишеться у виді

$$E_\lambda = E\lambda = \frac{\rho a^2 g \lambda}{2} \quad (6.8)$$

Підставимо λ з (1)

$$E_\lambda = \frac{\pi \rho a^2 g^2}{\omega^2}, \quad (6.9)$$

Що з обліком (2)

$$E_\lambda = \frac{\rho a^2 g^2 T^2}{4\pi}. \quad (6.10)$$

Виразення для потужності, переносимої у напрямі поширення хвилі на одиницю ширини хвильового фронту, має вигляд

$$P' = \frac{\rho g a^2 c}{4} = \frac{\rho g a^2 \lambda}{4T} \quad (6.11)$$

З обліком (7) і (11) потужність P' дорівнює повній енергії (кінетична + потенційна) E в хвилі на одиницю площі поверхні, помноженої на величину $u = z/2$, - групову швидкість хвиль на глибокій воді, з якої хвилі переносять енергію. З урахуванням вираження для групової швидкості

$$P' = Eu = E \frac{c}{2} \quad (6.12)$$

Відмінність між груповою і хвильовою (фазовою) швидкостями є загальним для будь-яких хвильових процесів, для яких фазова швидкість залежить від довжини хвилі (дисперсія).

Підставляючи в (11) фазову швидкість у виді (4), отримуємо співвідношення

$$P' = \frac{\rho g^2 a^2 T}{8\pi}$$

Отже, потужність, переносима хвилями, збільшується прямо пропорційно квадрату амплітуди і періоду. Саме тому для фахівців з океанської енергетики особливо привабливі довгоперіодні хвилі, що мають значну амплітуду.

На практиці хвилі виявляються зовсім не такими синусоїдальними, що ідеалізується, як це малювалося на увазі вище. Зазвичай в морі спостерігаються нерегулярні хвилі із змінною частотою, напрямом і амплітудою. Оскільки результуюче хвилювання найчастіше не можна представити сумою хвиль, діючих в одному напрямі, то потужність, витягвана перетворювачами спрямованої дії, буде значно нижчою за ту, яку переносять хвилі.

Перетворювачі енергії хвиль

Перетворювачі, що відстежують профіль хвилі

У цьому класі перетворювачів зупинимося в першу чергу на розробці професора Едінбурзького університету Стефана Солтера, названій на честь творця "качка Солтера". Технічна назва такого перетворювача - крило, що коливається. Форма перетворювача забезпечує максимальне витягання потужності (рис. 6.3).

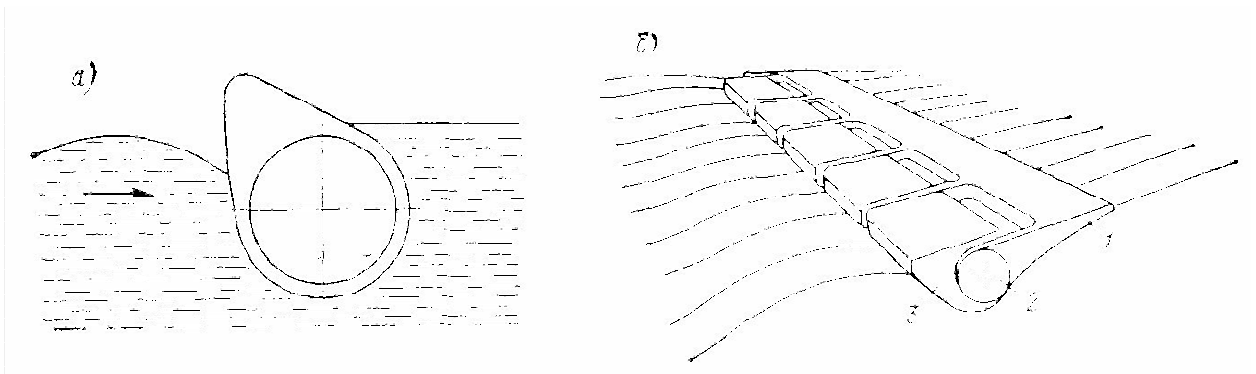


Рис. 6.3 "Качка Солтера" : а - схема перетворення енергії хвилі; б - варіант конструкції перетворювача ; 1 - плавуча платформа; 2 - циліндрична опора з розміщеними в ній приводами і електрогенераторами; 3 - асиметричний поплавець.

Хвилі, що поступають ліворуч, примушують качку коливатися. Циліндрична форма протилежної поверхні забезпечує відсутність поширення хвилі направо при коливаннях качки навколо осі. Потужність може бути знята з осі коливальної системи з таким розрахунком, щоб забезпечити мінімум віддзеркалення енергії. Відбиваючи і пропускаючи лише незначну

частину енергії хвиль (приблизно 5%), цей пристрій має дуже високу ефективність перетворення в широкому діапазоні частот збуджуючих коливань (рис. 6.4).

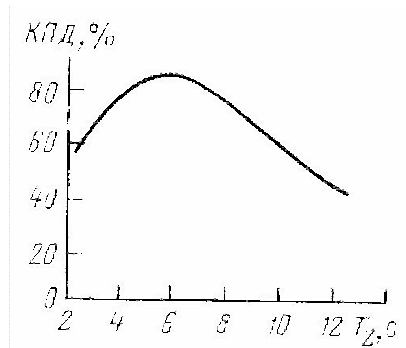


Рис. 6.4. Ефективність "качки Солтера" (діаметр 15 м, вісь зафіксована).

Спочатку Солтером був створений макет досить вузькосмугового по частоті пристрою. У хвильовому басейні воно поглинало до 90 % енергії, що падала. Перші випробування в умовах, близьких до морських, були проведені в травні 1977 р. на оз. Лох-Несс. 50-метрова гірлянда з 20-метрових "качок" загальною масою 16 т була спущена на воду і випробовувалася протягом 4 місяців за різних хвильових умов. У грудні того ж року ця модель в 1/10 майбутньої величини океанського перетворювача була знову спущена на воду і дала перший струм. Протягом 3 мес одного з найсуворіших зимових періодів модель першої англійської хвильової електростанції працювала з ККД близько 50 %.

Подальші розробки Солтера спрямовані на те, щоб забезпечити качці здатність протистояти ударам максимальних хвиль і створити заякорену гірлянду перетворювачів у вигляді досить гнучкої лінії. Передбачається, що характерний розмір реальної качки буде рівний пример-но0, 1λ , що для 100-метрових атлантичних хвиль відповідає 10 м. Нитка з качок протяжністю декілька кілометрів передбачається встановити в районі з найбільш інтенсивним хвилюванням на захід від островів Гебридських. Потужність усієї станції буде приблизно 100 МВт.

Найбільш серйозними недоліками для "качок Солтера" виявилися наступні:

- необхідність передачі повільного коливального руху на привід генератора;
- необхідність зняття потужності з плаваючого на значній глибині пристрою великої протяжності;
- внаслідок високої чутливості системи до напрямку хвиль необхідність відстежувати зміну їх напрямку для отримання високого ККД перетворення;

– утруднення при зборці і монтажі із-за складність форми поверхні "качки".

Інший варіант хвильового перетворювача з елементом, що коливається, - контурний пліт Коккерелла. Його модель також в 1/10 величин випробовувалася в тому ж, що і "качка Солтера", року в протоці Солент поблизу р. Саутгемптона. Контурний пліт - багатоланкова система з шарнірно сполучених секцій (рис. 6.5). Як і "качка", він встановлюється перпендикулярно до фронту хвилі і відстежує її профіль.

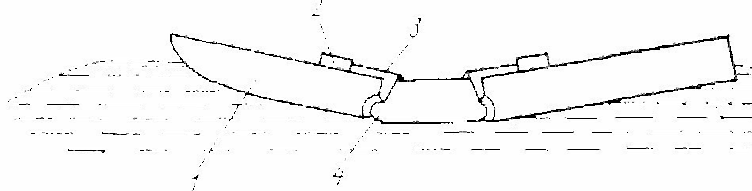


Рис. 6.5. Варіант виконання контурного плоту Коккерелла : 1 - секція, що коливається; 2 - перетворювач; 3 - тяга; 4 - шарнір.

Детальні лабораторні випробування моделі плоту в масштабі 1/100 показали, що його ефективність складає близько 45 %. Це нижче, ніж у "качки" Солтера (але пліт притягає іншою гідністю: близькість конструкції до традиційних суднобудівельних). Виготовлення таких плотів не зажадає створення нових промислових підприємств і дозволить підняти зайнятість в суднобудівельній промисловості.

Перетворювачі, що використовують енергію водяного стовпа, що коливається

При набіганні хвилі на частково занурену порожнину, відкриту під водою, стовп рідини в порожнині коливається, викликаючи зміни тиску в газі над рідиною. Порожнина може бути пов'язана з атмосферою через турбіну. Потік може регулюватися так, щоб проходити через турбіну в одному напрямі, або може бути використана турбіна Уелса. Вже відомі принаймні два приклади комерційного використання пристроїв на цьому принципі - сигнальні буї, впроваджені в Японії Масудой (рис. 6.6) і у Великобританії співробітниками Королівського університету Белфаста. Більший і уперше включений в енергомережу пристрій побудований в Тофтестоллене (Норвегія) фірмою Kvaerner Brug A/S. Основний принцип дії стовпа, що коливається, показаний на рис. 6.7. У Тофтестоллене він використовується в 500-кіловатній установці, побудованій на краю прямовисної скелі. Крім того, національна електрична лабораторія (NEL) Великобританії пропонує конструкцію, що встановлюється безпосередньо на морському дні.

Головна перевага пристроїв на принципі водяного стовпа, що коливається, полягає в тому, що швидкість повітря перед турбіною може бути значно збільшена за рахунок зменшення прохідного перерізу каналу. Це дозволяє поєднувати повільний хвильовий рух з високочастотним обертанням турбіни. Крім того, тут створюється можливість видалити генеруючий пристрій із зони безпосередньої дії солоної морської води.

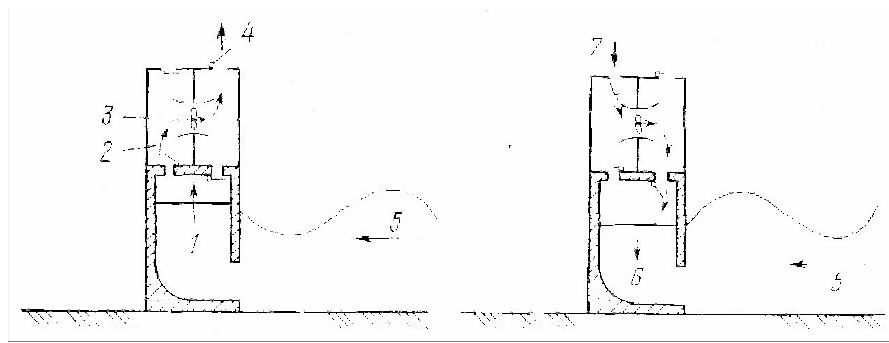


Рис. 6.6. Схема установки, в якій використовується принцип водного стовпа (розроблена Національною інженерною лабораторією NEL, Великобританія, розміщується безпосередньо на ґрунті, турбіна приводиться в дію потоком одного напрямку), що коливається, : 1 - хвиливий підйом рівня; 2 - повітряний потік; 3 - турбіна; 4 - випуск повітря; 5 - напрям хвилі; 6 - опускання рівня; 7 - впускання повітря.

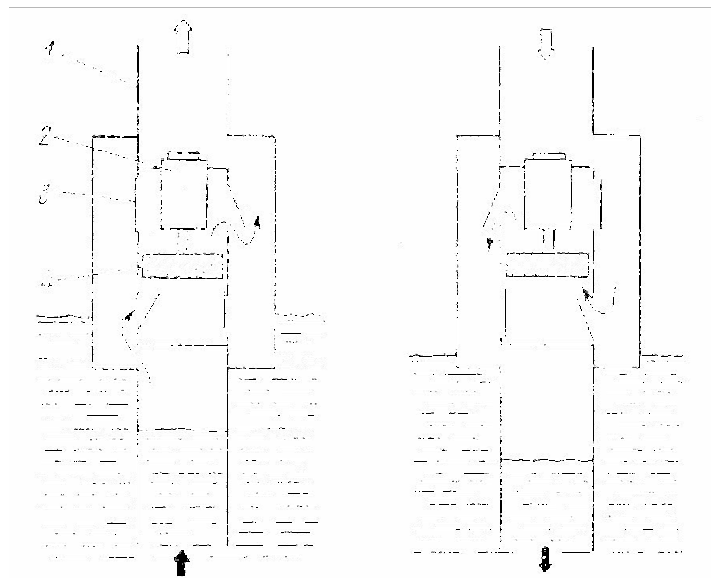


Рис. 6.7. Пневмобуй Масуди : 1 - корпус; 2 - електрогенератор; 3 - клапан; 4 - повітряна турбіна.

Підводні пристрої

Переваги підводних пристроїв полягають в тому, що ці пристрої дозволяють уникнути штормової дії перетворювачі. Проте при їх використанні збільшуються труднощі, пов'язані з витяганням енергії і обслуговуванням.

Для прикладу можна розглянути перетворювач типу "бристольський циліндр", що відноситься до групи пристроїв, що працюють під дією швидкісного натиску в хвилі. Наповнений повітрям плавучий корпус (циліндр), що має середню щільність 0,6-0,8 т/м³, закріплений під водою на опорах, встановлених на ґрунті. Циліндр коливається в хвилі, здійснюючи рух по еліптичній траєкторії і приводячи в дію гідравлічні насоси, вмонтовані

в опори і рухи циліндра, що перетворюють енергію. Перекачувана ними рідина може подаватися по трубопроводах на генераторну станцію, єдину для декількох циліндрів.

Одна з переваг ідеї "брисольського циліндра" те, що після налаштування на оптимальну частоту він не відбиває енергію інших частот, а дає їй можливість поширюватися далі, де її можуть поглинути інші перетворювачі, наприклад циліндри з іншою частотою.

Використання енергії приливів і морських течій

Загальні відомості про використання енергії приливів

Приливні коливання рівня у величезних океанах планети цілком передбачувані. Основні періоди цих коливань - добові тривалістю близько 24 ч і півдобові - близько 12 ч 25 хв. Різниця рівнів між послідовними найвищим і найнижчим рівнями води - висота приливу R . Діапазон зміни цієї величини складає 0,5-10 м. Перша цифра найбільш характерна, друга досягається і навіть превосходиться лише в деяких особливих місцях поблизу узбережжя континентів. Під час приливів і відливів переміщення водних мас утворює приливні течії, швидкість яких в прибережних протоках і між островами може досягати приблизно 5 м/с.

Підняту на максимальну висоту під час приливу воду можна відокремити від моря греблею або греблею в басейні площею A . Місця з великими висотами приливів мають великі потенціали приливної енергії. Проте не лише цей чинник важливий для розвитку приливної енергетики: потрібно брати до уваги і капітальні витрати, і майбутній прибуток від створення відповідних приливних електростанцій (ПЭС).

Енергія приливних течій може бути перетворена подібно до того, як це робиться з енергією вітру. Перетворення енергії приливів використовувалося для приведення в дію порівняно малопотужних пристроїв ще в середньовічній Англії і в Китаї. З сучасних ПЭС найкраще відомі великомасштабна електростанція Ранс потужністю 240 МВт, розташована в естуарії річки Ла Ранс, що впадає в затоку Сіна Мало (Бретань, Франція), і невелика дослідна станція потужністю 400 кВт в Кислій губі на узбережжі Баренцового моря (Росія). З місць, які давно приковують увагу гідробудівельників, слід назвати естуарій річки Северн у Великобританії і заливши Фанди на східному узбережжі Північної Америки на межі між США і Канадою.

Висота, хід і періодичність приливів в більшості прибережних районів добре описані і проаналізовані завдяки потребам навігації і океанографії. Поведінка приливів може бути передбачена досить точно, з погрішністю менше 4%. Таким чином, приливна енергія виявляється дуже надійною формою поновлюваної енергії.

При її перетворенні виникають і певні незручності:

— неспівпадання основних періодів виникнення приливів (12 ч 25 мін і 24 ч 50 мін), пов'язаних з рухом місяця, із звичним для людини періодом сонячної доби (24 ч), у зв'язку з чим оптимум приливної генерації знаходиться не у фазі з потребами в енергії;

— зміна висоти приливу і потужності приливної течії з періодом в два тижні, що призводить до коливань вироблення енергії;

— необхідність створення потоків води з великою витратою при порівняно малому перепаді висот, що примушує використовувати велике число турбін, що працюють паралельно;

— дуже високі капітальні витрати на спорудження більшості передбачуваних ПЭС;

— потенційні екологічні порушення і зміна режимів естуариев і морських районів.

Потужність приливних течій і приливно-го підйому води

Поблизу узбережжя і між островами приливи можуть створювати досить сильні течії, придатні для перетворення енергії. Пристрою для перетворення енергії приливних течій будуть практично схожі з аналогічними пристроями, що приводяться в дію течіями річок.

Співвідношення, що дозволяють оцінити потужність приливних течій, подібні до тих, які використовуються у вітроенергетиці, при цьому слід мати на увазі, що щільність води у багато разів вище за щільність повітря, а швидкості течії води порівняно низькі.

Щільність потужності потоку води, Вт/м², рівна

$$q = \rho \frac{V^3}{2} \quad (6.13)$$

У разі приливної або річкової течії при швидкості, наприклад, 3 м/з □ Вт/м². Тільки частина повної енергії потоку може бути перетворена в корисну. Як і для вітру, це значення η не може перевищувати 60%. На практиці виявляється, що η можна довести максимум до 40%.

Швидкості приливних течій змінюються в часі приблизно як

$$V = V_0 \sin \frac{2\pi t}{\tau} \quad (6.14)$$

де τ - період природного приливу, 12 ч 25 мін для півдобового; V₀ - максимальна швидкість течії, м/с.

Таким чином, електрична потужність, що знімається з 1 м² площі поперечного перерізу потоку (з урахуванням 40% -ної ефективності перетворення енергії потоку в електричну), в середньому дорівнює

$$\bar{q} \approx 0,1\rho V^3 \quad (6.15)$$

При максимальній швидкості близько 5 м/з, що зустрічається в протоках між островами, $\bar{q} \approx 14$ кВт/м². Перекривши площу 1000 м², можна отримати повну середню потужність електростанції близько 14 МВт.

Вже розроблений цілий ряд сучасних пристроїв для перетворення енергії приливних течій, один з яких показаний на мал. 6.8. Капітальні витрати на створення подібних пристроїв з розрахунку на 1 кВт встановленої потужності досить високі, тому їх будівництво доцільне лише у віддалених районах з високими швидкостями приливних течій, де будь-які альтернативні джерела енергії ще більш за дорогу.

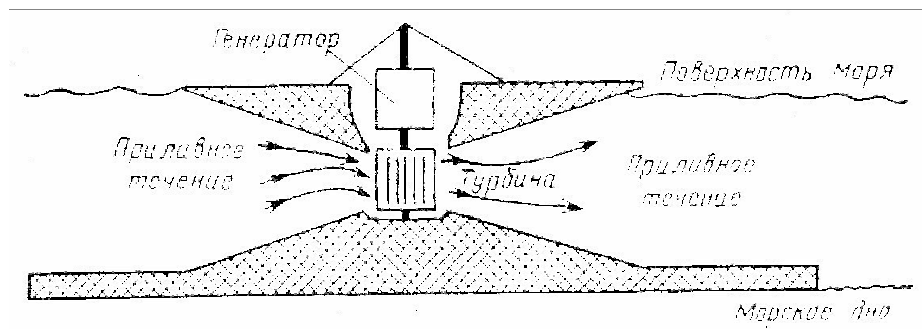


Рис. 6.8. Схема електростанції на приливній течії.

Основи теорії приливної енергетики досить прості. Припустимо, що басейн ПЕС наповнюється при високій воді і спустошується через турбіни при малій воді (рис. 6.9). Нехай басейн має постійну площу A , що залишається покритою водою при малій воді. Допустимо, що вода, що поступила в басейн, має масу ρAR , зосереджену в центрі тяжіння на висоті $R/2$ від рівня малої води, і що уся вода витікає з басейну при малій воді. Потенційно максимальну енергію від приливу можна отримати, якщо уся вода падає з висоти $R/2$. В цьому випадку енергія приливу

$$E = (gAR) \frac{gR}{2} \quad (6.16)$$

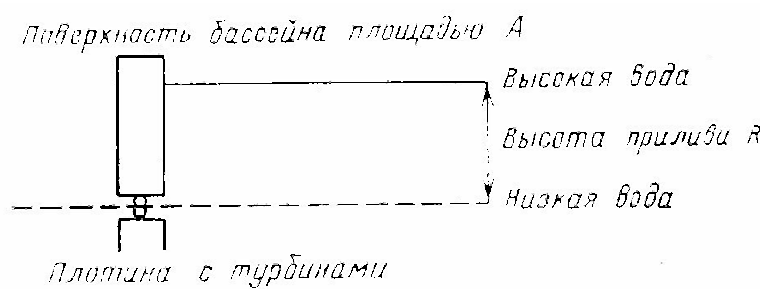


Рис. 6.9. Схема витягання приливної енергії.

Якщо енергія перетвориться протягом тривалості періоду приливу, то середня потенційна потужність за приливний період виявляється рівною

$$E = \frac{\rho A R^2 g}{2\tau} \quad (6.17)$$

На практиці в системі, що використовує спрацьовування запасу води із заповнюваного в прилив басейну, незважаючи на досить високу ефективність перетворення отримати максимальну потужність не можна. Цьому перешкоджають наступні обставини.

Генерування електроенергії не може бути забезпечене аж до умов малої води, таким чином, частина потенційної енергії приливу не може бути перетворена.

Турбіни ПЕС повинні працювати при низькому натиску і при великих швидкостях потоків - умови незвичайні для наявної звичайної гідроенергетичної практики.

Неможливо рівномірно забезпечувати споживачів електроенергією із за зміни рівня води в басейні.

На мал. 2 показано, що ПЕС може працювати як при спустошенні басейну, так і при його наповненні. Оптимальна станція, що використовує гідроагрегати, що реверсують, які, крім того, можна ще використовувати і в насосному режимі для підвищення рівня в басейні, може переробляти до 90% потенційної енергії приливу.

Використання енергії океанських течій

Механічна потужність, яку можна витягнути з океанської течії, визначається тим же співвідношенням, яке використовується для оцінки цієї величини у вітроенергетиці, :

$$P = \eta A \rho \frac{V^3}{2} \quad (6.18)$$

Коефіцієнт перетворення енергії, залежний від типу турбіни, для виконання наближених розрахунків можна прийняти рівним 0,6 для робочого колеса, що вільно обертається, і 0,75 для того ж колеса в насадці. Будівництво великих вітрових турбін (діаметром до 200 м) практично неможливе із-за обмежень, пов'язаних з міцністю матеріалів і масовими характеристиками подібних пристроїв. Для турбін, що працюють в морському середовищі, масові обмеження менш істотні через дію на елементи конструкцій сили Архімеда. Підвищена щільність води дозволяє, крім того, зменшити таку істотну для повітряних турбін віз-дію вібрацій, що викликають втомне руйнування матеріалів.

Важлива гідність океанських течій як джерела енергії в порівнянні з вітровими потоками - відсутність різких змін швидкості (порівняєте із змінами швидкості при поривах вітру, при ураганах і тому подібне). При достатньому заглибленні в товщу води турбіни ОГЭС надійно захищені від

хвиль і штормів на поверхні. Для ефективного використання течій в енергетиці необхідно, щоб вони мали певні характеристики. Зокрема, вимагаються досить високі швидкості потоків, стійкість за швидкістю і напрямку, зручна для будівництва і обслуговування географія дна і узбережжя. Віддаленість від узбережжя тягне дорожчання транспортування енергії і обслуговування цих станцій, як, втім, і будь-яких інших. Великі глибини вимагають збільшення витрат на споруду і обслуговування якірних систем, малі - створюють перешкоди судноплавству. Саме географічні чинники не дозволяють зараз говорити про будівництво ОГЭС у відкритому океані, де несуть свої води найбільш потужні течії. При середніх і малих глибинах, особливо в місцях утворення приливних течій, важливу роль грає топографія дна.

Як недоліки перетворювачів енергії океанських течій слід зазначити необхідність створювати і обслуговувати гігантські конструкції в морській воді, схильність цих конструкцій обростанню і корозії, труднощі передачі енергії.

Загальна характеристика технічних рішень

По аналогії з ВЭУ існуючі перетворювачі енергії течій можна умовно розділити на дві групи. До першої доцільно віднести ті з них, в основу яких покладений принцип перетворення швидкісного натиску в обертальний рух турбін. До другої, менш численної, групи відносять перетворювачі, засновані на інших фізичних принципах (об'ємні насоси, пружні перетворювачі та ін.).

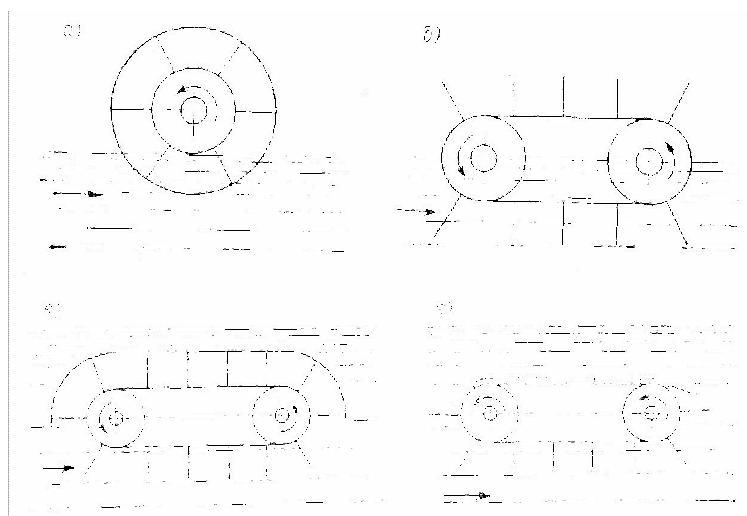
Для характеристики схем установки перетворювачів можна виділити дві основні схеми - споруд, що закріплюються на морському дні, і споруд, плаваючих в товщі води і заякорених до дна.

Родоначальником пристроїв першої групи по праву вважають водяне колесо (рис.б. 10, а). У вдосконаленні водяного колеса спостерігаються дві основні тенденції. Одна - власне поліпшення показників колеса (за рахунок оптимізації конструкції ферм, лопатей, механізмів передачі енергії, розташування по відношенню до потоку, застосування сучасних матеріалів і тому подібне), інша - принципова зміна уявлень про колесо.

Стрічкове колесо (рис. б.10, б) виявляється компактнішим, вимагає менше матеріалів, менш схильно до дії атмосфери. Подібний пристрій може бути встановлений в потоці на понтонах з таким розрахунком, щоб нижні лопаті входили у воду, а верхні залишалися "сухими". Ефективність перетворення швидкісного натиску підвищується за рахунок того, що відразу декілька лопатей виявляються під впливом потоку. Проте, просте збільшення числа лопатей стрічкового колеса не приведе до істотного збільшення моменту на валах.

На базі стрічкового колеса створені пристрої, повністю занурювані в товщу потоків (рис. б.10, в, г). Для таких пристроїв пропонується декілька

способів зменшення опору руху стрічки під час холостого ходу. Це і спорудження повітряної камери над колесом і застосування різних варіантів механізмів складання лопатей.



Мал. 6.10. Еволюція водяного колеса : а - колесо-прототип ; би - стрічкове колесо на плавучій основі; у - стрічкове колесо в товщі потоку; г - стрічкове колесо з доладними лопатями.

Найбільші надії гідроенергетики, що займаються розробкою перетворювачів енергетики океанських течій, зв'язують з агрегатами, за допомогою яких можуть бути отримані значні одиничні потужності. Як варіанти таких пристроїв розглядаються робоче колесо у вигляді вільного пропелера, пропелера в насадці, водяний аналог турбіни Дарині, системи з керованим крилом (рис. 6.12, а-в). У усіх цих конструкціях, так само як і у перспективних вітрових турбін, головний перетворюючий елемент - крилової профіль, обтікання якого потоком створює гідродинамічну силу, що примушує турбіни обертатися.

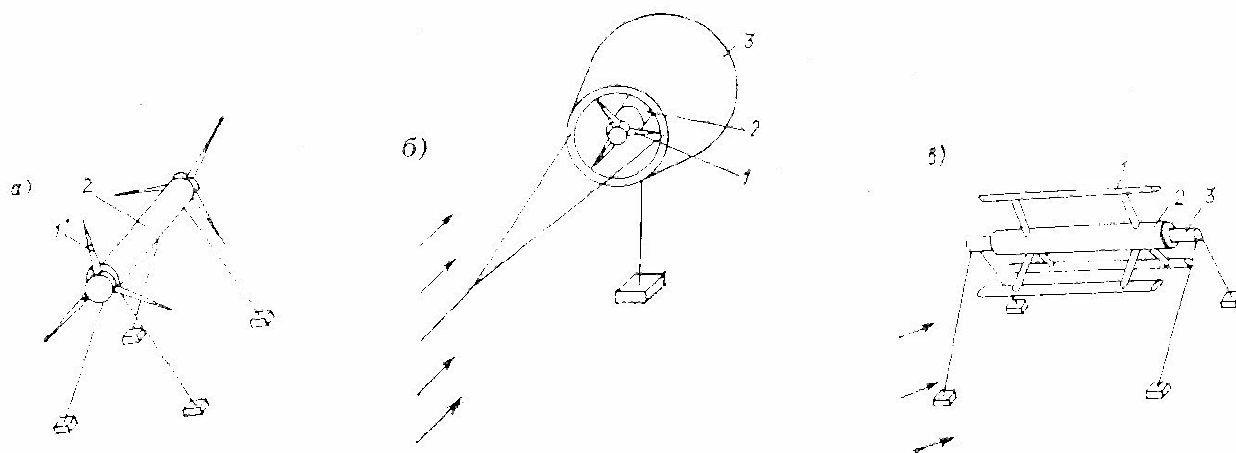


Рис. 6.12. Варіанти схем перспективних турбін для ОГЕС: а - вільний ротор; б - ротор в насадці; в - ротор, що встановлюється упоперек потоку.

Найкращі показники має турбіна, виконана у вигляді робочого колеса з горизонтальною віссю в насадці. Це пояснюється тим, що та-кое робоче колесо менше обурює потік, не так сильно, як вільне, залучаючи рідину до обертального руху. Насадок як би відділяє обурену частину потоку від необуреної і в той же час забезпечує деяку концентрацію енергії. Форму насадка вибирають з такого розрахунку, щоб забезпечити плавну безвідривну течію потоку на підході до турбіни, зробити усю систему стійкою на потоці, максимально понизити завихореність потоку на виході з неї.

Збільшення потужності одного такого агрегату можна досягти за рахунок подовження крила. В порівнянні з вітровими перетворювачами океанські турбіни в цьому плані мають перевагу: критичний розмір крила, при якому в нім досягається межа міцності матеріалів для такої турбіни вище. Але є обмеження і у воді: при занадто великій довжині крила на зміну моментам, що вигинають, створюються під впливом сили тяжіння, приходять моменти, що створюються силою тиску потоку.

Інше обмеження діаметру робочого колеса пов'язане з технологічними труднощами при будові і установці таких громіздких споруд в океані. Фахівці сходяться на думці, що діаметр турбін в насадках навряд чи перевищить 200 м (по габаритах подібна споруда нагадує критий стадіон на 20 тисяч глядачів). Накопичений до теперішнього часу досвід будівництва експлуатаційних платформ для видобутку нафти і тазу водотоннажністю в сотні тисяч тонн показує, що такі об'єкти можуть бути створені.

Розглянемо перетворювачі енергії потоків, що відносяться по нашій класифікації до другої групи, і, передусім, пристрої типу об'ємного насоса. На рис. 6.13 зображена одна з схем такого пристрою, в основі якого - нерухомо закріплене в потоці сопло Вентури. У пережатому перерізі сопла із-за збільшення швидкості рідини відбувається падіння статичного тиску, яке може бути використане, наприклад, для засмоктування повітря з поверхні. У вихідному перерізі вже стисле повітря витісняється з потоку в напірну камеру, звідки по ступає у воздуховод турбіни, сполученої з електрогенератором. При помірних мірах передавлення потоку робота такого пристрою може бути описана за допомогою рівняння Бернуллі. В цьому випадку перепад тисків, який створюється насосом,

$$\Delta p = p_1 - p_2 = 0,5\rho v^2 \left[\left(\frac{A_1}{A_2} \right)^2 - 1 \right] \quad (6.19)$$

де $\frac{A_1}{A_2}$ - відношення площ вхідного і мінімального перерізів конфузора.

Продуктивність такого насоса залежить від витрати рідини через переріз насоса і може бути доведена приблизно до 20 % об'ємної витрати. Ежекційні властивості сильно залежать від способу введення в потік

підсмоктуваного газу.

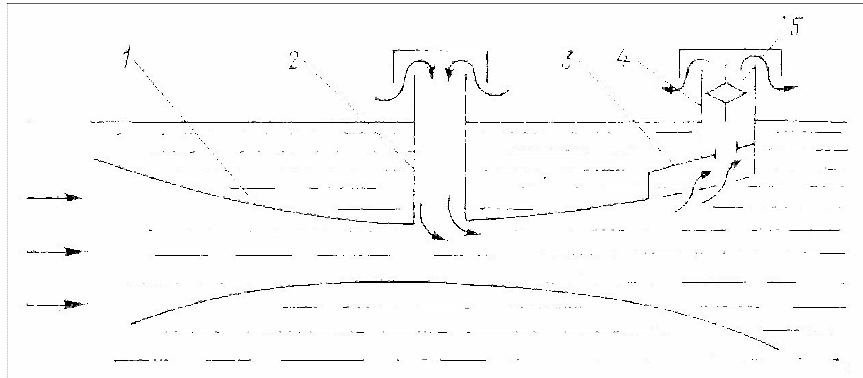


Рис. 6.13. Схема об'ємного насоса : 1 - профільований корпус; 2 - шахта повітрязбірника; 3 - повітрязбірник; 4 - вихлопна шахта; 5 - повітряна турбіна з електрогенератором.

Перелік різних варіантів перетворювачів можна продовжити, але важливо відмітити, що з часом можуть бути відкриті як ефективніші способи перетворення енергії потоків в океані, так і нові гідродинамічні явища, які зажадають принципово нових розробок. Вже зараз можна звернути увагу на енергію океанських противотечень, прихованих товщею поверхневих вод і часто лише досить тонкими пограничними шарами відокремлених від поверхневих; енергію раз-особистих вихорів, що виникають у відкритому океані під впливом метеорологічних обурень і великомасштабної гідродинамічної нестійкості в океанах. Відомі навіть постійно діючі вихори. Один з них знаходиться в 400 км від Огасавари (Японія) в Тихому океані. Він є виром діаметром близько 200 км, що піднімається з глибини 3 км майже до самої поверхні. Примітна одна з особливостей виру - приблизно через кожні 100 днів він змінює напрям обертання на зворотне. За оцінками японських учених питомі енергетичні характеристики цього виру значно вищі, ніж у ряду океанських течій.

Перетворення теплової енергії океану

Ресурси теплової енергії океану

Світовий океан - найбільший природний колектор сонячного випромінювання. У нім між теплими, поглинаючими сонячне випромінювання поверхневими водами і холоднішими придонними досягається різниця температур в 20 °С. Це забезпечує безперервно поповнюваний запас тепло-вигття енергії, яка принципово може бути перетворена в інші види. Сам термін "перетворення теплової енергії океану" (ОТЕС) - "ocean thermal energy conversion" - означає перетворення деякої частини цієї теплової енергії в роботу і далі в електроенергію.

Перетворення теплової енергії, запасеної океаном, в механічну енергію

і далі в електроенергію вимагає створення теплової машини, тим або що іншим способом використовує природний перепад температур між прогрітими поверхневими і охолодженими глибинними шарами вод. У першому наближенні доля перетворюваної енергії може бути визначена через ККД термодинамічного циклу Карно як $\frac{\Delta T}{T}$, де ΔT - величина перепаду температур між нагрівачем і холодильником; T - абсолютне значення температури нагрівача (К). Відповідно для визначення запасів теплової енергії, що реалізуються, потрібні відомості про розподіл температур на поверхні океану, товщині прогрітого шару, глибині залягання шару холодних вод, швидкості переміщення водних мас.

Перша така наближена оцінка була виконана в 1977 р.. Вона базувалася на тому, що в середньому по Світовому океану різниця температур між поверхнею і глибинами приблизно в 400 м складає 12 °З, лише в деяких районах поблизу екватора досягаючи 20°С. Вважаючи в середньому, що різниця температур в 12°Із зберігається на усій вільною від льоду поверхні площею близько 3·10¹⁴ м² в шарі завтовшки 100 м, загальну теплову енергію, присутню в океані у будь-який момент часу, можна оцінити як

$$W = \rho v c p \Delta T \quad (6.20)$$

де ρ - щільність води, кг/м³;
 v - об'єм нагрітих вод, м³;
 c - питома теплоємність, Дж/(кг·К).

Вважаючи $c p = 4,19$ кДж/(кг·К), величина запасеної енергії
 $W = 15 \cdot 10^{23}$ Дж.

Точніші оцінки вимагають знання картини розподілу температур. Про розподіл перепадів температур на поверхні Світового океану дає представлення рис. 6.14. Картини показують, що площа зони з постійним максимальним перепадом температур не так вже велика і складає приблизно 20 млн. км². Ціною зниження ККД ідеального циклу на 1 % цю зону можливого розміщення теплових перетворювачів можна збільшити приблизно в 6-7 разів. Постійність перепаду температур у разі вилучення частини енергії повинна забезпечуватися припливом енергії за рахунок переміщення, водних мас і поглинання сонячного випромінювання.

Визначення ресурсів теплової енергії, пов'язаної з океаном, буде не повним, якщо не врахувати потенційні можливості ще двох температурних перепадів, існуючих між приповерхневими шарами повітря і поверхневими шарами води і між придонними водами і породами, що складають дно. Ці ресурси доки не оцінені, проте вже ведуться роботи із створення діючих моделей перетворювачів, що використовують перший перепад, який представляє особливий інтерес для Арктики, де в зимовий час - практично не

менше 8 місяців в році - температури повітря лежать нижче -20°C при відносно постійних температурах води під льодом $+2 - +3^{\circ}\text{C}$. Розрахунки показують, що при такому перепаді кожен 1 м^3 морської води, будучи пропущений за 1 з через перетворювач, дозволяє отримати близько 10 кВт потужності при ККД установки 5% .

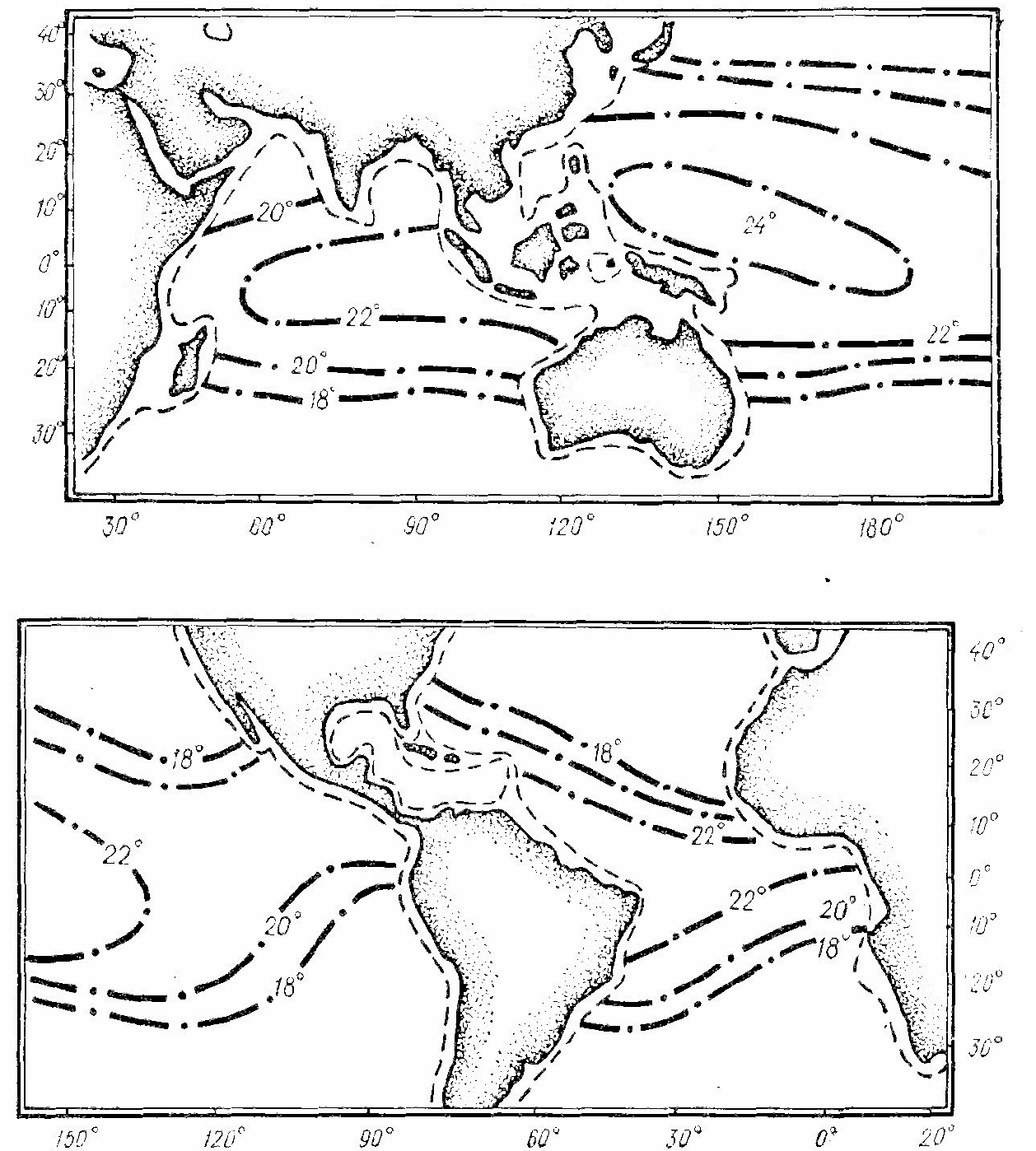


Рис. 6.14. Розподіл перепадів температур в приекваторіальних зонах Світового океану (пунктиром відмічені глибини 1000 м)

Схема ОТЕС, що працює по замкнутому циклу

Схема установки, що працює по замкнутому циклу, приведена на рис. 6.15. У такій системі за допомогою теплих поверхневих вод, що прокачуються насосом через теплообмінник випарника, перетворюють на пару яке-небудь відповідне робоче тіло (аміак, фреон, пропан), створюють пару підвищеного тиску, даючи йому можливість розширитися через турбіну в холодильник, де пара конденсується при контакті з охолоджуваними поверхнями другого теплообмінника, омиваного водою, що закачується з глибинних шарів океану.

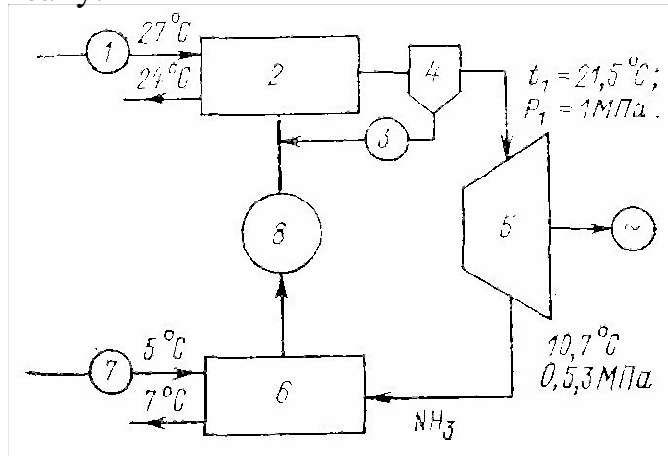


Рис. 6.15. Схема термальної установки, що працює по замкнутому циклу, : 1 - насос теплої води; 2 - випарник; 3 - насос осушувача пароподібного робочого тіла; 4 - осушувач; 5 - турбіна з електрогенератором ; 6 - конденсатор; 7 - насос для огорожі холодної води; 8 - насос для подачі робочого тіла.

На рис. 6.16 показаний термодинамічний цикл такої теплової машини (цикл Ренкіна) в координатах абсолютна температура-ентропія. Корисна робота, що здійснюється парою в турбіні, визначається гілкою 1-2, на ділянці 2-3 відбувається конденсація, потім насосом робоче тіло подається у випарник 3-4, де нагрівається (гілка 4-5) і випаровується (гілка 5-1). Таким чином, підведення робочого тіла до системи тепла здійснюється на гілці 3-4-5, а відведення - на гілці 2-3. Додаткову роботу доводиться витратити на закачування конденсату у випарник (3-4) і на подачу води в нагрівач і холодильник.

Максимальний теоретичний ККД такої системи визначається різницею температур води, що подається в нагрівач і холодильник, як ККД еквівалентного циклу Карно $\eta_k = \frac{T_{01} - T_{02}}{T_{01}}$. Для перепадів температур між поверхневими і глибинними шарами води в межах від 15 до 26 °З він відповідно змінюється в діапазоні від 5 до 9 %. Реальний ККД, як правило, істотно нижче. Це пов'язано з конструктивними обмеженнями, що не дозволяють в реальній установці довести температуру пари і конденсату до

температури теплих і холодних вод відповідно (на мал. 3 це підкреслено за допомогою різниць температур $\Delta T_H = T_{01} - T_1$ і $\Delta T_K = T_2 - T_{02}$. Конкретні температури приведені на мал. 2. Можна підрахувати, що при теоретичному ККД, рівному 7,3 %, на турбіні отримуємо величину приблизно в 2 рази меншу - 3,6%. Причому вона не враховує ще втрат на власні потреби станції, які зведуть ККД до величини, меншою 2,5%. Це, у свою чергу, означає, що для отримання 1 МВт "корисної" потужності через теплообмінники такої станції повинно пройти не менше 40 МВт теплової потужності. Саме тому ОТЭС вимагають величезних витрат теплої і холодної води, вимірюваних в тисячах кубометрів в секунду.

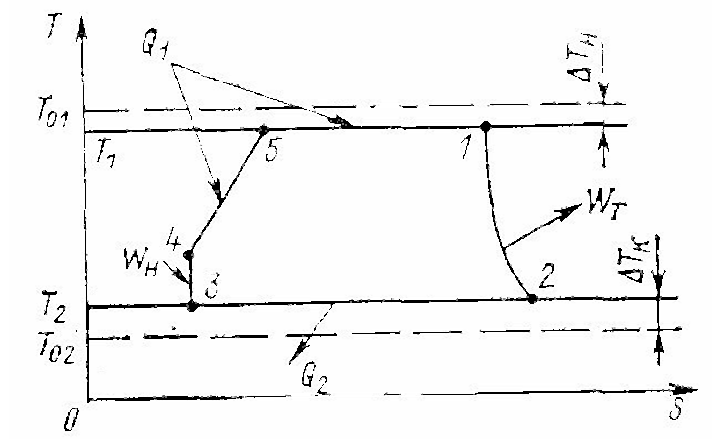


Рис. 6.16. Термодинамічний цикл ОТЭС (цикл Ренкіна).

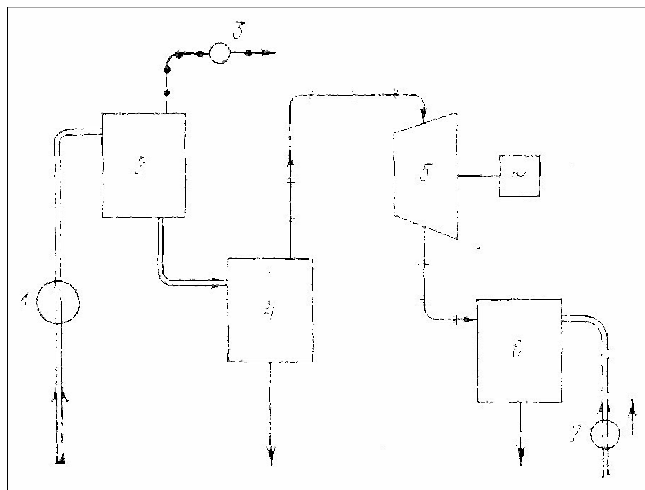
Для того, щоб уявити собі, що ж таке реальна промислова ОТЭС, досить вказати такі орієнтовні цифри: станція потужністю 40 МВт (плавуча) повинна мати водотоннажність приблизно 70 тис. т, діаметр трубопроводу холодної води 10 м і робоча поверхня теплообмінника близько 45 тис. м².

Схема ОТЕС, що працює по відкритому циклу

Схема установки, що працює по відкритому циклу Клода, показана на рис. 6.17. Як робоче тіло тут використана морська вода, що подається у випарник через деаератор, що звільняє воду від розчинених в ній газів. Заздалегідь з порожнин випарника і конденсатора віддаляється повітря, так що тиск над поверхнею рідини визначається тільки тиском насиченої пари, який сильно залежить від температури. При характерних для ОТЭС температурах цей перепад складає приблизно 1,6 кПа (при замкнутому циклі на аміаку близько 500 кПа), під дією цього перепаду пари води приводять в рух турбіну, потрапляють в конденсатор, де і перетворюються на рідину.

Основна відмінність циклу якраз і полягає в крихті перепаду тисків, що вимагає використання відповідних гігантських турбін діаметром в декілька десятків метрів. Це, мабуть, основний технічний недолік систем відкритого

циклу. Основна ж їх гідність - відсутність гігантських нетехнологічних теплообмінників. Крім того, при роботі систем відкритого циклу можуть бути отримані великі кількості прісної води, що важливо в жаркому поясі планети.



Мал. 6.17. Схема ОТЭС, що працює по відкритому циклу (цикл Клода), : 1 - насос теплої води; 2 - деаератор; 3 - вакуумний насос; 4 - випарник; 5 - турбіна з електрогенератором; 6 - конденсатор; 7 - насос для підйому холодної води.

Використання перепаду температур океан-атмосфера

Ідея використання перепаду температур між холодним повітрям і незамерзаючою (теплою) водою під льодом Арктики уперше була висловлена у Франції А. Баржо, що розвинуло ідею Д'Арсонваля по перетворенню теплової енергії, запасеної в океані. У нашій країні з її протяжним арктичним шельфом роботи в цій області завжди викликали інтерес. Досить вказати на проекти Г. Покровського (1901-1979 рр.), на роботи, виконані під керівництвом В. И. Марочка у Владивостоку, на проведені там же дослідження А.К. Ильина і В. В. Тикменова.

Особливість роботи таких станцій - так званий "трикутний" цикл: нагріваючи і випар робочого тіла в результаті політропного процесу, адіабатне розширення через турбіну, ізотермічне стискування при подачі у випарник з одночасним відведенням надлишкового тепла в холодильник. ККД такого циклу, як показано в одній з робіт А.К. Ильина, нижче термічного ККД циклу Карно приблизно в 2 рази. З точністю до 1 % він визначається вираженням $\eta = \frac{T_{01} - T_{02}}{2T_{01}}$, де T_{01} - температура теплої підлідної води (275 К); T_{02} - температура повітря (до 233 К), що охолоджує. Значний перепад температур зможе компенсувати зниження ККД. Теоретичну потужність такої ОТЕС можна оцінити за допомогою формули В. А. Акуличева.

$$P = \rho k c_p u A \eta \frac{(T_{01} - T_{02})}{2T_{01}} \quad (6.21)$$

де $k = k = H/L$ - відношення товщини використовуваного шару теплої води до характерної довжини обурення середовища уздовж течії;

u - швидкість течії;

A - площа взаємодії станції з океаном;

η - коефіцієнт втрат в агрегатах і системах.

Якщо покласти в цьому виразі $k = 1$ і рахувати механічні втрати в агрегатах станції нехтує малими ($\eta_m = 1$), то питома потужність, що отримується з 1 м² площі океану при різниці температур води і повітря, рівною 10 °З, складає приблизно 18 кВт/м² при різниці 20 °З - 60 кВт/м², а при різниці 30 °З - 125 кВт/м². У цих оцінках величина швидкості руху води прийнята рівною 0,02 м/з - характерна швидкість для прибережних районів Північного Льодовитого океану. Таким чином, за відсутності обмежень по глибині океану в зоні розміщення полярної ОТЕС і потужності в 1 МВт вона обурюватиме тепловий режим на площі всього біля 20 м².

На рис. 6.18 приведена розроблена А.К. Ільїним і В. В. Тикменовим схема АОТЕС з теплообмінниками, що обдуваються повітрям. У ній використаний додатковий контур з проміжним теплоносієм, що дозволяє істотно понизити втрати енергії на власні потреби станції.

Схема нагадує звичайні теплові станції з градирнями для охолодження води, що відпрацювала, але дані градирні діють в умовах, коли температура зовнішнього повітря багато нижче за нуль, а охолоджувана жид-кістка має температуру всього на декілька градусів вище. Тому в контурі такої станції, що охолоджує, необхідно використовувати розсіл з низ-кой температурою замерзання. Як проміжний теплоносій застосовується водний розчин хлористого кальцію з концентрацією не менше 26 кг на 100 кг води, який досить широко використовується в холодильній техніці. Робочим тілом в основному контурі станції служить фреон- 12, пари якого приводять в рух турбіну з електрогенератором.

Проміжний теплоносій охолоджується шляхом розбризкування через форсунки зрошувального охолоджувача. Причому важливо забезпечити те, що певне розпиляло, щоб, з одного боку, краплі теплоносія не виносилися потоком холодного повітря, а з іншої - устигали охолодитися під час падіння. Для того, щоб крапля діаметром 1 мм охолодилася на 2 °З при русі в повітрі з середньою різницею температур 30 °З нею необхідно пролетіти у вільному падінні трохи більше 3 м. Розпилявши таким чином розчин хлористого кальцію, можна добитися питомого знімання енергії більше 230 Вт/(м²К). Такі значення коефіцієнтів тепловіддачі, звичайно, поступаються отримуваним нині в конструкціях водоводяних теплообмінників традиційних ОТЭС (до 5 кВт/(м²К)), але перевищують приблизно в 5 разів характерні величини для простих повітряних теплообмінників станцій без проміжного

теплоносія. Це дозволяє понизити металоемність конденсаторів і приблизно на 20 % збільшити вироблення корисної енергії.

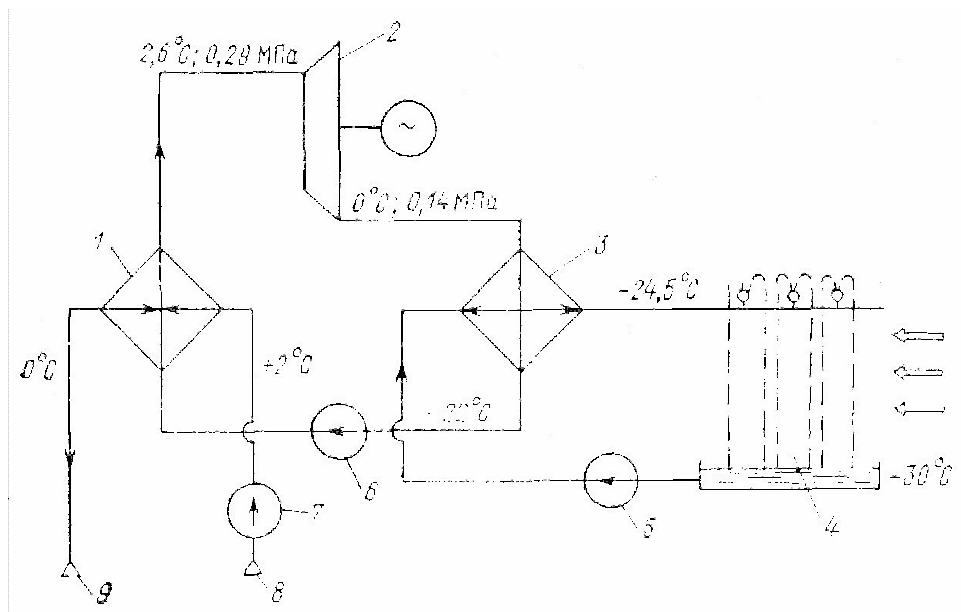


Рис. 6.18. Схема арктичної ОТЭС на перепаді вода-повітря: 1 - випарник основного контура; 2 - турбіна з електрогенератором; 3 - конденсатор; 4 - теплообмінник контура охолодження проміжного робочого тіла; 5 - насос для подачі холодагенту; 6 - насос для подачі робочого тіла; 7 - насос для подачі морської води; 8 - водозабірник; 9 - патрубок скидання відпрацьованої води.

Пряме перетворення теплової енергії

Схема ОТЭС на термоелектричних перетворювачах показана на рис. 6.19 В основі її дії - явище Зеебека, що полягає у виникненні різниці потенціалів в електричному ланцюзі, складеному з матеріалів з різною концентрацією носіїв заряду, місця з'єднань яких нагріті до різних температур. Величину цієї різниці потенціалів можна визначити по відомій формулі:

$$E = \frac{k}{e} \ln \frac{n_{01}}{n_{02}} \Delta T,$$

де k - постійна Больцмана;

e - заряд електрона;

n_{01} , n_{02} - концентрації носіїв (електронів в провідниках, електронів і дірок в напівпровідниках);

ΔT - різниця температур між спаями (з'єднаннями) різнорідних електропровідних матеріалів, що нагріваються і охолоджуваними.

Дія такої системи повністю описується законами термодинаміки,

справедливими для звичайних ОТЕС. ККД такого перетворювача, виконаного на напівпровідникових елементах, досягає 10 %. Це значно більше, чим у систем, що працюють по циклу Ренкіна і Клода. Крім того, в системах таких ОТЕС до мінімуму можуть бути зведені втрати на власні потреби станції. Величина ТЕРМО-ЕДС для напівпровідникових пар може досягати декількох милливольт на градус (для металевих термопар вони приблизно в 1000 разів нижче). Наприклад, постійна Зеебека для кристалів теллурида вісмуту з n - і p -провідністю дорівнює $3,14 \cdot 10^{-4}$ В/К.

Інша гідність напівпровідникових систем - можливість забезпечення досить високої теплоізоляції між нагрівачем і холодильником, що сильно впливає на ККД систем.

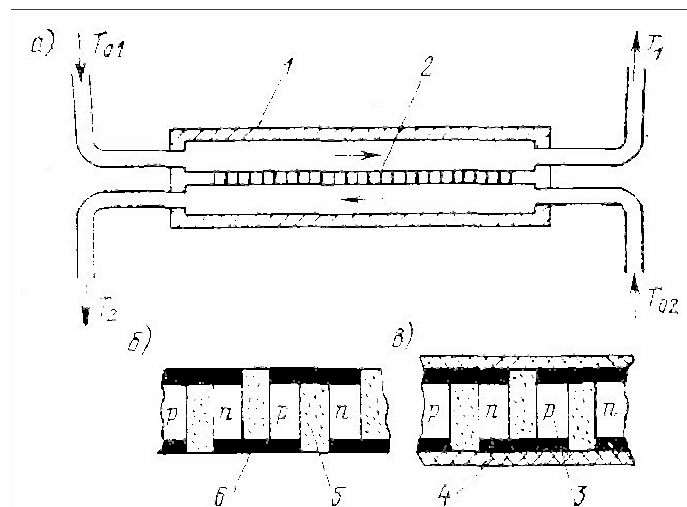


Рис. 6.19 Схема ОТЕС з прямим перетворенням теплової енергії в електричну: а - пристрій окремого блоку; б, в - варіанти пристрою термоелектричного перетворювача; 1 - кожух; 2 - термоелектричний генератор; 3 - напівпровідникові елементи з n - і p -провідністю; 4 - поверхностне ізолююче покриття; 5 - ізолятор; 6 - сполучні шини.

До недоліків таких систем відносяться досить висока вартість матеріалів, з яких виготовляються елементи, і необхідність ізолювати спаї від безпосереднього контакту з морською водою, - відбувається шунтування через воду сусідніх елементів, що мають досить високий власний опір, і, отже, зниження потужності, що видається в ланцюг навантаження. У свою чергу, ізолювання спаїв призводить до дорожчання перетворювачів і погіршення їх показників. Роботи, виконані групою дослідників з університету Осаки (Японія), показують, що за відсутності ізолятора у декілька разів збільшується знімання корисної потужності. Проте необхідно мати на увазі, що в досліді японських дослідників як носій енергії використовувалася не сама морська вода, а фторуглеродисті з'єднання.

ОТЕС, створені на описаному принципі, ймовірно, можна застосувати для забезпечення електроенергією комплексів підводного видобутку корисних копалин на океанському дні.

Тема 7. Біоенергетика

Поняття і класифікація біопалива.

Біопаливо. Класифікація біопалива.

Склад і властивості екскрементов тварин і птахів.

Вихід біогазу з сільськогосподарських відходів.

Сировинна база для виробництва біогазу.

Використання біопалива для енергетичних цілей

Виробництво біомаси для енергетичних цілей.

Піроліз (суха перегонка).

Термохімічні процеси.

Спиртова ферментація (бродиння).

Біоенергетичні установки.

Біореактор.

Підготовка і подача сировини в біореактор.

Підтримка постійної температури в біореакторі.

Система перемішування сировини в біореакторі.

Система зберігання і використання біогазу.

Поняття і класифікація біопалива.

Біопаливо. Класифікація біопалива.

Одній з найбільш перспективних тим в області розвитку альтернативних джерел енергії являється вивчення потенціалу біоенергетики, тобто отримання енергії з органічних матеріалів.

Головна перевага цього виду альтернативних джерел енергії - це велика різноманітність сировини і об'єктів його практичного застосування. Адже рослинний світ планети надзвичайно різноманітний і як паливо можна використовувати багато видів рослин. Крім того, існує можливість створення екологічно чистих видів пального. Розробка і виробництво біопалива також допоможе розв'язати проблему сміття, яке може приносити енергію, будучи сировиною.

Биото́пливо - це паливо з біологічної сировини, що отримується, як правило, в результаті переробки стебел цукрової тростини або насіння рапсу, кукурудзи, сої. Існують також проекти різної міри опрацьованості, спрямовані на отримання біопалива з целюлози і різного типу органічних відходів.

Існують різні класифікації біологічних палив. Найбільш загальною з них є класифікація за консистенцією, згідно якої біопаливо підрозділяється на:

- рідке (для двигунів внутрішнього згорання, наприклад, етанол, метанол, біодизель),
- тверде (дрова, солома),
- газоподібне (біогаз, водень).

Розглянемо кожного з цих видів окремо.

2 Тверде біопаливо

Найбільш поширені види сировини для виробництва твердого біопалива наступні:

1. Деревина:

- відходи лісозаготівлі;
- відходи лесопилень і деревообробки;
- деревина з енергетичних плантацій.

2. Відходи сільськогосподарського виробництва :

- лушпиння соняшнику, лушпиння гречки, проса і так далі;
- солома, очерет;
- подстилка домашніх тварин і птахів;

3. Торф.

4. Тверді побутові відходи.

5. Осад стічних вод.

На сьогодні у світі визнана наступна класифікація твердого біопалива :

- дрова;
- тріска;
- тирса;
- деревний пил;
- брикети;
- гранули (пеллети);
- торф;
- сміття;
- паливо на основі с/г культур.

Дрова

Дрова - прадавнє паливо, використовуване людством. Нині для виробництва дрів або біомаси вирощують енергетичні ліси.

Енергетичний ліс - це дерева і кущі вирощувані для енергетичних потреб і такі, що відрізняються мінімальним періодом ротації. Випробувано близько 20 різних видів рослин - деревних, чагарникових і трав'янистих, з яких найбільшого поширення в наших широтах набули тополя, верба, акація і інші. Кожні 4-7 років дерева зрізають і річний урожай може складати близько 7 тонн/гектар. Зібрана біомаса використовується для виробництва теплової і електричної енергії.

Прикладами використання енергетичного лісу у сучасному світі можуть служити наступні:

1. Найбільша в Європі електростанція, що працює на деревній біомасі, знаходиться в Зіммеринг (Австрія). Потужність електростанції 66 МВт. Електростанція щорічно споживає 190 тисяч тонн біомаси, що

збирається в радіусі 100 км від станції. Робота станції дозволяє скоротити щорічні викиди CO₂ на 144 тисячі тонн.

2. Німеччина щорічно може виробляти в енергетичних лісах 20 мільйонів м³ деревини.

3. У травні 2008 року Конгрес США ухвалив закон H.R.2419, the Food, Conservation, and Energy Act of 2008 по якому передбачено щорічне фінансування енергетичного лісівництва в США у розмірі \$15 млн.

Тріска, тирса, деревний пил

Як правило, тріска і тирса не є самостійними виробами на підприємствах, зайнятих деревообробкою. Типова лісопилка перетворює близько 60 % деревини на дошки, при цьому 12% йде в опил, 6% - в кінцеві обрізання і 22% в обаполк і обрізання кромки. Об'єм опила і стружки на етапі деревообробки досягає 12% від початкової сировини. Проте тріска і тирса, до усього іншого, є ще і досить цінним видом матеріалу, широко використовуваним в побуті, зокрема як паливо або для виробництва палива.

Країни з лісовим потенціалом активно впроваджували технології спалювання тирси, тріски, і старої деревини. Але дуже швидко процес прямого використання відходів лесопилки, деревообробки і переробки показав свої недоліки. По-перше, для підвищення ефективності згорання тирси і тріска мають бути сухими, що вимагає додаткових технологічних процесів, інвестицій, виробничих і складських площ, чималих витрат енергії. По-друге, вимагала рішення проблема складування. Окрім необхідності великих складських площ, свіжа тирса і тріска при зберіганні іноді займаються.

Деревно-шліфувальний пил є сумішшю деревних часток розміром в середньому 250 мкм з абразивним порошком, що відокремився від шліфувальної шкірки в процесі шліфування деревного матеріалу. Зміст абразивного матеріалу в деревному пилі може доходити до 1 % по масі.

Фракційний склад деревного пилу, що утворюється на шліфувальних верстатах, має діапазон зміни розмірів часток від 40 до 500 мкм. Склад пилу, що утворюється на одних і тих же верстатах, непостійний і залежить від ряду чинників : властивостей оброблюваного матеріалу, його вологості, зернистості шліфувальної шкірки і тому подібне

Деревний пил не підлягає зберіганню як в буферних складах котельних, так і в складах міжсезонного зберігання дрібного деревного палива зважаючи на її високу парусність і вибухонебезпеку.

Летючістю або парусністю пилу називають здатність її часток під дією потоку газу переміщатися в будь-якому напрямі - витати в газовому середовищі. Парусність часток пилу характеризується швидкістю витання, тобто тією мінімальною швидкістю газового потоку, при якій ці частки продовжують, не опускаючись, витати в газовому середовищі.

При спалюванні деревного пилу в паливних пристроях має бути забезпечене виконання усіх правил Держміськтехнагляду по спалюванню

пилоподібного палива, застережливих виникнення спалахів і вибухів усередині паливневих пристроїв і в газових трактах парових і водогрейнних котлів.

Спалювання пилоподібного палива здійснюється за допомогою спеціальних пальників, призначених для спалювання деревного пилу, що утворюється в процесі виробництва або в результаті подрібнення деревних відходів в пил. Увесь процес від початкових деревних відходів, подрібнення в пил з вологістю близько 8%, подачі і спалювання пилу - повністю автоматизований. Отримання енергії з використанням тільки деревного пилу використовується досить рідко; зазвичай це паливо використовується в котельних або ТЕЦ, що працюють на пилоподібному вугіллі і/або торфі. Вартість комплектного устаткування для спалювання деревного пилу висока.

Деякою альтернативою прямого використання деревних відходів стало виготовлення і застосування паливних брикетів і пеллетов.

Паливні брикети і пеллети

З усіх перелічених вище груп біопалива гранули (пеллети) і брикети називаються "поліпшеним" або "рафінованим" паливом з біомаси (refined biomass fuels). Це означає, що вони отримані шляхом переробки і в результаті мають поліпшені властивості в порівнянні з будь-яким іншим біопаливом. Саме тому гранули і брикети заслужили на таку високу популярність в Європі і світі. Брикети і гранули виробляються найчастіше з відходів хвойних (м'яких) порід, що утворюються при лесопилени, деревообробці, виробництві меблів і так далі. Основні переваги рафінованого біопалива порівняно з біомасою наступні:

- менший об'єм на одиницю енергії, чим у звичайного біопалива;
- поліпшені якості по вологості, вазі на одиницю об'єму, структурі, калорійності і зольності;
- здатність зберігатися довше без жодного обслуговування;
- відсутність ризику злипання палива і так далі

Брикет - це сипка речовина, перетворена на щільні шматки. Брикетування сипкої деревини досягається шляхом пресування з єднальними або без них. Ширше застосовується брикетування без єднальних. Сипка деревина, що займає значний простір, після брикетування зменшується в об'ємі у декілька разів, стає транспортабельною і зручною в зверненні. Насипна маса тирси складає 150-200 кг/м³, а насипна маса брикетів з них при вологості 15% - 460 кг/м³.

Брикетування сипких відходів збільшує теплотворну здатність тирси і стружки. Брикети застосовуються як заводське паливо і для постачання місцевого населення твердим паливом.

Теплотворна здатність хвойної деревини вологістю 37% при брикетуванні складає 2500 ккал/кг, вологістю 20-22% - 3300 ккал/кг, тирса і стружки при 15% -ной вологості - 3600 ккал/кг, тирса при 12% -ной вологості - 3800 ккал/кг

Для брикетування тріски вимагаються потужніші преси, ніж для брикетування тирси. Крім того, за інших рівних умов з тирси виходить міцніший брикет з тимчасовим опором на вигин до 20 кгс/см², чим з тріски, коли тимчасовий опір на вигин не перевищує 7 кгс/см².

Крім того як біологічне паливо використовуються брикети, отримані від брикетування енергоносіїв іншого біологічного походження (головним чином гною і тому подібне), які спалюються в камінах житлових будинків і топках теплових електростанцій, виробляючи дешеву електрику, використовуювану в побутових і виробничих потребах.

Паливні гранули (пеллети) є твердим енергетичним носієм, виробленим шляхом механізованої зміни біомаси. Деревні гранули (пеллети з деревини) - це нормований циліндричний пресований виріб з висушеної, залишеної в природі деревини, такий як: борошно від роботи фрезерно-відрізного верстата, опил, стружка, тріска, шліфувальний пил, залишки лісової деревини і тому подібне

Більше 20 років тому баварець Руди Гуннерман, що живе в США уперше виробив гранули з деревних відходів. Він використовував це для безвідходної свого виробництва і економії перевезень. Потім в США знайшли застосування гранулам в опалюванні. У Європі першовідкривачем процесу гранулювання деревних відходів і використання їх в опалюванні вважається Швеція. З початку 90-х років в Швеції почався бум і промислове виробництво пеллет з деревини. Потім стрімкий розвиток отримує виготовлення деревних гранул в Канаді, Данії, Австрії, Голландії, Фінляндії, Норвегії, Франції, Італії, Німеччині. З початку 21 століття почалося виробництво і в Україні. На сьогодні виробництво паливних гранул з відходів деревообробки - одна з найперспективніших технологій.

Виготовлення деревних пеллет відбувається без хімічного закріплювачу, під високим тиском. Паливні гранули називають "поліпшеним" (або навіть "ушляхетненим") паливом. В розрахунок береться не лише зовнішній вигляд (гладка, блискуча поверхня без тріщин і здуття, світлий деревний колір, легкий, приємний запах), але і наступні параметри :

- горіння пеллет з деревини в топці котла відбувається ефективніше: кількість залишків (золи) не перевищує 0,5 - 1 % від загального об'єму використовуваних гранул;
- при спалюванні гранули не чинять негативного впливу на довкілля;
- пеллети не містять прихованих пір, схильних до самозаймання при підвищенні температури.

Враховуючи ці показники, в європейських країнах гранули найчастіше використовуються для опалювання будинків і котеджів. Популярність гранул як "домашнє" паливо обумовлена тим, що тепло з деревини сприймається як набагато приємніше, ніж тепло, отримуване з легкого мазуту або природного газу. Крім того, в Європі на гранулах працюють і котельні на комунальному рівні і підприємства, і електростанції досить великої потужності.

Деревні гранули мають величезні переваги в порівнянні з традиційними видами палива :

- теплотворна здатність їх складає 4,3 - 4,5 кВт/кг, що в 1,5 разу більше, ніж у деревини і порівнянна з вугіллям;
- конструктивні особливості печей дозволяють автоматизувати процес отримання необхідної кількості теплової енергії;
- при спалюванні 2000 кг паливних гранул виділяється стільки ж теплової енергії як і при спалюванні: 3200 кг деревини, 957 м³ газу, 1000 л дизельного палива, 1370 л мазуту.

Крім того, звернете увагу на порівняльну гістограму викидів CO₂ в атмосферу різних опалювальних систем (рис. 7.1). Цифри приведені з урахуванням викидів CO₂, необхідних для виробництва енергоносія. Нескладно порахувати, що якщо одна сім'я перейде з котла, що працює на дизпаливі на котел, що працює на пеллети, то це зменшить викиди в атмосферу CO₂ на 5 тонн щорічно, а якщо з газового - 2,5 тонни в рік.

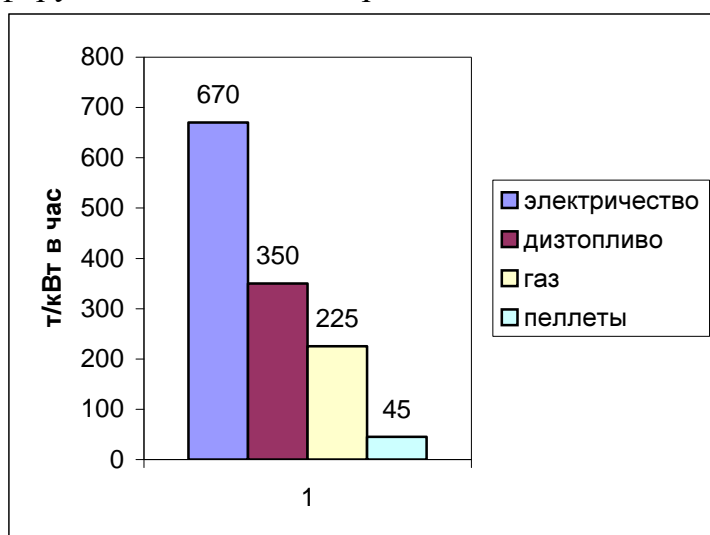


Рис. 7.1 - Гістограма викидів вуглекислого газу від різних опалювальних систем

Як вид палива деревні гранули розглядають в Європі як "паливо майбутнього" або "паливо з упевненістю в майбутньому". Це обумовлено, по-перше, тим, що деревні гранули, як похідні, від деревини є безпечною сировиною. А таке паливо, як нафта або газ, з кожним роком ростимуть в ціні і незабаром закінчатся. По-друге, деревні гранули мають високу енергоконцентрацію при незначному займаному об'ємі. Крім того, пеллети можуть переміщатися в автоматичних печах і можуть вдуватися на склад і транспорт. По-третє, попіл може використовуватися як добриво. Зола складає до 1% від маси палива. Попіл забирається в сучасних печах і котлах разів в два роки. По-четверте, оскільки гранули мають високу насипну масу, вимагається не багато місця для складування. Для опалювання пеллетами удома площею 150 м² вимагається всього 7,5 м³ гранул на один рік.

Якщо ж додати до цього зниження ризиків пожежі, вибухів, витоку при транспортуванні, то ми отримаємо ті безперечні аргументи, на яких базується

обґрунтування використання деревних гранул. У таблиці.7.1. приведена порівняльна характеристика декількох видів палива порівняно з пеллетами.

Таблиця 7.1
Порівняльні характеристики видів палива

Вид палива	Теплота згорання МДж/кг	% сірки	% золи	% Вуглекислий газ кг/ГДж
Кам'яне вугілля	15 - 25	1-3	10 - 35	60
Рухове паливо	42,5	0,2	1	78
Мазут	42	1,2	1,5	78
Тріска деревна	10	0	2	0
Гранули (пеллети, брикети) деревні	17,5	0,1	1	0
Гранули торф'яні (пеллети, брикети)	10	0	20	70
Гранули (пеллети, брикети) з соломи	14,5	0,2	4	0
Природний газ	35 - 38 МДж/м ³	0	0	57

Завдяки вищепереліченим якостям, деревні гранули мають високу конкурентоспроможність в порівнянні з іншими видами палива. Ціни на них не залежать від стрибків цін на викопні види палива і на екологічні податки, що збільшуються.

На сьогодні в Україні не існує стандартів на пеллети, тому більшість виробників орієнтуються на західні стандарти, які, доречно зауважити, відрізняються від країни до країни або винаходять свої ТУ. Крім того, існуючі західні стандарти іноді включають не лише стандарт на самі пеллети, а також стандарти на їх виробництво, зберігання і транспортування.

У Європі з першого кварталу 2010 був введений новий стандарт ENplus для пеллет побутового призначення і сертифікат EN -В для "індустріальних" пеллет, використовуваних в промислових підприємствах і комунальних котельнях. Ініціатором розробки нових стандартів виступила Німеччина. Введення окремого стандарту якості для побутових і промислових пеллет дозволить вести чіткий облік споживання і контролювати якість продукції.

Якість і вид гранул залежать від сировини і технології виробництва.

ПРИНЦИПОВА СХЕМА ВИРОБНИЦТВА ПАЛИВНИХ ГРАНУЛ або брикетів з біомаси представлена на рис. 7.2.

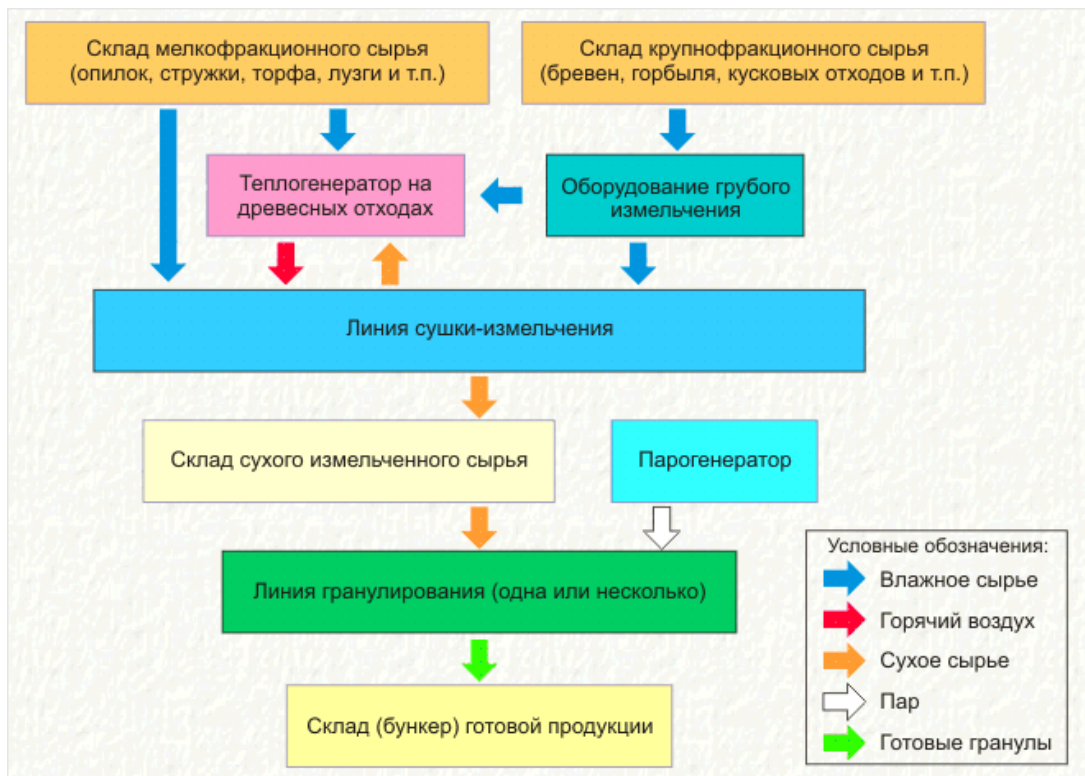


Рис. 7.2 - Принципова схема виробництва паливних гранул або брикетів з біомаси

На цій схемі зображений принцип роботи пеллетного виробництва на будь-якому виді сировини. У кожному окремому випадку необхідність застосування і кількість елементів устаткування кожного типу визначається: а) конкретним видом використовуваної сировини; б) продуктивністю заводу; в) побажаннями виробника. Наприклад, при використанні сировини з вологістю до 12% (такого, як лушпиння соняшнику або сухі стружки), лінія сушки і теплогенератор не потрібні; при загальній продуктивності заводу 4 т/ч ліній гранулювання потрібно 2 штуки та ін.

На мал. 7.3 представлена технологічна схема виробництва паливних деревних гранул, яка є узагальненою моделлю і служить лише для першого знайомства з подібними технологіями. У реальності склад і розміщення устаткування істотно розрізняються від проекту до проекту. Розробка і оптимізація технології по техніко-економічних і цінових параметрах - завдання, що вирішується на етапі передпроектних досліджень і проектування технології.

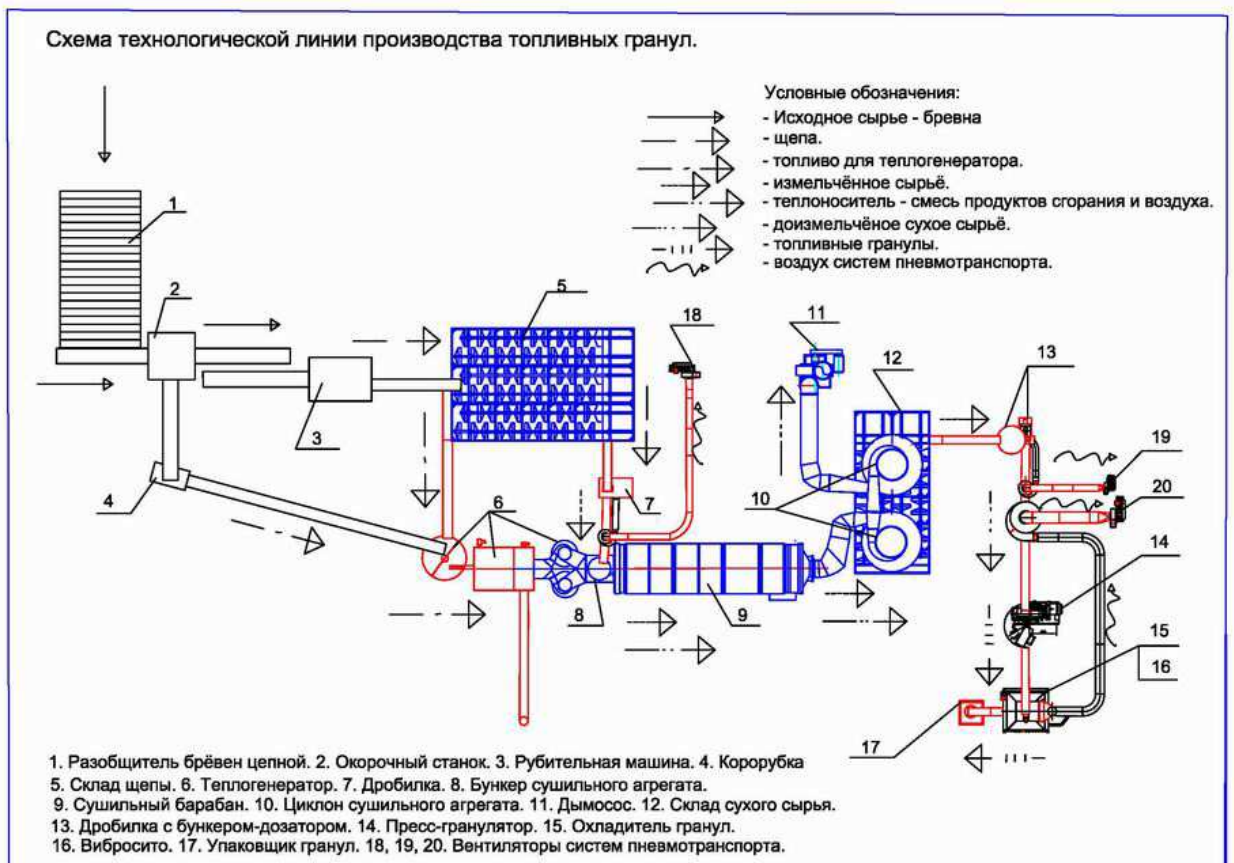


Рис. 7.3. Схема технологічної лінії виробництва паливних гранул

Спалювання паливних гранул виробляється в пеллетних котлах (рис. 7.4).



Рис. 7.4 - Побутовий пеллетний камін

Камера згорання цих котлів відносно невелика, оскільки основний теплосъем відбувається в добре розвиненій багатоходовій конвективній частині котла (до 70 %). В результаті такої конструкції пеллетного котла температура газів, що йдуть, складає всього 120-140°C. Котел обладнаний спеціальним гранульним пальником об'ємного типу, який забезпечує вищий

ККД роботи котла при згоранні гранул, чим у інших категорій твердопаливних котлів, і порівнянна по ефективності з котлами на природному газі.

Пеллетные котли - відносно новий вид опалювального устаткування, що швидко став популярним в Європі завдяки його перевагам, : незалежності від центральних джерел і, отже, тарифних ставок, екологічній чистоті, максимальній автоматизації і безумовній економічності.

Важливим чинником попиту на ці котли є "термін життя" котла, який для пеллетных котлів складає 20 років і більш.

Котли на пеллетах мають високий рівень автоматизації і забезпечують підтримку заданої температури. Подача палива з бункера також здійснюється автоматично, в міру необхідності, завдяки чому котел може працювати без участі людини, наприклад, поки є пеллети в оперативному бункері (до 7 діб і навіть більш).

Потужність гранульних котлів, що встановлюються, як правило, в котеджах, складає від 15 до 500 кВт. Нижня межа пропонованих потужностей визначається в основному економічною доцільністю (менше 15 кВт вигідніше застосовувати гранульні каміни), а верхня межа пропонованих потужностей пов'язана з відсутністю досвідчено-розрахункових підстав для отримання переваг пеллетных котлів перед іншими технологіями (зниження ККД нижче 80 %, зниження терміну "життя" котла до 3-5 років із-за пропалювання конструкцій котла). Пропоновані деякими нечисленними європейськими виробниками пеллетные котли великої потужності (більше 2 МВт) мають спеціальні дорогі агрегати для спеціальної кратної передпідготовки в процесі спалювання пеллет.

Деякі моделі котлів можуть бути оснащені додатковим контуром ГВС (гарячого водопостачання). Котли на пеллетах не вимагають спеціального обслуговування. Чищення золи здійснюється, як правило, 1 раз на місяць.

Пеллетные котли мають високий ККД - 85-95 %. В сукупності з досить низькою вартістю палива, відсутністю витрат на обслуговуючий персонал і т. д. це робить цей вигляд опалювання максимально економічним протягом усього терміну служби будинку, рівень витрат на опалювання пеллетным способом набагато нижчий за вартість опалювання багатьма іншими видами палива. Система опалювання деревними гранулами гарантує повну взриво- і пожаробезопасность.

Торф

Торф - органічна гірська порода, що утворилася внаслідок відмирання і неповного розпаду болотяних рослин в умовах підвищеного зволоження і браку кисню.

Процес утворення твердих палив можна розділити на стадії і представити в наступному виді (рис. 7.5) :

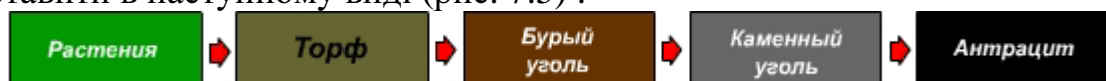


Рис. 7.5 - Стадії утворення твердих палив

Суша речовина торфу складається з продуктів розпаду, рослинних залишків і мінеральних включень. Растения-торфообразователи можуть належати до різних ярусів рослинних співтовариств. Усі вони за певних умов - торфообразователи. Окремі шари торфу включають залишки декількох торфообразователей, тому торф різномірний по ботанічному складу.

Групи рослин атмосферного живлення утворюють торф верхового типу, а торфообразователи, що живляться ґрунтовими водами, - низовинний торф. Залежно від віку і умов освіти (початковий матеріал, кліматичні умови) торф має різну міру розкладання і колір від світло-коричневого до коричнево-чорного. Від цих же умов залежить його структура, кислотність (рН), вологосмкість, зміст макро і мікроелементів, енергетична цінність і інші параметри.

При утворенні торфу, рослини після відмирання, як вже було відмічено вище, потрапляють в сильно зволожену, бідне киснем середовище. Тут вони не розкладаються повністю, як в ґрунті, а тільки частково, тому їх залишки з року в рік накопичуються.

Принцип утворення торф'яного покладу представлений в наступній схемі (рис. 7.6) :



Рис. 7.6 - Принцип утворення торф'яного покладу

У Україні виявлено і розвідано 1562 торф'яні родовища із загальними запасами 1853 млн. тонн, а загальна їх площа складає 639,5 тис. га. Близько 96% торф'яних ресурсів України відноситься до низинного типу, 1,8% - верховому, 1,6% - перехідному і 0,6% - змішаному. Найбільші ресурси торфу зосереджені в північних регіонах країни (на Поліссі) - Волинською, Рівненською, Сумською, Чернігівською і Житомирською областях. На їх території виявлені і розвідано 1056 родовищ, запаси яких складають 1160 млн. тонн.

Різний початковий матеріал і великий діапазон зміни умов торфонакоплення є причиною різноманіття властивостей торфу, що визначає широкий спектр його застосування.

Використання торфу як палива обумовлено його складом: великим змістом вуглецю, малим змістом сірки, шкідливих негорючих залишків і домішок. По суті, це молоде вугілля. Основними недоліками цього виду

палива є: нижча, ніж у вугілля енергетична калорійність і труднощі спалювання із-за високого вмісту вологи (до 65%), але:

- низька собівартість виробництва;
- екологічна чистота згорання (мала доля сірки);
- повне горіння (малий залишок золи);
- нові технології спалювання, що з'явилися.

Усе це робить торф перспективним місцевим джерелом отриманої теплової і електричної енергії :

- дешевшою, ніж при використанні кам'яного вугілля і рідкого палива;
- більш екологічно чистою.

Як паливо торф застосовується в трьох видах:

- Фрезерний (подрібнений) торф у вигляді розсипу для спалювання в зваженому стані.

- Напівбрикет (кусковий) торф, малій мірі пресування, вироблюваний безпосередньо на торф'яному покладі.

- Торф'яний брикет, висококалорійний продукт великої міри пресування, на технологічному устаткуванні замінює кам'яне вугілля.

Раніше торф зазвичай застосовувався як побутове паливо, але з часом почалося його широке використання в промисловості і енергетиці у вигляді фрезерної крихти, брикетів і гранул.

Торф'яні гранули (пеллети) застосовують як паливо промислового призначення, але із-за вищої зольності мають менший попит, ніж деревні або рослинні гранули.

Енергетична цінність торф'яних пеллет залежить від відповідних характеристик початкової торф'яної сировини. Вона може істотно розрізнятися від родовища до родовища, а також залежно від міри розкладання торфу. Нижча теплотворна здатність торф'яних гранул 10% вологості, швидше за все, потрапить в інтервал від 15 до 21 МДж/кг. Зольність торф'яних гранул також залежить від зольності початкового торфу. Найчастіше, масова доля золи в торф'яних пеллетах і брикетах складає 2-8 %. Насипна щільність торф'яних гранул (пеллет) - 650-750 кг/м³

Сміття

Global Change Biology опублікувало результати нових дослідження, в якому говориться про те, що отримання біопалива шляхом переробки сміття може скоротити втрати вуглецю до 80%.

Зараз досягнуто багато успіхів в області створення біопалива з різного виду сировини. Проте багато хто з них має негативну дію на клімат. Сміття у нас досталось на щастя або на жаль. Біопаливо другого покоління, яке витягається з целюлози оброблених побутових відходів, може убити двох зайців відразу, : позбавиться від сміття і отримати біопаливо.

Згідно з результатами дослідження доцента Х'ю Тан з Національного університету Сінгапуру, паливо з біомаси оброблених відходів, такі як папір і картон, є перспективним рішенням чистої енергії".

Дані ООН, отримані в результаті дослідження співвідношення викиду сміття і потреби, в енергії 173 країн показали, що 82.93 млрд. літрів целюлозного етанолу можуть бути отримані з наявних звалищ. Якщо технологія отримання біопалива із сміття буде удосконалитися, то це безумовно збільшить цифри отримані в дослідженні і зробить целюлозний етанол важливим компонентом в отриманні нами поновлюваних джерел енергії.

Наприклад, на острові Уайт біля південних берегів Англії побудований завод, що перетворює звичайне побутове сміття на паливо для печей, - циліндрики завтовшки два і завдовжки чотири сантиметри. За рік завод здатний переробити до 60 000 тонн сміття, перетворивши їх на 20 000 тонн палива. Сміття, що поступає, просіюється, з нього витягаються негорючі матеріали - камені, метали, скло. Залишок підсушується, подрібнюється і пресується в циліндричні брикетки, що нагадують дрібно нарубаний хмиз.

Рідке біопаливо

Людина вже давно усвідомила, що світові запаси нафти не зможуть вічно обслуговувати його енергетичні потреби і рано чи пізно вичерпаються. Цей факт заставляє суспільство замислитися про розробку альтернативного палива, яке ні в чому не повинне поступатися звичному бензину, але нове паливо, на відміну від нафти, що йде в історію, має бути практично невичерпним.

У зв'язку з викладеними фактами прийнятним варіантом вирішення проблеми багатьом дослідникам представляється застосування рідкого біопалива, виробництво якого, незважаючи на домінування нафтових продуктів, активно розвивається упродовж усього двадцятого століття, а окремі спроби створення доводяться на ще більш ранній термін.

У цьому підрозділі представлена інформація про види рідкого біопалива (етанол, біометанол, бутанол, біодизель), способи його виробництва, можливих наслідках для довкілля у разі масового споживання цього продукту.

Етанол

Етанол по праву можна вважати самим древнім продуктом біоенергетики. Він з'явився близько чотирьох тисяч років назад і місцем його народження стали древні держави з високим рівнем цивілізації - Стародавній Єгипет і Вавілон. В той же час історія етанолу - це, передусім, історія виробництва алкогольних напоїв. І тільки невелика частина етанолу використовувалася в промисловому секторі.

Але декілька десятків років назад ситуація істотно змінилася. Сьогодні не менше п'ятдесяти відсотків етанолу, що випускається у світі, використовується як добавка до палива для двигунів внутрішнього згорання. А виробництво алкоголю забезпечує лише п'ятнадцять відсотків.

При цьому постійно збільшується кількість етанолу, вироблюваного за допомогою біотехнології.

Так, в 1998 році було вироблено близько 31 мільярда літрів цієї речовини, і тільки сім відсотків цієї продукції - результат хімічного синтезу, а дев'яносто три відсотки утворилися завдяки дріжджовій ферментації.

Як сировина використовувалися цукор (60 відсотків) і зерно (33 відсотки). Про постійне збільшення споживання етанолу свідчать цифри. За останні тридцять років обсяги виробництва паливного етанолу зросло з двох до двадцяти мільярдів літрів.

Останнім часом як сировина для етанолу активно застосовується кукурудза. Виробництво цього продукту особливо розвинене в таких країнах як Бразилія і США. Тут діють спеціальні програми, спрямовані на підтримку галузі. До речі, незабаром аналогічна програма почне діяти і в Європейському Союзі.

Завдяки впровадженню етанолу Бразилія змогла заощадити близько 35 мільярдів доларів, які треба було б витратити на купівлю нафтопродуктів. Ця країна вже в змозі виробляти близько шести з половиною мільярдів літрів етанолу, що складає тринадцять відсотків від загальної кількості необхідного країні палива.

При цьому створюються спеціальні паливні суміші, в яких бензин змішаний з етанолом в пропорції 74 на 26 відсотків. Зміст етанолу в дизельному паливі на даний момент набагато нижче - три відсотки.

Використовувати такі поєднання дуже зручно. Головна перевага - не треба нічого міняти, новий варіант палива прекрасно підходить для усіх існуючих двигунів.

Способи виробництва біоетанолу.

Існує багато способів производста біоетанолу. Досить давно застосовується спосіб спиртового бродіння органічних речовин, у складі яких присутні вуглеці. Це виноград, різні плоди і так далі. Бродіння відбувається внаслідок дії ферментів дріжджів і бактерій. Аналогічні процеси відбуваються з кукурудзою, крохмалем, картоплею, рисом. Результатом хімічної реакції стає розчин, який містить близько п'ятнадцяти відсотків етанолу.

Добитися іншого, вигіднішого процентного співвідношення неможливо, оскільки дріжджі гинуть в розчинах більшої концентрації. Після цього етанол очищається і дистилується.

При виробництві етанолу в промислових умовах передбачені певні стадії. Найбільш важливою є підготовка сировини, що включає його подрібнення, ферментація, брагоректифікація.

Біоетанол є проміжним продуктом життєдіяльності спеціально підібраних колоній мікроорганізмів, розкладаючих полімерні структури біомаси до полісахаров, а потім що переробляють їх в етанол. Сукупність протікаючих реакцій надзвичайно складна, але у рамках цього курсу досить обмежитися укрупненим стадійним аналізом. При такому підході увесь процес виробництва представляється досить простим і доступним для наочного термодинамічного аналізу. Основні процеси отримання етанолу протікають у воді, де присутні в сильно розбавленому стані заздалегідь добре подрібнені і оброблені суспензії сировини і культури мікроорганізмів, що вводяться ззовні. Температура підтримується на рівні 20-38 З, залежно від виду бактерій. Головна трудність усієї технології - необхідність задовольняти суперечливим вимогам ефективності процесу і життєдіяльності мікроорганізмів :

- - для зростання маси активних мікроорганізмів потрібний кисень;
- в середовищу кисню мікроорганізми перемикаються на інший життєвий цикл з повною переробкою полісахаров і кінцевим виходом З і води.

Саме із-за цього протиріччя технологія виробництва біоетанолу вимушена створювати окремі підприємства по вирощуванню спеціалізованих штамів мікроорганізмів, на яких підтримуються умови, абсолютно відмінні від умов основного виробництва. Витрати, пов'язані з цим побічним процесом, складають майже половину від загальних витрат на виробництво біоетанолу, і їх скорочення розглядається як основний резерв зниження вартості біоетанолу.

Технологія виробництва біоетанолу

Біоетанол отримують в результаті спиртового бродіння (ферментації частин рослинного цукру і крохмалю) з наступною ректифікацією або гідролізним методом.

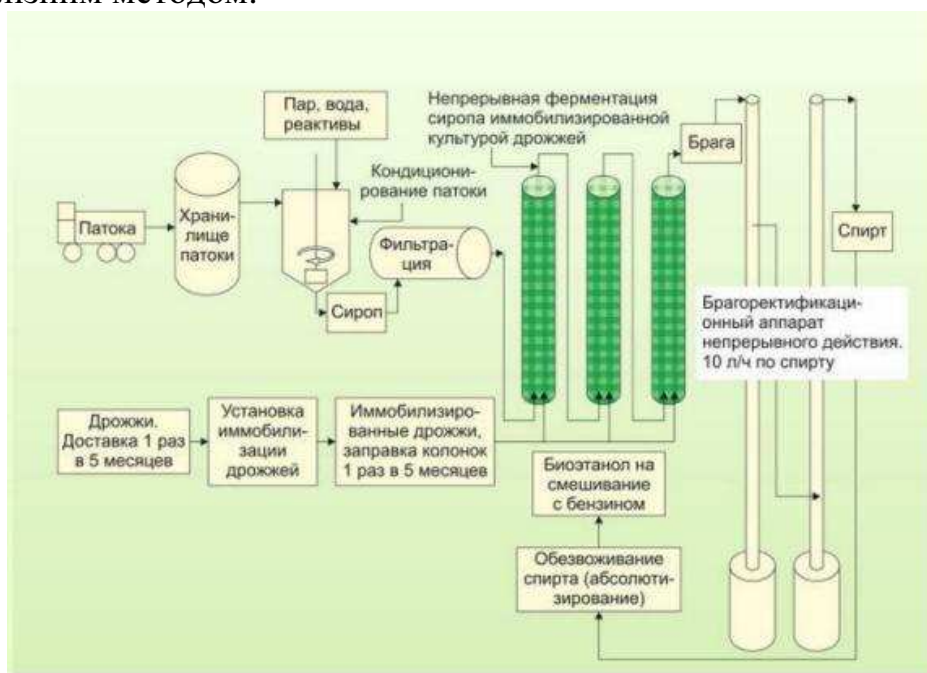


Рис. 7.7 - Технологія виробництва біоетанолу

Процес отримання біологічного спирту досить складний, оскільки йому передують велике число технологічних операцій, пов'язаних з виділенням окремих компонентів із зерна, : крохмалю, глютену, зародка і клітковини, у водному середовищі. Технологічний ланцюжок багато в чому схожий з процесом виробництва харчового спирту. При цьому у разі біологічного палива все частіше використовують технологію мокрого помелу зерна.

Спочатку зерно очищається і замочується. Потім прямує на мокре дроблення для наступної сепарації зародка і відділення клітковини. Розчин, що залишився після сепарації, містить розчинений крохмаль і глютен, прямує на другу стадію сепарації. На цьому етапі відбувається виділення глютену з розчину, що залишився, з утворенням вологого глютену і крохмалю. Отриманий вологий крохмаль, за допомогою різних технологічних операцій, перетворюється в наступні продукти: сухий крохмаль, етанол, концентровану фруктозу.

На відміну від харчового спирту, біоетанол майже не містить води (його концентрація - 99,8%) і виробляється укороченою дистиляцією (дві колони ректифікацій замість п'яти). Основними складовими біологічного спирту є метан і сивушні масла, що робить його непридатним для питва.

Особливістю виробничого процесу є отримання так званого "ко-продукта". У разі сухого млива зерна - суха дробина з розчинними речовинами (DDGS - Distillers Dried Grains with Solubles) і CO₂; у разі мокрого помелу - глютен (пшенична клейковина, якщо сировина - пшениця), CO₂ і корма для тварин.

Як правило, продукти (оболонки зерна, дріжджі, протеїн (глютен) зерна), що залишилися після ферментації, знаходять широке застосування як корм для худоби і служать додатковим джерелом прибутку для біопаливних виробників.

Вуглекислий газ, що утворюється у великих кількостях в ході технологічних операцій, досить складно продати із-за його низької вартості, тому зазвичай великі біоетанольні компанії конструюють в безпосередній близькості від основного виробництва комплекси по переробці CO₂.

Сучасні технологи дозволяють використовувати практично будь-яке сахаро- і крохмало- сировина, що містить, : цукрову тростину, цукровий буряк, картоплю, кукурудзу, пшеницю, ячмінь, жито і так далі

Таблиця 7.2. Обсяг виробництва біоетанолу з різних сільськогосподарських культур

сировина	обсяг виробництва біоетанолу з площі 1 га, м ³
цукровий буряк	2,5-3,0
цукрова тростина	3,5-5,0
кукурудза	2,5

пшениця	0,5-2,0
картопля	1,2-2,7
цукрове сорго	3,0-5,0

Фахівці відмічають, що бульбові культури, з урахуванням показників врожайності і вартості сировини на літр біоетанолу, можуть також використовуватися для виробництва біологічного палива разом із зерновими. Проте сам процес їх виробництва досить трудомісткий і економічно не такий привабливий. Картопля, на думку фахівців, доцільно використовувати лише як додаткову сировину.

Найпоширенішими сировинними джерелами є цукрова тростина і зерно, причому в 90% зерна доводиться на кукурудзу.

Паливо за участю біоетанолу.

Еу (етанол український) - це українське моторне паливо, створене по найвищими світовими технологіями і більш, ніж на 80% складається з етилового спирту, виробленого в Україні. Це паливо має світовий аналог Е85, маючи при цьому істотні переваги. Місія палива Еу полягає в появі в Україні власного, абсолютно екологічного і безпрецедентно дешевого виду палива, яке зробить державу енергетично незалежною, повітря чистим, а громадян, фермерів, і сільське господарство - забезпеченіше і вільними перевозити свої товари туди, де їх куплять за справедливую ціну.

Паливо Еу - безбарвна прозора речовина, яка являє собою суміш етилового спирту, легких фракцій бензинів, інші вуглеводні, ефіри і прості естери, стабілізатори, спеціальні хімічні речовини різноманітного призначення, які впливають на хімічні процеси при використанні палива, а також унікальні компоненти, розроблені нашими науково-дослідними інститутами, які перетворюють таку складну і різнобращную суміш речовин у високоякісне і стабільне паливо. Паливо виробляється за унікальною у світі технологією і має гарантію якості виробника.

Марки палива :

Еу- 85 (зимове) : суміш з підвищеною кількістю легких фракцій бензинів, ефірів і інших речовин, для надійного запуску холодного двигуна в зимовий період при низьких температурах.

Еу- 95 (літнє) : суміш з невеликою кількістю легких фракцій бензинів, ефірів і інших речовин, для надійного запуску холодного двигуна в теплий період року.

Еу- 99 (професійне) : суміш з наднизькою кількістю легких фракцій бензинів, ефірів і інших речовин, для тих, хто цінує абсолютну екологічність і найнижчу ціну. Запуск двигуна на Еу- 99 можливий на будь-якому теплому двигуні, на холодних двигунах при температурах від +30С або при будь-яких температурах, у тому числі зимових, при використанні технологій підігрівання (детально описаних в розділі "Як їздити") або запуску холодного двигуна спреями "холодний старт", як найпростішого і зручнішого способу.

Переваги:

1. Економія значних коштів за рахунок ціни палива, виробленого в Україні і з відновлюваної біологічно чистої сировини.

2. Економія значних коштів за рахунок витрат на моторне мастило, оскільки при згоранні палива відсутня сірка, луги, сажа і інші продукти нафтегорення, які окислюють моторне мастило і ведуть до його почорніння і втрати корисних властивостей.

3. Економія коштів на свічках запалення, оскільки при згоранні Еу на них не утворюється нагар.

4. Можливість реєстрації переходу автомобіля на альтернативне паливо Еу і оплата 50% щорічного транспортного збору.

5. Екологічність палива. Повітря міста і природне довкілля залишаються чистими, навіть якщо паливо потрапить в ґрунт або водоймище.

6. Збільшення терміну служби двигуна, у зв'язку з тим, що:

- моторне мастило не окислюватиметься і не втрачатиме свої властивості;

- етанол має меншу теплотворну здатність, тому камера згорання циліндрів, випускні клапани циліндрів і інші частини ДВС працюють в менш несприятливих умовах. Ризик прогорання випускних клапанів, як це відбувається при горінні пропан-бутана або метану, відсутній;

- двигун не перегрівається під час сильної жары або міських пробок (зниження температури рідини, що охолоджує, на виході з двигуна досягає 15-20С);

- етанол має меншу швидкість горіння, тиск при запаленні в циліндрах росте повільніше, ніж при горінні бензинів, що зменшує миттєву навантаженість на пошни і інші силові елементи двигуна.

7. Октанове число палива досягає 113 одиниць, що робить його придатним на двигунах усіх мір стискування паливної суміші, яке працює на бензинах усіх марок, : 76, 80,92,95,98. Крім того, для професіоналів доступна можливість підвищити міру стискування до 11,5-12,5 одиниць і отримати підвищення потужності двигуна, ККД, момент, що крутить, і ще більшу економічність. Високе октанове число також має ще дві переваги:

- поліпшену стабільність неодруженої роботи двигуна, збільшений момент двигуна на низьких оборотах, підвищену повноту згорання суміші і економічність за рахунок більш раннього займання паливної суміші, що крутить;

- абсолютна відсутність детонації паливної суміші при максимальних навантаженнях роботи двигуна.

8. Етанол не утворює сажу, нагари і диму при будь-кому режиму роботи двигуна, у тому числі при сильном Perezбагаченні суміші.

9. Перехід з бензину на етанол збільшує потужність на 5% і вищі результати для двигунів з турбонадувом, оскільки при правильному згоранні етанолу з повітрям, суміш виробляє більше енергії за рахунок більшої кількості палива, яка може бути спалена (етанол, як відомо, згорає

ефективніше за бензин) і крім того, етанол сильніше охолоджує камеру згорання, що збільшує кількість кисню в камері.

10. Етанольне паливо являється безпечніше: має вищу температуру кипіння, випари, і значно нижчу схильність вибуху при серйозних ДТП.

Недоліки:

1. Як вже було сказано вище, теплотворна способность палива нижчі, ніж бензинів. Але окрім переваг це має і недолік: в зимовий час двигун прогріватиметься повільніше на 20-30% часі, або 3-4 мін проти 1-3 хв.

2. Із-за нижчого теплотворення і низької міри стискування бензинових двигунів, різні двигуни використовують від 0% до 38% більше палива залежно від міри стискування двигуна і налаштувань потужності при переході на Еу. Це не впливає на економічну вигідність використання палива навіть на тлі природного газу, але мають недоліком максимальне відстані руху автомобіля без дозаправки.

3. Після використання перших 30-40 л палива Еу на старих автомобілях, бажано замінити паливний фільтр, оскільки паливо Еу змиває опади, смоли і інший бруд, який часто осідає на дно безнобаков і стінки паливної системи при використанні наших низькоякісних бензинів.

4. Дизельні двигуни можуть працювати на цьому виді палива тільки після установки потужного підігрівання повітря, що входить, з можливістю відключення для збереження бітопливності двигуна.

Биометанол і бутанол

Биометанол утворюється шляхом промислового культивування і біотехнологічної конверсії морського фітопланктону. Для цього створюються спеціальні штучні водоймища на морському узбережжі.

В результаті відбувається метанове бродіння біомаси і далі здійснюється гідроксилування метану з отриманням метанолу. Сировиною є мікроскопічні водорості.

Ця технологія досить перспективна і відрізняється чималими перевагами. Так, використовуваний фітопланктон досить продуктивний. Для виробництва не треба майже нічого: не експлуатуються родючі землі, не виробляється прісна вода.

Загалом, економічно проект дуже вигідний і не йде в розріз з екологічними вимогами. Що ж до бутанола, то цей вид рідких енергоносіїв є безбарвною рідиною.

Вже зараз бутанол набуває широкого поширення в промисловості. Історія цієї речовини почалася на початку двадцятого століття. Для створення продукту була застосована бактерія *Clostridia acetobutylicum*.

В середині століття бутанол виробляють і з нафти, але зараз це не має сенсу і бутанол знову стає біопаливом. Речовина має багато важливих переваг.

Так, бутанол не є джерелом виникнення корозії. До речі, цілком поєднаємо з традиційними джерелами енергії, його можна змішувати з бензином. Також бутанол застосовують для виробництва водню.

Існують і інші способи його створення. Як сировина використовуються такі звичні культури як цукрова тростина, буряк, кукурудза і інші.

Виробництво біометанолу доки не має промислового масштабу, але напрям є одним з найбільш перспективних в альтернативній енергогалузі.

Биобутанол

Бутанол є спиртом (безбарвна рідина з характерним запахом сивушного масла) з чотирма атомами вуглецю (C_4H_9OH). Під терміном "биобутанол" розуміється бутіловий спирт (бутанол), отриманий з рослинної сировини.

Бутанол застосовують як розчинник в лакофарбній промисловості, у виробництві смол і пластифікаторів, в синтезі багатьох органічних сполук. Може застосовуватися як компонент до традиційних палив або як самостійне паливо для транспортних засобів.

Сировина для виробництва бутанола. Бутіловий спирт (бутанол) як і етиловий спирт (етанол) може бути отриманий:

- - шляхом переробки цукру або крохмалю з/х рослинних культур (биобутанол I покоління);
- - шляхом переробки целюлози рослин (биобутанол II покоління);
- - шляхом синтезу хімічної сировини (бутанол).

Бутанол, вироблений з біомаси, прийнято називати биобутанолом, хоча він має абсолютно ті ж характеристики, що і бутанол, отриманий з нафти (хімічної сировини).

Історія виробництва бутанола. Промислове виробництво бутанола почалося в 1916 році. Тоді використовувався метод ферментації АБЭ (ацетон, бутанол, етанол) із застосуванням бактерії *Clostridia acetobutylicum*. Цей мікроорганізм, який виробляє ацетон, уперше виділив Haim Weizmann (патент США №1 315 585). Під час I світової війни Англія звернулася до молодого мікробіолога з проханням передати їй право на виробництво таким методом ацетону для наступного отримання кордиту (бездимного пороху). Процес використовувався аж до 1920-х років для отримання виключно ацетону. Проте на кожен літр ацетону під час ферментації виходили додатково два літри бутанола. Хтось одного дня узяв нітроклітковину, змішав її з бутанолом і отримав швидко висихаючий лак. Через три роки автомобілебудування кардинально змінило увесь ринок, і до 1927 року основним продуктом АБЭ процесу став бутанол, тоді як ацетон став побічним продуктом. Під час II світової війни бутанол використовувався у виробництві синтетичного каучуку.

Таким чином, в першій половині XX століття биобутанол вироблявся з кукурудзи або патоки шляхом ферментації за допомогою бактерій *Clostridium acetobutylicum*. В результаті виходив ацетон, бутанол і етанол (звідси процес носить назву АБЭ). Побічними продуктами ферментації АБЭ є

водень, ізопропанол, оцтова, молочна, пропіонова і масляна кислоти, а також діоксид вуглецю і ліпіди. Необхідність розподілу основних продуктів ферментації і видалення побічних - впливає, зокрема, на збільшення собівартості кожного літра бутанола.

З 1954 року ціна нафти стала нижча за ціну цукру - у зв'язку з тим, що США втратило дешевих постачань цукру з Куби. В результаті на тлі постійного зростання попиту на бутанол ферментативне виробництво почало скорочуватися. Нині бутанол виробляють з нафти найбільш ефективними методами - гідролізом галогеналканов або гідролізом і гідратацією алкенів.

Сьогодні бутанол використовується, передусім, як промисловий розчинник. Світовий ринок цього продукту оцінюється в 350 млн. галонів в рік, з яких 220 млн. галонів в рік припадає на частку США.

Бутанол як моторне паливо. Бутанол може замінювати бензин як паливо навіть більшою мірою, ніж етанол, завдяки своїм фізичним властивостям, економічності, безпеці, а також через те, що його використання не вимагає переробок двигуна автомобіля.

Основною причиною, по якій до недавнього часу ніхто не знав про бутанол як про альтернативне паливо, є те, що виробництво цього продукту ніколи не рахувалося економічно доцільним. Як було сказано вище, цей продукт використовується в основному як промисловий розчинник, ціна якого перевищує приблизно в три рази ціну газу. Традиційний процес ферментації дає з бушелю зерна (35 фунтів цукру) тільки 1,3 галона бутанола, 0,7 галона ацетону, 0,33 галона етанолу і 0,62 фунта водню. Таке виробництво бутанола не може конкурувати з технологією виробництва етанолу, яка дає 2,85 галона продукту на бушель. Прогрес в області біотехнології дозволив перетворити кукурудзу і іншу біомасу на досить економічне джерело биобутанола, проте старт промислового виробництва ув'язується з рішенням ряду проблем.

В порівнянні з етанолом, бутанол може бути змішаний у вищих пропорціях з бензином і використовуватися в існуючих автомобілях без модифікації системи формування легко-паливної суміші.

Бутанол виділяє чистій енергії на робочий цикл більше, ніж етанол або метанол, і приблизно на 10% більше, ніж бензин.

У зв'язку з отриманням нових високоекономічних технологій виробництва биобутанола, нині отримуваний із зерна бутанол привертає уся більшу увагу фахівців для застосування його як паливо. І не виключено, що в найближчі 10-15 років етанол втратить пальму першості.

Успіх обумовлюється рядом переваг бутанола перед етанолом, серед них:

1. Бутанол утримує на 25% більше енергії, ніж етанол: 110 тис. ВТУ на галон бутанола проти 84 тис. ВТУ на галон етанолу. Бензин же містить близько 115 тис. ВТУ на галон.

2. Бутанол безпечніше у використанні, оскільки в шість разів менше випаровується, чим етанол і в 13,5 разів менш летуч, ніж бензин. Пружність

пари бутанола по Рейду складає 0,33 фунта/кв. дюйм, у бензину це 4,5 фунти/кв. дюйм, у етанолу - 2,0 фунти/ кв. дюйм. Це робить бутанол безпечнішим при використанні як оксигената і не вимагає особливих змін пропорцій суміші при використанні зимою і літом. Зараз він використовується як оксигената в штатах Арізона, Каліфорнія та ін.

3. Бутанол - набагато менш агресивна речовина, ніж етанол, тому може транспортуватися по існуючих паливних трубопроводах, тоді як етанол повинен транспортуватися залізничним або водним транспортом.

4. Бутанол можна змішувати з бензином.

5. Бутанол може повністю замінювати бензин, тоді як етанол може використовуватися тільки як добавка до бензину з максимальним змістом в суміші не більше 85% і тільки після істотних переробок двигуна. Нині у світі переважають суміші з 10% -ним змістом етанолу.

6. Виробництво бутанола допомагає вирішити проблеми, пов'язані з інфраструктурою постачання воднем.

7. Змінений бутанол має вищий вихід енергії (10 Вт-ч/г), ніж етанол (8 Вт-ч/г).

8. При горінні бутанол не виробляє оксидів сірки або азоту, що дає істотну додаткову вигоду з точки зору екології.

Таким чином, биобутанол економічніший, ніж суміш етанолу з бензином, він покращує паливну ефективність автомобіля і збільшує пробіг на одиницю палива, що витрачається. Биобутанол виходить з тієї ж самої сировини - кукурудзи, цукрового буряка, сорго, маніоки, цукрової тростини, кукурудзяних стебел і іншої біомаси, що і етанол, але може замінювати бензин в рівному об'ємі.

Розвиток технологій виробництва бутанола I покоління

Environmental Energy

Ферментація АБЭ за допомогою бактерій *Clostridium acetobutylicum* - один з перших процесів, застосованих для промислової ферментації бутанола. На основі використання згаданих анаеробних мікроорганізмів уперше у світі була створена така галузь, як мікробіологічне виробництво. Проте до отримання штаму під назвою *Clostridium beijerinckii* і створення нової технології компанією Environmental Energy, ферментація була складною і трудноуправляемым процесом.

При типовій ферментації АБЭ спочатку бактерії *Clostridium acetobutylicum* виробляють масляну, пропіонову, молочну і оцтову кислоти (стадія виробництва кислоти), потім водневий показник культури знижується і таким чином ініціюється метаболічне зрушення до стадії виробництва розчинника, внаслідок чого виходить бутанол, ацетон, ізопропанол і етанол.

Зрушення ініціюється підвищенням концентрації масляної кислоти більше 2 г/л і зниженням водневого показника менше 5. При використанні звичайної ферментації АБЭ вихід бутанола з глюкози низький: приблизно 15% і рідко перевищує 25% (1,3 галона на бушель). Виробництво бутанола обмежується тим, що при концентрації в 1,0-2,0% бутанол істотно блокує

зростання клітини і може викликати припинення ферментації. Тому концентрація бутанола при звичайному процесі АБЭ зазвичай не перевищує 1,3%. Усі спроби, зроблені за останні 20 з гаком років, дозволили у кращому разі отримати бутанол з концентрацією менше 2,0%, при продуктивності 4,46 г/л/ч і виході бутанола менш ніж 25% від ваги глюкози.

На початку 21 століття Hans Blaschek, професор харчової мікробіології Університету штату Ілінойс, отримав новий штам бактерії *Clostridium*. У 2004 році *Clostridium beijerinckii* був вибраний Міністерством енергетики США для генного картирования. Робота проводилася в Об'єднаному інституті геномів в Каліфорнії. У квітні 2006 року на конференції в Університеті штату Ілінойс, присвяченій біоенергії, професор Hans Blaschek виступив з повідомленням про істотний прогрес у своїй розробці технології виробництва бутанола.

Використовуючи запатентований їм генетично змінений мікроорганізм *Clostridium beijerinckii*, він успішно перетворив кукурудзу в бутанол. Для ініціації процесу ферментації професор використовував отриману ним карту генома мікроорганізму. Надалі, використовуючи результати аналізу генома, він планує вивести друге, ще ефективніше покоління мікроорганізму *Clostridium beijerinckii*.

Крім того, професор Hans Blaschek розробив основи технології отримання бутанола шляхом витягання з газу. При цьому бутанол буде недорогим і без забруднень, можливих при використанні технологій, заснованих на застосуванні мембран.

У планах ученого - масштабувати ферментативний процес отримання бутанола за допомогою існуючого штаму *Clostridium beijerinckii*, підібрати ефективну зернову сировину і тип зернових волокон для виробництва бутанола, а також створити друге покоління мікроорганізмів.

Трохи пізніше, об'єднавши в процесі два чергових, нових штаму бактерій і пред'явивши ряд інженерних рішень, компанія Environmental Energy заявила про створення повноцінної технології отримання биобутанола. Компанії був виданий патент США №5 753 474 "Безперервний двоступінчатий анаеробний ферментативний процес отримання бутанола і інших органічних розчинників з використанням двох різних штамів бактерій". Патент описує технологію, яка дозволяє сподіватися на полу-чение ефективного і економічно рентабельного бутанола. Використання компанією здвоєних био-реакторов з іммобілізованими клітинами безперервної дії збільшує вихід бутанола до 2,5 галона на бушель зерна плюс додаткових 0,6 фунта водню як побічний продукт.

Спочатку розробка була здійснена на засоби федерального гранту, виділеного Міністерством енергетики США у рамках програми розвитку малого бізнесу, і в співпраці з доктором S.T. Yang з університету штату Огайо, який надав компанії для цих цілей запатентований ним біореактор.

Оптимізація процесу ацетон-бутанол-етанольної (АБЭ) ферментації і отримання бутанола за допомогою масляної кислоти, перетвореної з

вуглеводів, дозволило істотно збільшити вихід, об'ємну продуктивність і концентрацію бутанола. Використання компанією Environmental Energy культур імуннодефіцитів *Clostridium tyrobutyricum* і *Clostridium acetobutylicum* дозволяє отримати оптимальну продуктивність бутанола 4,64 г/л/ч і вихід 42% від ваги глюкози, або 2,5 галони на бушель зерна (35 фунтів крохмалю/лактози/цукру).

В порівнянні із звичайним процесом АБЭ, технологія компанії Environmental Energy усуває виробництво небажаних продуктів, включаючи оцтову, молочну, пропіонову кислоти, ацетон, изо-пропанол і етанол, таким чином, зберігаючи вуглець і виробляючи тільки вуглекислий газ, водень, масляну кислоту і бутанол. Цей процес подвоює вихід бутанола з 1,3 галонів до 2,5 галонів на бушель зерна.

Крім того, нова технологія пов'язана з виробництвом побічного водню, який також є альтернативним паливом. Зважаючи на попутне виробництво водню, нова технологія дозволяє отримати з бушеля зерна на 42% більше енергії, чим виробляється в ході звичайного отримання етанолу - 25% цієї різниці дає бутанол і 18% - водень. Важливо розуміти, що навіть у відсутність технічної бази для застосування водню як альтернативне джерело енергії - він є цінним хімічним продуктом, затребуваним в багатьох підгалузях хімічної промисловості.

Компанією Environmental Energy на території США створена експериментальна установка по про-изводству биобутанола, на якій, по заявах фахівців компанії, биобутанол можна произво-дить з усього, що росте на земній кулі. Спочатку компанія Environmental Energy має намір налагодити про-изводство биобутанола для ринку розчинників, а надалі продавати його як альтернативне топ-ливо.

DuPont і BP

У 2006 BP і DuPont оголосили про спільну діяльність по випуску передового біопалива, позначивши своєю головною метою биобутанол. У 2008 р. компанії оголосили про результати тестування палива, включаючи дані про те, що :

- - 16% биобутаноловая суміш діє так само, як і 10% етаноловая суміш;
- - суміші з великим змістом бутанола також показали себе з кращого боку;
- - щільність енергії биобутанола ближче до неетильованого бензину;
- - биобутанол не змішується з водою.

Раніше в 2008 р. компанії заявили, що у рамках партнерства велася розробка бутанола- 1 і бутанола- 2 (останній називається ізомером бутанола, він містить 4 атоми вуглецю, але атоми спирту розташовані в іншому порядку). Мета партнерства - розробити до 2010 року процес виробництва биобутанола економічно рівний процесу виробництва біоетанолу. Зараз компанії подали заявки на більш ніж 60 патентів в областях біології, ферментній обробці, хімії і кінцевому використанні биобутанола.

В цілому BP і DuPont проінвестують близько 400 млн. доларів в будівництво нового заводу. Завод займеться виробництвом біоетанолу, при цьому друга, невелика демонстраційна потужність приступить до випуску біобутанола. Пізніше усе підприємство може бути переобладнане для виробництва бутанола.

Завод по виробництву етанолу буде побудований на вже існуючому хімічному виробництві BP. Будівництво заводу завершиться у кінці 2009 р.. Потужність виробництва складе 420 млн. літрів біоетанолу в рік. Етанол вироблятиметься з пшениці. Змонтований на загальному майданчику демонстраційний завод зможе виробляти 20 тис. літрів в рік біобутанола з різної біологічної рослинної сировини, переважно - цукорвмісних і крохмальвмісних культур.

Процес ферментації в біотехнології

Проблема поліпшення технології процесу і мікроорганізмів, які здійснюють ферментацію, також є рушійною силою наукових і урядових досліджень. Наприклад, Nasib Qureshi вивчав процес біобутанолового виробництва більше 20 років. Він приїхав в США з Нової Зеландії, щоб розробити мембранний процес для ефективнішого отримання бутанола з ферментативного середовища. Він також працював над отриманням ефективних бутанолових біореакторів. Останніми роками, проте, його дослідження отримало новий напрям. Воно сфокусоване на оптимізації процесу для економічніших сировинних ресурсів, таких, як солома пшениці, ячмінь, просо, фураж.

Передусім, в мікробіологічному процесі ферментації бутанола є одна парадоксальна особливість: хоча бутанолообразуюча бактерія створює ензими, які конвертують прості цукру в алкоголь, сам бутанол токсичний для цих мікробів. Результатом такого бутанолового інгібування є низька концентрація спирту у ферментуючій середовищі, що призводить до зниження виходу бутанола і збільшення витрат виробництва. Це проблеми, які виникають при використанні високоочищеної сировини. Коли використовується дешевша біологічна сировина, додаткові бактерійні інгібітори виробляються на стадії попередньої обробки.

Розвиваються стратегії по зниженню токсичності бутанола і збільшенню виходу, включаючи декілька інтегрованих рівнів в процесі управління мікробіологічними культурами. Загальний процес, який команда Qureshi розробила для виробництва бутанола з сільськогосподарських відходів, включає чотири етапи:

- - первинна обробка, яка розкриває оболонку клітинної структури і видаляє лингін;
- - гідроліз геміцелюлози і целюлози на прості гексозные і пентозные цукру, використовуючи ензими;
- - ферментація простих цукрів в бутанол, використовуючи чисту культуру *Clostridium beijerinckii* P206, анаеробні бактерії;
- - отримання бутанола.

Унікальна характеристика процесу полягає в тому, що останні три етапи поєднуються і здійснюються в одному реакторі. Команда Qureshi зараз займається отриманням патенту на цей процес.

До того ж Qureshi співробітничав з Lars Angenent, фахівцем в області доквілля Вашингтонського університету, також як і з іншими фахівцями Дослідницького підрозділу міністерства сільського господарства США, щоб підвищити рентабельність етапу гідролізу. Ідея полягає в тому, щоб замінити необхідні ензими, які частенько дорого коштують, на змішану культуру мікроорганізмів. У співпраці з Qureshi, Angenent використовуватиме мікроби, зібрані з осаду в метантанке, і мікроби з овечого рубця, щоб ферментувати заздалегідь оброблені волокна кукурудзи в масляну кислоту. Отримане рішення буде відправлено до лабораторії Qureshi, де буде ферментовано в бутанол за допомогою монокультури Clostridium.

Співпраця знаходиться ще в періоді становлення, воно фінансується грантом, отриманим від міністерства сільського господарства США. Нині команда Angenent працює над оптимізацією виробництва масляної кислоти, змінюючи такі умови, як рН і температура. Коли умови будуть сприятливі для виробництва масляної кислоти в значних кількостях, Qureshi перейме керівництво на себе.

Розвиток технологій виробництва бутанола II покоління ВАТ "Корпорація "Біотехнологія".

ВАТ "Корпорація "Біотехнологія" робить ставку на виробництво биобутанола II покоління, який виробляється з поновлюваних нехарчових джерел сировини - тирси, соломи, торфу. Такий підхід не просто вирішує проблему використання не за призначенням сільгосппродукції, але і допомагає впоратися з ще однією серйозною проблемою - повсюдним скупченням відходів, просто засміченням територій. ВАТ "Корпорація "Біотехнологія" розробили і пропонують таку технологію виробництва биобутанола, коли як первинна сировина використовуються целлюлозосодержачі відходи сільхоз-переробки і лісової промисловості. Сама по собі ця технологія унікальна, має інноваційний характер. По суті, з целлюлозосодержачого сировини витягається ферментативний бутанол.

У целюлозі головна проблема - це чисто наукова проблема: як її зруйнувати для того, щоб могли працювати ферменти. У російському винаході ця проблема вирішується за допомогою помелу до мікронних розмірів - це перший етап, який дозволяє розкрити целюлозу.

Багато зарубіжних компаній, вже вклали сотні мільйонів доларів в розробку подібної технології. Але усі зусилля виявилися марними, особливо в частині реалізації в промисловому масштабі. По заявах ВАТ "Корпорація "Біотехнологія" їх наукові розробки виявилися успішнішими.

Більше того, 9 вересня 2008 р. на підприємстві ВАТ "Східно-сибірський комбінат "Біотехнології" (ВСКБТ) в р. Тулуна Іркутської області на досвідчено-промисловій установці за цією технологією був успішно вироблений перший у світі биобутанол з деревини. На отриманому

биобутаноле (у різних пропорціях з бензином) з Тулуна в Тольятті зробили пробіг у рамках спільного проекту з ВАТ "Автоваз" три автомобілі Lada Kalina. Заправлені біопаливом (сумішшю бензину і биобутанола), вони здолали відстань в 4 тис. кілометрів і без яких-небудь ускладнень доїхали до кінцевого пункту. Вироблені проміжні і фінальні виміри показали значне зниження двигунами цих машин шкідливих викидів в атмосферу.

2.4 Біодизель

Біодизелем називається метиловий ефір, який утворюється в результаті хімічної реакції з участю на основі різних жирів. Це можуть бути жири тваринного, рослинного або мікробного походження.

Зокрема, з успіхом застосовується рапсова олія, кокосове масло, відходи харчової промисловості. В принципі, кожна країна використовує ті рослини, які доступні в цій кліматичній зоні. Тому список сировинних рослин можна ще довго продовжувати і там знаходяться екзотичні для європейця назви (ятрофа або соя).

Виробляють біодизель таким чином. Молекули жиру складаються з так званих тригліцеридів. Це з'єднання тривалентного спирту гліцерину з трьома жирними кислотами.

Щоб отримати метиловий спирт необхідно доповнити сім масових одиниць рослинної олії однією масовою одиницею метанолу. Крім того, виробляється заміна гліцерину метанолом (етанолом) в гліцеринових ефірах.

Для здійснення заміни виробляється реакція між жиром і спиртом. Наслідком цього процесу є утворення метилового ефіру і нерозчинного гліцерину.

Для підвищення швидкості реакції зазвичай підвищується температура, вводиться додаткова кількість спирту або використовуються каталізatori. Необхідна кількість каталізатора залежить від властивостей сировини і результатів проведення попередніх реакцій.

Головною перешкодою в цьому процесі є обмежена взаємна розчинність спирту і жиру. Цей чинник визначає двофазний характер реакції. Втім, цей недолік досить легко усувається завдяки інтенсивному перемішуванню і диспергуванню.

Крім того, технології виробництва постійно розвиваються і удосконалюються. Наприклад, сьогодні активно розробляються методи виробництва біодизеля, сировиною для якого послужать різноманітні морські водорості.

При цьому до будь-якого виду біодизеля висувається ряд вимог, необхідних для отримання високоякісного продукту.

Наприклад, після проходження реакції переетерифікації зміст метилових ефірів обов'язково повинен перевищувати дев'яносто шість відсотків.

Також виробляється сушка метилових ефірів жирних кислот. Це необхідно тому, що вода сприятливо діє на мікроорганізми і є головною причиною їх появи.

Існують певні обмеження у використанні біодизеля. Так, він придатний для споживання тільки протягом перших трьох місяців після виготовлення. Після закінчення цього терміну може статися розкладання продукту.

Екологічні аспекти використання біодизеля

Властивість біодизеля піддаватися майже повному біологічному розпаду дозволяє уникнути забруднення звантажуючого середовища. При попаданні у воду біодизель не завдає шкоди тваринам і рослинам і це підтверджено дослідженнями.

Крім того, біодизель виділяє дуже невелику кількість вуглекислого газу. Це показник дорівнює кількості вуглекислого газу, споживаного тією рослиною, яка послужила сировиною для речовини. Особливо явно будуть видні достоїнства біодизеля порівняно із звичайним і звичним дизельним паливом. Наприклад, біологічний тип відрізняється мінімальною кількістю сірки. Ще один екологічний плюс. Втім, окрім екологічних переваг існують і інші.

Біодизель характеризується вищим рівнем безпеки, оскільки запалюється при температурі, що перевищує відмітку в 100 градусів.

Для виробництва біодизеля необхідно вирощувати сировину, що дозволить освоїти землі, що раніше не використалися, і створити нові робочі місця. В той же час, на думку фахівців, землі, на яких росте ця сировина, швидко виснажуються і втрачають первинні високі характеристики, що, зрозуміло, не може не турбувати і вимагає вироблення методів нейтралізації цього недоліку.

Технологічна схема виробництва біодизеля в потоці

До складу установки для отримання біодизеля EXON входять: блок приготування і дозування метоксиду (розчину NaOH в метанолі), блок дозування масла, блок теплообмінників і конденсаторів, блок трансестерифікації, сепаратор, рекуперативні випарні апарати (біодизеля і гліцерину), блок фільтров-сорберов (рис. 7.8).

Блок приготування і дозування метоксиду складається із змішувача-дозатора, буферної місткості і об'ємного дозатора (мірника) з фільтром коливача потоку. Метанол подається насосом в ємність змішувача-дозатора в кількості що задається датчиками рівня. Туди ж з бункера шнековим живильником подається каталізатор. Доза каталізатора відміряється автоматичним ваговим дозатором і скидається в метанол. Після відмірювання реагентів виробляється їх перемішування (розчинення) мішалкою протягом заданого часу. Готовий розчин подається насосом в буферну ємність. Автоматизація приготування метоксиду дозволяє уникнути помилок і значно зменшити витрати праці. З буферної місткості за допомогою насоса і системи електромагнітних клапанів метоксид періодично подається в мірник, циліндричну посудину з датчиками рівня. Задаючи об'єм мірника і частоту наповнення можна отримати необхідну величину середньої об'ємної витрати метоксиду з високою точністю. З мірника метоксид прямує у фільтр коливача потоку - ємність з поплавцевим регулювальником витрати. Фільтр коливача

потіку дозволяє перетворити періодичний потік після мірника в безперервний з невеликими варіаціями, необхідний для оптимальної роботи теплообмінних і випарних апаратів.

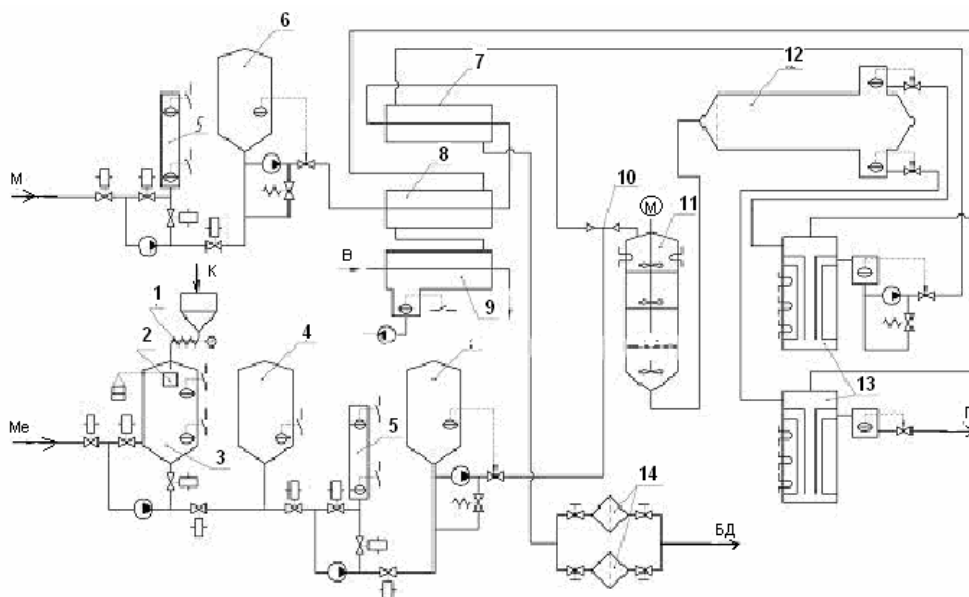


Рис. 7.8 - Технологічна схема отримання біодизеля в потоці

1 - живильник гвинтовий, 2 - ваговий дозатор, 3 - дозатор-розчинник, 4 - буферна місткість, 5 - об'ємний зозатор, 6 - фільтр коливань потоку, 7 - теплообмінник, 8 - конденсатор-підігрівач, 9 - конденсатор, 10 - інжекційний змішувач, 11 - модуль трансєтерификации, 12 - сепаратор, 13 - випарний апарат, 14 - фільтр-сорбер.

М - масло, Ме - метоксид, До - каталізатор, Г - гліцерин, БД - біодизель, В - вода.

Блок дозування масла складається з мірника і фільтру коливань потоку, пристрій їх аналогічно таким для метанолу, на виході виходить задана об'ємна витрата масла. Система регулювання витрати компонентів за допомогою мірників проста, надійна, забезпечує високу точність завдання витрати компонентів, достатню для дотримання будь-якої заданої рецептури. Масло підігрівається до температури реакції в пластинчатих теплообмінниках і прямує в модуль трансєтерификации. Модуль трансєтерификации складається з блоку послідовно сполучених реакційних об'ємів оснащених мішалками. На вхід модуля подається метоксид і масло. Послідовно сполучені об'єми забезпечують неможливість проникнення компонентів, що не прореагували, на вихід модуля при безперервному перемішуванні і проточному характері роботи модуля. Отримана в модулі ефірно-гліцерінова суміш подається в гравітаційного сепаратора.

Сепарація здійснюється шляхом осадження щільнішої гліцерінової фази під дією сили тяжіння в довгій горизонтальній циліндричній місткості - сепараторові. Суміш подається з вхідного торця місткості через розподільник-заспокоювач потоку. Місткість сепаратора така, що рух суміші

від одного торця циліндра до іншого займає близько 12 годин, за цей час суміш розділяється на гліцериновий і ефірний шар. На вихідному торці сепаратора встановлені поплавцеві регулювальники рівня через які відводяться продукти розподілу. В порівнянні з відцентровими, гравітаційний сепаратор простий, не має рухомих частин, надійний і відрізняється передбачуваним розподілом. Горизонтальний сепаратор працює в проточному режимі і відрізняється чіткішим розподілом порівняно з вертикальними місткостями-відстійниками періодичної дії. Гліцеринова і ефірна фази прямують в рекуперативні апарати для видалення розчиненого надлишкового метанолу.

У рекуперативних випарних апаратах плівкового типу плівка розчину стікає по поверхні, що обігривається, температура якої зростає по ходу руху зверху вниз. Гарячий гліцерин або ефір після випарювання по спеціальних каналах в поверхні, що обігривається, рухається від низу до верху віддаючи придбану теплову енергію випаровуваному розчину (рекуперація тепла). Гліцерин і ефір виходять з випарного апарату з практично такою ж температурою як у початкових розчинів, тоєсть енергія витрачається практично тільки на випар метанолу, на відміну від нерекуперативних випарних апаратів і кип'ятильних місткостей, в яких енергія відноситься гарячою рідиною що виходить з апарату. Конструкція плівкового випарного апарату із зустрічними потоками рідини і пари дозволяє працювати в безперервному режимі і отримати високу міру очищення продуктів від метанолу. Застосування випарних апаратів дозволяє використовувати будь-яке співвідношення спирту і масла необхідне для оптимального протікання реакції трансестерифікації, оскільки надлишок спирту буде видалений. Після випарювання метанолу гліцерин прямує на склад.

Ефір (біодизель) прямує в пластинчатий теплообмінник, де віддає теплову енергію зустрічному потоку масла (це дозволяє скоротити споживання електроенергії в 5-6 разів). Пари метанолу конденсуються в теплообміннику-конденсаторі віддаючи теплоту конденсації потоку масла. Таким чином здійснюється рекуперація тепла, зовнішня енергія на підігрівання масла не витрачається. Несконденсовані пари метанолу остаточно конденсуються у водяному конденсаторі.

Далі ефір піддається фільтруванню і сорбційному очищенню в блоці фільтров-сорберов. Блок складається з двох місткостей заповнених сорбентом. Фільтр-сорбер затримує механічні забруднення і видаляє з ефіру каталізатор (луг) і інші домішки. Відпрацьований сорбент періодично замінюють новим через люки. Для заміни сорбенту один з апаратів відключають. Застосування сорбентів дозволяє гарантувати високу якість очищення біодизеля. Отриманий біодизель прямує на склад. Усіма процесами управляє мікроконтроллер, програма якого визначає параметри технологічного процесу. Ручна праця потрібна тільки для завантаження луку в бункер змішувача-дозатора блоку приготування метоксиду і для заміни сорбенту у фільтрах-сорберах.

Газоподібне біопаливо. Біогаз

Основні характеристики біогазу

У будь-якому фермерському господарстві впродовж року скупчується значна кількість гною, бадилля рослин, різних відходів. Зазвичай після розкладання їх використовують як органічне добриво. Проте при ферментації виділяється велика кількість біогазу і тепло, яке теж може послужити хорошу службу сільським жителям.

Біогаз - це суміш газів. Його основні компоненти: метан (CH_4) - 55-70% і вуглекислий газ (CO_2) - 28-43%, а також в дуже малих кількостях інші гази, наприклад - сірководень (H_2S). В середньому 1 кг органічної речовини, біологічно розкладної на 70%, виробляє 0,18 кг метану, 0,32 кг вуглекислого газу, 0,2 кг води і 0,3 кг нерозкладного залишку.

Оскільки розкладання органічних відходів відбувається за рахунок діяльності певних типів бактерій, істотний вплив на нього чинить довкілля. Так, кількість газу, що виробляється, значною мірою залежить від температури: чим тепліше, тим вище ефективність ферментації органічної сировини. Саме тому, ймовірно, перші установки для отримання біогазу з'явилися в країнах з теплим кліматом. Проте застосування надійної теплоізоляції, а іноді і підігрітої води дозволяє освоїти будівництво генераторів біогазу і в районах, де температура взимку опускається до -20° . Існують певні вимоги і до сировини: воно має бути відповідним для розвитку бактерій, містити органічну речовину і у великій кількості воду (90 - 94%), що біологічно розкладається. Бажано, щоб середовище було нейтральним і без речовин, що заважають дії бактерій, : наприклад, мила, пральних порошків, антибіотиків.

Для отримання біогазу можна використовувати рослинні і господарські відходи, гній, стічні води і тому подібне. В процесі ферментації рідина в резервуарі має тенденцію до розподілу на три фракції. Верхня - кірка, утворена з великих часток, що захоплюються бульбашками газу, що піднімаються, через деякий час може стати досить твердою і заважатиме виділенню біогазу. У середній частині ферментатора скупчується рідина, а нижня, грязеобразная фракція випадає в осад.

Бактерії найбільш активні в середній зоні. Тому утримуване резервуару необхідно періодично перемішувати - хоч би один раз в добу, а бажано - до шести разів. Перемішування може здійснюватися за допомогою механічних пристосувань, гідравлічними засобами (рециркуляція під дією насоса), під натиском пневматичної системи (часткова рециркуляція біогазу) або за допомогою різних методів самоперемішування.

Установки для отримання біогазу

Генератори біогазу набули широкого поширення, наприклад, в Румунії. Одна з перших індивідуальних установок (рис. 7.9А) була введена в експлуатацію ще в грудні 1982 року : вона успішно забезпечувала газом три сім'ї, що є сусідами, мають кожна по звичайній газовій плиті з конфорками і духовкою.

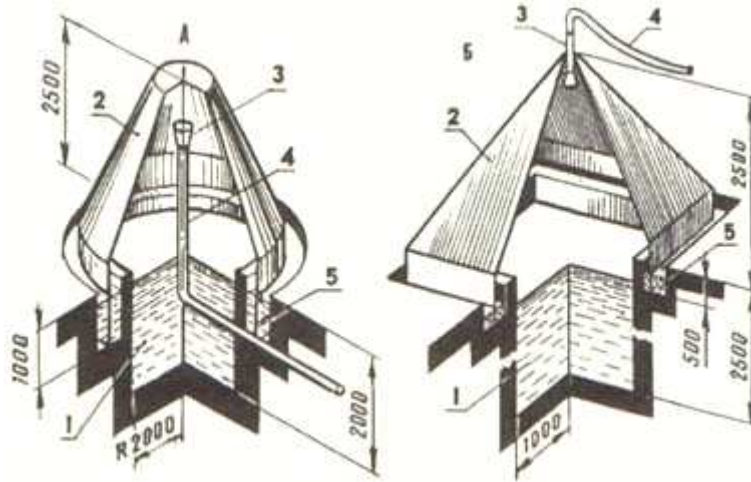


Рис. 7.9. Схема установки для отримання біогазу (А - з конічним дзвоном, Би - з пірамідальним) : 1 - яма ферментатора з сировиною, 2 - дзвін, 3 - випускний патрубок, 4 - трубопровід (шланг) подачі біогазу, 5 - канавка гідрозасува з водою.

Ферментатор знаходиться в ямі діаметром близько 4 м і завглибшки 2 м (об'єм приблизно 25 м³), викладеною зсередини покрівельним залізом, звареним двічі, : спочатку електричним зварюванням, а потім, для надійності, газової. Для антикорозійного захисту внутрішня поверхня резервуару покрита смолою. Зовні верхньої кромки ферментатора зроблена кільцева канавка з бетону завглибшки приблизно 1 м, що виконує функцію гідрозасува; у цій канавці, заповненою водою, ковзає вертикальна частина дзвону, що закриває резервуар. Дзвін заввишки близько 2,5 м - з листової двохміліметрової сталі. У верхній його частині і збирається газ.

Автор цього проекту вибрав варіант збирання газу на відміну від інших установок за допомогою труби, що знаходиться усередині ферментатора і має три підземні відгалуження, - до трьох господарств. Крім того, вода в канавці гідрозасува проточна, що запобіжить обмерзанню в зимовий час.

Завантаження ферментатора - приблизно 12 м³ свіжого гною, поверх якого виливається коров'яча сеча (без додавання води). Генератор починає працювати через 7 днів після наповнення. Схоже компонування має ще одна установка (мал. 7.9Б). Її ферментатор зроблений в ямі, що має квадратний поперечний переріз розмірами 2х2 і завглибшки приблизно 2.5 м. Яма фанерована залізобетонними плитами завтовшки 10 - 12 см, обштукатурена цементом і покрита для герметичності смолою. Канавка гідрозасува завглибшки близько 50 см також бетонна, дзвін зварений з покрівельного

заліза і може на чотирьох "вушках" вільно ковзати по чотирьох що вертикальним направляє, встановленим на бетонному резервуарі. Висота дзвону приблизно 3 м, з яких 0,5 м занурено в канавку.

При першому наповненні у ферментатор було завантажено 8 м³ свіжого коров'ячого гною, а згори залито приблизно 400 л коров'ячої сечі. Через 7 - 8 днів установка повністю забезпечувала власників газом.

Аналогічну конструкцію має і генератор біогазу, розрахований на прийом 6 м³ змішаного гною (від корів, овець і свиней). Цього виявилось досить, щоб забезпечити нормальну роботу газової плити з трьома конфорками і духовкою.

Ще одна установка відрізняється цікавою конструктивною деталлю: поряд з ферментатором укладені приєднані до нього за допомогою Т-подібного шланга три великі тракторні камери, сполучені між собою (рис. 7.10). У нічний час, коли біогаз не використовується і накопичується під дзвоном, виникає небезпека, що останній із-за надлишкового тиску перекинеться. Тому гумовий резервуар послужить роль резервної, додаткової місткості.

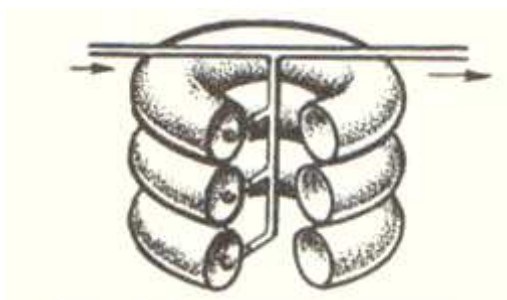


Рис. 7. 10. "Розбухаючий" резервуар з тракторних камер.

Ферментатора розміром 2x2x1,5 м цілком достатньо для роботи двох пальників, а при збільшенні корисного об'єму установки на 1 м³ можна отримати кількість біогазу, достатню і для обігріву житла. Особливість ще одного варіанту установки - пристрій дзвону діаметром 138 см і заввишки 150 см з прогумованого полотна, вживаного для виготовлення надувних човнів. Основа ферментатора є металевим резервуаром діаметром 140 і заввишки 300 см. Дзвін вводиться в гній, що знаходиться у ферментаторі, на глибину не менше 30 см - для забезпечення гідравлічного заслону витoku біогазу в атмосферу. У верхній частині м'якого дзвону передбачений кран, сполучений з шлангом; по ньому газ поступає до газової плити з трьома конфорками і колонки для нагріву води. Щоб забезпечити оптимальні умови для роботи ферментатора, гній змішується з гарячою водою. Найкращі результати установка показала при вологості сировини 90% і температурі 30 - 35°.

Для обігріву ферментатора використовується і ефект теплиці. Над місткістю споруджується металевий каркас, який покривають поліетиленовою плівкою, : за несприятливих погодних умов вона зберігає тепло і дозволяє помітно прискорити процес розкладання сировини.

Генератори біогазу в Румунії широко використовуються і в більших фермерських господарствах. Ось один з них. Він має два ферментатори

місткістю по 200 м³, закритих каркасом з поліетиленовою плівкою. Взимку гній обігривається гарячою водою. Продуктивність установки складає 300 - 480 м³ газу в день. Такої кількості цілком вистачає для забезпечення усіх потреб місцевого агропромислового комплексу.

Використання біопалива для енергетичних цілей

Виробництво біомаси для енергетичних цілей

Термін енергетична ферма використовується в дуже широкому сенсі, означаючи виробництво енергії як основний або додатковий продукт сільськогосподарського виробництва, лісівництва, аква-культури, а крім того, ті види промислової і побутової діяльності, в результаті яких утворюються органічні відходи. Основною метою переробки сировини могло б бути виняткове виробництво енергії, але вигідніше знайти найкраще співвідношення між отриманням з різних видів біомаси енергії і біопалива.

Найбільш характерним прикладом енергетичних ферм є підприємства по вирощуванню і комплексній переробці цукрової тростини (рис. 7.12).

Виробництво залежить від спалювання відходів переробки очерету, що не обходиться для постачання енергією усього технологічного ланцюга. При належній механізації можна було б отримати додаткову енергію для виробництва на продаж побічних продуктів (патоки, хімікатів, корму для тварин, етилового спирту, будівельних матеріалів, електроенергії). Слід зазначити, що етиловий спирт і електроенергію можна використовувати для вирощування культур і виконання транспортних операцій. Розвиток енергетики за рахунок використання сільськогосподарських культур має як достоїнства, так і недоліки. Один з найбільш суттєвих недоліків те, що виробництво енергії стане конкурувати з виробництвом їжі. Великомасштабне збільшення обсягу виробництва біопалива (наприклад, етилового спирту) з цієї причини може зробити істотний негативний вплив на світовий ринок харчових продуктів. Другий серйозний недолік - можливість збіднення і ерозії ґрунтів в результаті інтенсифікації вирощування "енергетичних" культур. Очевидна стратегія порятунку від цих явищ - вирощування культур, придатних і для забезпечення людини (зерно), і для енергетичних потреб при одночасному скороченні частини урожаю, що згодовується твариною.

Для вирощування і переробки урожаю потрібна енергія у формі сонячного випромінювання і у формі, придатній для отримання палива для роботи сільгоспмашин, створення самих цих машин, отримання добрива і тому подібне. Для оцінки ефективності отримання енергії з того або іншого виду біомаси потрібне проведення енергетичного аналізу.

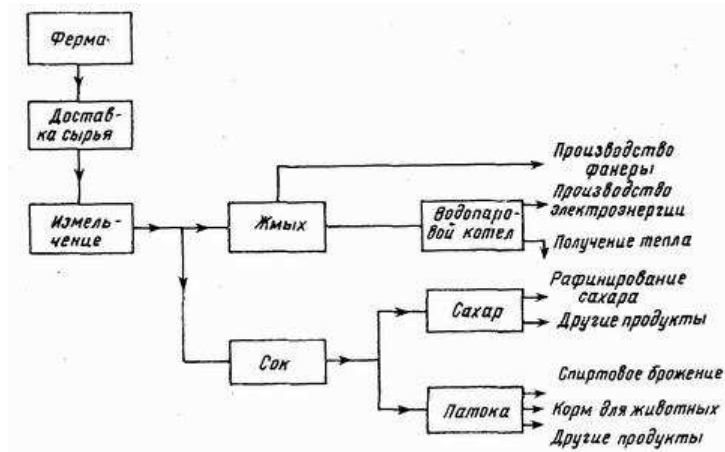


Рис. 7.12. Агропромислова переробка цукрової тростини

Енергетичний аналіз - це визначення витрат енергії енергоспоживаючих і енерговиробляючих систем, що дозволяє виділити технічні і технологічні аспекти процесу.

На практиці енергетичний аналіз і пов'язаний з ним аналіз економічних чинників отримання і переробки біомаси агропромисловим методом виявляються досить складними. Проте використання для отримання тепла і електроенергії дешевих відходів біомаси може мати вирішальне значення при оцінці ефективності того або іншого процесу.

Піроліз (суха перегонка)

Під піролізом маються на увазі будь-які процеси, при яких органічну сировину піддають нагріву або частковому спалюванню для отримання похідних палив або хімічних сполук. Первинною сировиною можуть служити деревина, відходи біомаси, міське сміття і звичайно вугілля. Продуктами піролізу є гази, рідкий конденсат у вигляді смол і масел, тверді залишки у вигляді деревного вугілля і золи. Газифікація - це піроліз, пристосований для максимального отримання похідного газоподібного палива. Пристрої для часткового спалювання біомаси, що проектуються з розрахунку на отримання максимального виходу газів, називаються газогенераторами. Схема установки для здійснення піролізу приведена на рис. 7.13. Найбільш прийнятними вважаються вертикальні пристрої, що завантажуються згори.

ККД піролізу визначається як відношення теплоти згорання похідного палива до теплоти згорання використовуваної в процесі біомаси. Що досягається ККД дуже високий: 80-90%.

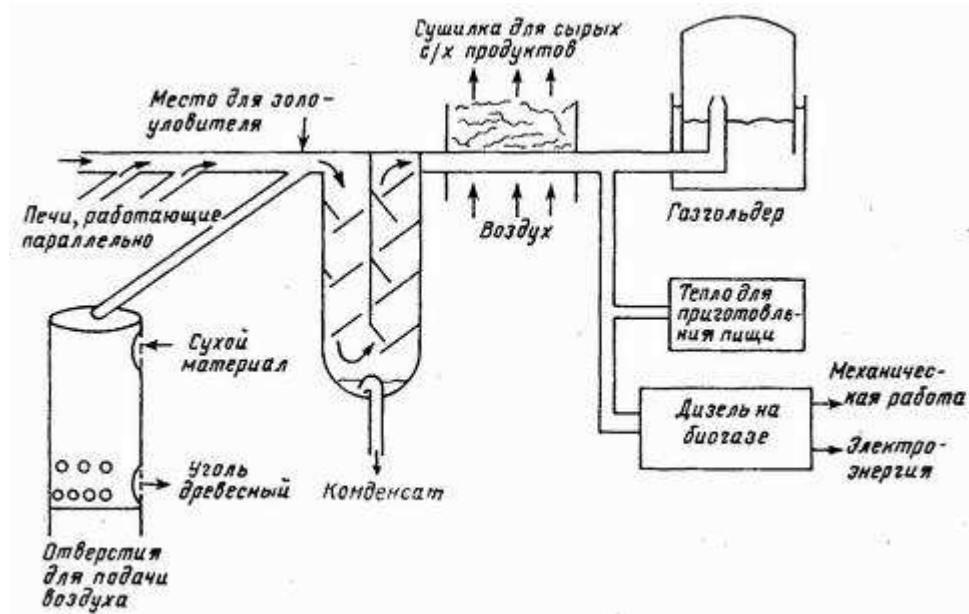


Рис. 7.13. Установка для здійснення піролізу

Щоб процес піролізу йшов успішно, повинні дотримуватися певні умови. Матеріал, що подається, заздалегідь сортують для зниження негорючих домішок, підсушують і змізернюють. Критичним параметром, що впливає на температуру і на співвідношення видів отримуваних продуктів, є співвідношення повітря - пального. Найпростіше управляти блоком, що працює при температурі нижче 600°C . При цьому можна виділити чотири стадії перегонки, :

- $100-120^{\circ}\text{C}$ - матеріал, що подається в газогенератор, опускаючись вниз, звільняється від вологи;
- 275°C - гази, що відходять, складаються в основному з N_2 , CO і CO_2 ; витягаються оцтова кислота і метанол;
- $280-350^{\circ}\text{C}$ - починаються екзотермічні реакції, в процесі яких виділяється складна суміш легких хімічних речовин (кетон, альдегіди, феноли, ефіри);
- понад 350°C - виділяються усі типи легких з'єднань; одночасно з утворенням CO відбувається збільшення утворення H_2 , частина вуглецю зберігається у формі деревного вугілля, змішаного із зольними залишками.

Різновиди палива, що отримується в результаті піролізу, мають меншу в порівнянні з початковою біомасою сумарну енергію згорання, але відрізняються більшою універсальністю застосування.

Твердий залишок (максимальна масова доля 25-35%). Сучасні установки для отримання деревного вугілля, що працюють при температурі 600°C , перетворюють в необхідний продукт від 25 до 35% сухої біомаси. Деревне вугілля на 75-85% складається з вуглецю, має теплоту згорання

близько 30 МДж/кг

Рідини (випари, що конденсують, максимальна масова доля близько 30%). Діляться на в'язкі фенольні смоли і текучі рідини, піролігенные кислоти, в основному оцтову кислоту, метанол (максимум 2%) і ацетон. Рідини можуть бути відсепаровані або можуть використовуватися разом як необроблене паливо з теплою згорання близько 22 МДж/кг

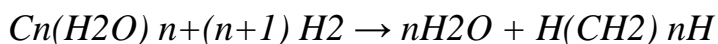
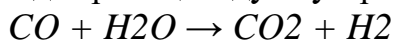
Гази (максимальна масова доля, що отримується в газогенераторах, складає приблизно 80%). Суміш газів, що виділяються при піролізі, з азотом відома як деревний газ, синтетичний газ, генераторний газ або водяний газ. Тепло згорання на повітрі складає 5-10 МДж/кг (від 4 до 8 МДж/м³ за нормальних умов). Ці гази можуть бути використані не-посередньо в дизелях або в карбюраторних двигунах з іскровим запаленням, при цьому основна трудність - уникнути попадання в циліндри золи і продуктів піролізу, що конденсуються. Гази в основному складаються з N₂, H₂ і CO з малими добавками CH₄ і CO₂. Їх можна накопичувати в газгольдерах при тиску, близькому до атмосферного.

Термохімічні процеси

Біомаса може спалюватися або піддаватися піролізу безпосередньо після попереднього сортування і здрибнення. Проте, вона може бути ще і оброблена хімічно для того, щоб отримати початковий матеріал для спиртової ферментації або вторинне паливо. Розглянемо декілька найбільш важливих прикладів з великого числа можливих.

Гідрогенізація. Подрібнену біомасу, що розклася або переварену, наприклад гній, нагрівають в атмосфері водню до температури близько 600 °З при тиску близько 5 МПа. Отримувані при цьому горючі гази, переважно метан і етан, при спалюванні дають близько 6 МДж на 1 кг сухої сировини.

Гідрогенізація із застосуванням CO і пари. Ведеться аналогічно попередньому процесу, але нагрівання виробляється в атмосфері CO і водяної пари при Температурі 400 °З і тиску 5 МПа. З продуктів реакції витягається синтетична нафта, яку можна використовувати як паливо. Відповідні реакції йдуть у присутності каталізатора:



Остання реакція описує перетворення вуглеводів на нафтеподібные вуглеводні. Ефективність перетворення енергії в цьому процесі складає приблизно 65%.

Гідроліз під впливом кислот і ферментів.

Целюлоза, що становить основну масу сухого залишку рослин (від 30 до 50%), важко піддається гідролізу і зброджуванню за допомогою мікроорганізмів. Перетворення целюлози в цукру, які можуть зброджуватися,

можливо шляхом нагрівання в сірчаній кислоті або під впливом ферменту целюлози деяких мікроорганізмів. Отримані продукти можна використовувати як їжу для великої рогатої худоби.

Перетворення масла кокосових горіхів в ефіри.

Білий м'якуш кокосових горіхів (копра) приблизно на 50% складається з масла. Кокосове масло може бути безпосередньо використане як дизельне паливо в двигунах, оснащених спеціальною системою подачі, проте при цьому утворюється отруйний дим, крім того, при температурі нижче + 23 °З масло твердне. Додавши в масло 20% (за об'ємом) метилового або етилового спирту, можна отримати леткі ефіри, що є прекрасним дизельним паливом, і глицерол. Отримувані ефіри мають теплоту згорання близько 38 МДж/кг, що вище, ніж у масла, що переробляється, і наближається до відповідного показника бензину (46 МДж/кг). Інші рослинні олії також можуть бути перероблені аналогічним чином.

Метиловий спирт як паливо.

Метиловий спирт (метанол) - отруйна рідина, що отримується в процесі каталітичної реакції між H_2 і CO при температурі 330 °З і тиску 15 МПа, : $2H_2 + CO = CH_3OH$

Ці гази - компоненти синтетичного газу, вони можуть виходити при газифікації біомаси. Метанол можна використовувати як замітник бензину з теплотою згорання 23 МДж/кг

Спиртова ферментація (бродиння)

Методи отримання спирту

Етиловий спирт (етанол) C_2H_5OH в природних умовах утворюється з сахаров відповідними мікроорганізмами в кислому середовищі, рН -от 4 до 5. Подібний процес спиртової ферментації у всьому світі використовують для отримання питного спирту. Найчастіше використовувані мікро-організми - дріжджі виду *Saccharomyces cerevisiae* - гинуть при концентрації спирту вище 10%, тому для підвищення концентрації використовують перегонку або фракціонування (рис. 7.14). Після перегонки (дистиляції) виходить кипляча при постійній температурі суміш: 95% етанолу і 5% води. Зневоднений етанол в промислових умовах виробляється шляхом спільної перегонки з розчинником типу бензолу. При бродінні втрачається лише 0,5% енергетичного потенціалу сахаров, інші витрати енергії пов'язані з перегонкою. Необхідну теплову енергію можна отримати, спалюючи відходи біомаси, що залишаються.

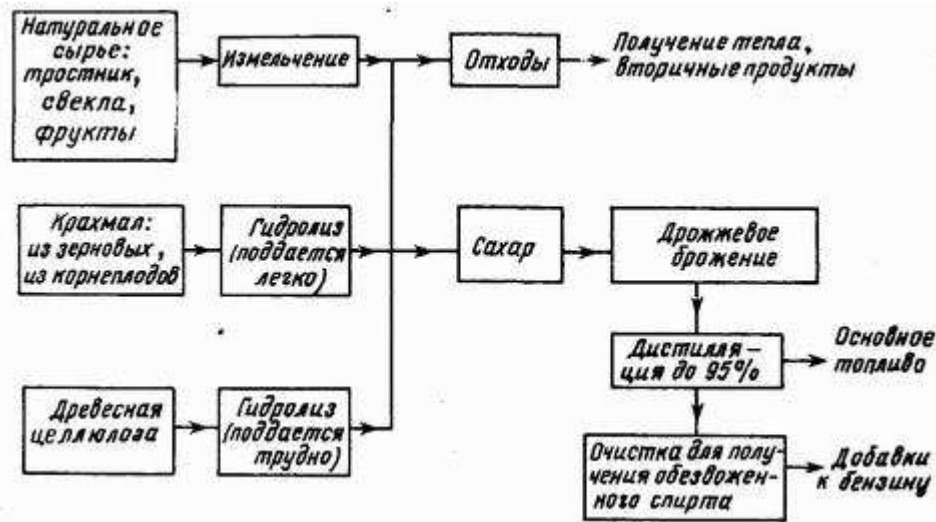
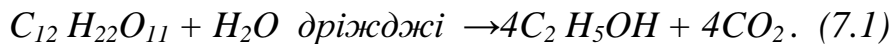


Рис. 7.14 - Виробництво етанолу

Нижче перераховані процеси виробництва етанолу з різних культур в порядку зростання труднощів переробки.

1. Безпосередньо з цукрової тростини. Зазвичай промислову сахарозу отримують з соку цукрової тростини, а патоку, що залишається, використовують для отримання спирту (7.1). Основна реакція перетворення сахарози в етанол має вигляд



На практиці вихід обмежується конкуруючими реакціями і споживанням сахарози на збільшення маси дріжджів. Промисловий вихід складає близько 80% виходу, визначуваного (7.1).

2. З цукрового буряка спочатку отримують цукор для зброджування, але буряк не дає достатньої кількості відходів для отримання тепла. Через це етанол дорожчає.

3. З рослинного крохмалю, наприклад, із злакових або маніока; крохмаль можна також піддати гідролізу на цукор. Це основний енерго-аккумулюючий вуглевод рослин. Складається з двох компонентів з великою молекулярною масою, амілози і амілопектину. Ці великі молекули чітко лінійні і складаються з глюкозних залишків, сполучених вуглецевими зв'язками, які можуть бути зруйновані ферментами солоду, що міститься в деяких культурах, наприклад в ячмені, або ферментами відповідних плесеней (грибків). Зруйнувати вуглецеві зв'язки в крохмалі можна і при обробці їх сильними кислотами ($pH \approx 1,5$) при тиску 0,2 МПа, але вихід цукрів при цьому знижується, а сам процес в порівнянні із зброджуванням дорожчає.

4. З целюлози, яка містить до 40% усїєї сухої біомаси і потенційно є великим поновлюваним джерелом енергії. Має полімерну структуру

зв'язків молекул глюкози. Відповідні зв'язки молекул глюкози в целюлозі значно важче піддаються гідролізу, чим у крохмалю. У рослинах целюлоза тісно пов'язана з лігніном, що перешкоджає її гідролізу до цукрів. Подібно до крохмалю можливий гідроліз целюлози в кислому середовищі, проте цей процес доріг і вимагає підведення енергії. Гідроліз здешевлюється і стає менш енергоємним при використанні грибків, але в цьому випадку процес йде занадто повільно. У основі промислового процесу лежить використання подрібненої деревної маси або старих газет. Механічне руйнування деревини - найбільш енергоємна і дорога стадія процесу.

Промислове виробництво етанолу залежить і від багатьох чинників, включаючи енергетичні і економічні. Необхідно звернути увагу на ту обставину, що використання різних видів відходів біомаси для вироблення електроенергії і забезпечення виробництва теплом - основа рентабельності отримання етанолу. У таблиці. 7.3 приведені дані по виробництву етанолу з деяких технічних культур.

Таблиця 7.3 Вихід етанолу з деяких технічних культур

Культура	Вихід етанолу з 1 т культури, л/т
Цукрова тростина	70
Маніок	180
Солодке сорго	86
Солодка картопля	125
Зернові (кукурудза)	370
Плодові	160

Використання етанолу як паливо

Рідкі палива надзвичайно важливі із-за зручності використання і хорошого управління згоранням в двигунах. Можна вводити в декілька перероблені бензинові двигуни прямо 95% -ний етанол, а можна подавати в звичайний двигун суміш з 100% -ного етанолу (зневоднений) з бензином в співвідношенні 1:10.

Зневоднений етанол - рідина в інтервалі температур від - 117 до +78 °Із з температурою займання 423 °С. Застосування його в двигуні внутрішнього згорання вимагає спеціального карбюратора. Тому і змішують бензин зі зневодненим етанолом (20 % за об'ємом) і використовують цю суміш (газохол) в звичайних бензинових двигунах. Газохол нині - звичайне паливо в Бразилії (етанол там отримують з цукрової тростини і маніока), використовують його і в США (етанол з кукурудзи). Важлива особливість етанолу - здатність витримувати ударні навантаження без вибуху, через це він набагато прийнятніше за добавки з тетраетилсвинця, що викликає серйозні забруднення атмосфери. Чудові властивості етанолу як пального

забезпечують двигунам 20% -ное збільшення потужності в порівнянні з чистим бензином. Масова щільність і теплотворна здатність етанолу нижчі, ніж бензину, відповідно теплота згорання (24 МДж/м³) на 40% нижче чим бензину (39 МДж/м³). Проте краще горіння етанолу компенсує це зменшення теплотворної здатності. Досвід підтверджує, що двигуни споживають приблизно однакову кількість газохола і бензину.

Змістовний модуль 3. ЕКОЛОГІЧНІ ПРОБЛЕМИ ВИКОРИСТАННЯ АЛЬТЕРНАТИВНИХ ДЖЕРЕЛ ЕНЕРГІЇ.

Тема 8. Проблема взаємодії енергетики і екології.

Екологічні наслідки розвитку сонячної енергетики.

Вплив вітроенергетики на природне середовище.

Можливі екологічні прояви геотермальної енергетики.

Екологічні наслідки використання енергії океану.

Екологічна характеристика використання біоенергетичних установок.

Проблема взаємодії енергетики і екології

У комплексі існуючих екологічних проблем енергетика займає одне з провідних місць. У зв'язку з інтенсивним залученням поновлюваних джерел енергії до практичного використання особлива увага звертається на екологічний аспект їх дії на довкілля.

Існує думка, що вироблення електроенергії за рахунок поновлюваних джерел є абсолютно екологічно "чистим" варіантом. Це не зовсім вірно, оскільки ці джерела енергії мають принципово інший спектр дії на довкілля в порівнянні з традиційними енергоустановками на органічному, мінеральному гідравлічному паливі, причому в деяких випадках дії останніх представляють навіть меншу небезпеку. До того ж певні види екологічної дії НВИЕ на довкілля не ясні до на-стоящего часу, особливо в тимчасовому аспекті, а тому вивчені і розроблені ще у меншій мірі, чим технічні питання використання цих джерел.

Різновидом поновлюваних джерел енергії є гідроенергетичні ресурси. Довгий час їх також відносили до екологічно "чистих" джерел енергії. Не зважаючи на екологічні наслідки такого використання, природно, не проводилося достатніх розробок природоохоронних і середозащитних заходів, що привело гідроенергетику на рубежі 90-х років до глибокої кризи. Тому можливі екологічні наслідки застосування НВИЕ мають бути досліджені заздалегідь.

Перетворення енергії нетрадиційних поновлюваних джерел в найбільш придатні форми її використання - електрика або тепло - на рівні сучасних знань і технологій обходиться досить дорого. Проте в усіх випадках їх використання призводить до еквівалентного зниження витрат органічного палива і меншого забруднення довкілля. До теперішнього часу в усіх методиках, в яких приводиться техніко-економічне зіставлення традиційних видів отримання енергії з поновлюваними джерелами, ці чинники не враховувалися взагалі або тільки відзначалися, але не оцінювалися кількісно. Таким чином, актуальним стає завдання розробки науково обгрунтованих методів економічної оцінки екологічних наслідків використання різних видів

джерел енергії і нових методів перетворення, що поновлюються, енергії, які повинні кількісно врахувати чинники іншого, в порівнянні з традиційними установками, дії на довкілля.

Розглянемо основні чинники екологічної дії нетрадиційних джерел енергії, що поновлюються, на різні природні середовища і об'єкти.

Екологічні наслідки розвитку сонячної енергетики

Сонячні станції є ще недостатньо вивченими об'єкт-мі, тому віднесення їх до екологічно чистих електростанцій не можна назвати повністю обгрунтованим. У кращому разі до екологічно чистою можна віднести кінцеву стадію - стадію експлуатації СЭС, і те відносно.

Сонячні станції являються досить землеемкими. Питома землеємкість СЭС змінюється від 0,001 до 0,006 га/кВт з найбільш вірогідними значеннями 0,003-0,004 га/кВт. Це менше, ніж для ГЭС, але більше, ніж для ТЭС і АЕС. При цьому потрібно врахувати, що сонячні станції дуже матеріалоемки (метал, скло, бетон і так далі), до того ж в приведених значеннях землеємкості не враховуються вилучення землі на стадіях здобичі і обробки сировини. У разі створення СЭС з сонячними ставками питома землеємкість підвищиться і збільшиться небезпека забруднення підземних вод розсолами.

Сонячні концентратори викликають великі по площі затінення земель, що призводить до сильних змін ґрунтових умов, рослинності і т. д. небажану екологічну дію в районі розташування станції викликає нагрів повітря при проходженні через нього сонячного випромінювання, сконцентрованого дзеркальними відбивачами. Це призводить до зміни теплового балансу, вологості, напряму вітрів; в деяких випадках можливі перегрівання і займання систем, що використовують концентратори, з усіма витікаючими звідси наслідками. Застосування низькокиплячих рідин і неминучі їх витіки в сонячних енергетичних системах під час тривалої експлуатації можуть привести до значного забруднення питної води. Особливу небезпеку представляють рідини, що містять хромати і нітрит, що є високотоксичними речовинами.

Геліотехніка непрямим чином робить вплив на довкілля. У районах її розвитку повинні зводитися великі комплекси по виробництву бетону, скла і сталі. Під час виготовлення кремнієвих, кадмієвих і арсенидогелієвих фотоелектричних елементів в повітрі виробничих приміщень з'являються кремнієвий пил, кадмієві і арсенидні з'єднання, небезпечні для здоров'я людей.

Космічні СЭС за рахунок СВЧ-випромінювання можуть чинити вплив на клімат, створювати перешкоди теле- і радіозв'язки, впливати на незахищені живі організми, що потрапили в зону його впливу. У зв'язку з цим необхідно використовувати екологічно чистий діапазон хвиль для передачі енергії на Землю.

- Несприятливі дії сонячної енергії на довкілля можуть проявлятися:
- у відчуженні земельних площ, їх можливій деградації;
 - у великій матеріаломісткості;
 - у можливості витоків робочих рідин, що містять хлорати і нітрит;
 - в небезпеці перегрівання і займання систем, зараження продуктів токсичними речовинами при використанні сонячних систем в сільському господарстві;
 - в зміні теплового балансу, вологості, напрямку вітру в районі розташування станції;
 - в затемненні великих територій сонячними концентраторами, можливій деградації земель;
 - в дії на клімат космічних СЭС;
 - в створенні перешкод телевізійної і радіозв'язку;
 - в передачі енергії на Землю у вигляді мікрохвильового випромінювання, небезпечного для живих організмів і людини.

Вплив вітроенергетики на природне середовище

Чинники дії ВЕС на природне середовище, а також наслідки цього впливу і основні заходи щодо зниження і усунення негативних проявів приведені в таблицю. 18.1. Розглянемо деякі з них детальніше.

Під потужні промислові ВЭС потрібна площа з розрахунку від 5 до 15 МВт/км² залежно від троянди вітрів і місцевого рельєфу району. Для ВЭС потужністю 1000 МВт буде потрібно площа від 70 до 200 км². Виділення таких площ в промислових регіонах зв'язане з великими труднощами, хоча частково ці землі можуть використовуватися і під господарські потреби. Наприклад, в Каліфорнії в 50 км від р.. Сан-Франциско на перевалі Алтамонт-пас земля, відведена під парк потужною ВЭС, одночасно служить для сільськогосподарських цілей.

Таблиця 8.1
Методи усунення негативного впливу ВЕУ на довкілля

<i>Чинники дії</i>	<i>Методи усунення</i>
I. Вилучення земельних ресурсів, зміна властивостей ґрунтового шару	Розміщення ВЕУ на невживаних землях Оптимізація розміщення - мінімізація витрати землі Цілеспрямований облік змін властивостей ґрунтового шару Компенсаційні розрахунки із землекористувачами
II. Акустична дія (шумові ефекти)	Зміна числа оборотів ветроколеса ((ВК) Зміна форм лопаті ВК

	Видалення ВЕУ від об'єктів соціальної інфраструктури Заміна матеріалів лопатей ВК
III. Вплив на ландшафт і його сприйняття	Облік особливостей ландшафту при розміщенні ВЕУ Рекреаційне використання ВЕУ Дослідження різних форм опорних конструкцій, забарвлення і так далі
IV. Електромагнітне випромінювання, телебачення і радіозв'язок	Спорудження ретрансляторів Заміна матеріалів лопатей ВК Впровадження спеціальної апаратури в конструкцію ВЕУ Видалення від комунікацій
V. Вплив на орнітофауну на перелітних трасах і морську фауну при розміщенні ВЕС на акваторіях	Аналіз поражаємості птахів на трасах перельоту і риб на шляхах міграції Розрахунок вірогідності поразки птахів і риб
VI. Аварійні ситуації, небезпека поломки і відльоту пошкоджених частин ВК	Розрахунок вірогідності поломок ветроколеса траєкторії і дальності відльоту Оцінка надійності безаварійної роботи ВЕУ Зонування виробництва навкруги ВЕУ
VII. Чинники, що покращують екологічну ситуацію	Зменшення сили вітру Зниження вітрової ерозії ґрунтів Зменшення вітрів з акваторій водоймищ і водосховищ

Проблема використання території спрощується при розміщенні ВЕС на акваторіях. Наприклад, пропозиції по створенню потужних ВЕС на мілководних акваторіях Фінської затоки і Ладозького озера не пов'язані з вилученням великих територій з господарського, користування. З площі акваторії, що відводиться, для ВЕС безпосередньо під споруди для ВЕУ знадобиться лише близько 2 %. В Данії гребля, на якій встановлений парк ВЕУ, одночасно є пірсом для риболовецьких судів. Використання території, зайнятої вітровим парком, під інші цілі залежить від шумових ефектів і міри ризику при поломках ВЕУ. У великих ВЕУ лопать при відриві може бути відкинута на 400-800 м

Найбільш важливий чинник впливу ВЕС на довкілля - це акустична дія. У зарубіжній практиці виконано досить досліджень і натурних змін рівня і частоти шуму для різних ВЕУ з ветроколесами, що відрізняються конструкцією, матеріалами, заввишки над землею, і для різних природних умов (швидкість і напрям вітру, підстилаюча поверхня і т. д.).

Шумові ефекти від ВЕУ мають різну природу і підрозділяються на механічні (шум від редукторів, підшипників і генераторів) і аеродинамічні

дії. Останні, у свою чергу, можуть бути низько-частотними (менше 16-20 Гц) і високочастотними (від 20 Гц до декількох кГц). Вони викликані обертанням робочого колеса і визначаються наступними явищами: утворенням розрядки за ротором або ветроколесом із спрямуванням потоків повітря в деяку точку сходу турбулентних потоків; пульсаціями підйомної сили на профілі лопаті; взаємодією турбулентного пограничного шару із задньою кромкою лопаті.

Видалення ВЕС від населених пунктів і місць відпочинку вирішує проблему шумового ефекту для людей. Проте шум може вплинути на фауну, у тому числі на морську фауну в районі екваторіальних ВЕС. За зарубіжними даними, вірогідність поразки птахів вітровими турбінами оцінюється в 10%, якщо шляхи міграції проходять через вітровий парк. Розміщення вітрових парків вплине на шляхи міграції птахів і риб для екваторіальних ВЕС.

Висловлюються припущення, що екрануюча дія ВЕС на шляху природних повітряних потоків буде незначною і його можна не брати до уваги. Це пояснюється тим, що ВЕУ використовують не-великий приземний шар повітряних мас (близько 100-150 м), що переміщуються, і притому не більше 50 % їх кінетичної енергії. Проте потужні ВЭС можуть вплинути на довкілля: наприклад, зменшити вентиляцію повітря в районі розміщення вітрового парку. Екрануюча дія вітрового парку може виявитися еквівалентною дії піднесеності такої ж площі і заввишки близько 100-150 м

Перешкоди, викликані віддзеркаленням електромагнітних хвиль лопатями вітрових турбін, можуть позначатися на якості телевізійних і мікрохвильових радіопередач, а також різних навігаційних систем в районі розміщення вітрового парку ВЕС на відстані декількох кілометрів. Найбільш радикальний спосіб зменшення перешкод - видалення вітрового парку на відповідну відстань від комунікацій. У ряді випадків перешкод можна уникнути, встановивши ретранслятори. Це питання не відноситься до категорії важковирішуваних, і в кожному випадку може бути знайдене конкретне рішення

Несприятливі чинники вітроенергетики :

- шумові дії, електро-, радио- і телевізійні перешкоди;
- відчуження земельних площ;
- локальні кліматичні зміни;
- небезпека для мігруючих птахів і комах;
- ландшафтна несумісність, непривабливість, візуальне невосприятіє, дискомфортность;
- зміна традиційних морських перевезень, несприятливі дії на морських тваринах.

Можливі екологічні прояви геотермальної енергетики

Основну дію на довкілля геотермальні електростанції роблять в період

розробки родовища, будівництва паропроводів і будівлі станцій, але воно зазвичай обмежене районом родовища.

Природна пара або газ добуваються бурінням свердловин завглибшки від 300 до 2700 м. Під дією власного тиску пар піднімається до поверхні, де збирається в теплоізольовані трубопроводи і подається до турбін. Приміром, в долині гейзерів (США) продуктивність кожної свердловини забезпечує в середньому 7 МВт корисної потужності. Для роботи станції потужністю 1000 МВт вимагається 150 свердловин, які займають територію більше 19 км².

Потенційними наслідками геотермальних розробок є осідання ґрунту і сейсмічні ефекти. Осідання можливе усюди, де шари, що пролягають нижче, перестають підтримувати верхні шари ґрунту і виражається в зниженні дебітів термальних джерел і гейзерів і навіть повному їх зникненні. Так, при експлуатації родовища Вайрокей (США) з 1954 по 1970 рр. поверхня землі просіла майже на 4 м, а площа зони, на якій сталося осідання ґрунту, склала близько 70 км², продовжуючи щорічно збільшуватися.

Висока сейсмічна активність є однією з ознак близькості геотермальних родовищ, і ця ознака використовується при пошуках ресурсів. Проте інтенсивність землетрусів в зоні термальних явищ, викликаних вулканічною діяльністю, звичайна значно менше інтенсивності землетрусів, викликаних великими зміщеннями земної кори по розломах. Тому немає підстав вважати, що розробка геотермальних ресурсів збільшує сейсмічну активність.

На ГеоТЭС не відбувається спалювання палива, тому об'єм отруйних газів, що викидаються в атмосферу, значно менше, ніж на ТЭС, і вони мають інший хімічний склад в порівнянні з газоподібними відходами станцій на органічному паливі. Пара, що добувається з геотермальних свердловин, в основному є водяною. Газові домішки на 80 % складаються з двоокису вуглецю і містять невелику долю метану, водню, азоту, аміаку і сірководня. Найбільш шкідливим є сірководень (0,0225 %). У геотермальних водах знаходяться в розчиненому виді такі гази, як SO₂, N₂, NH₃, H₂S, CH₄, H₂.

Потреба ГеоТЭС у воді (на 1 кВт·ч електроенергії), що охолоджує, в 4-5 разів вище, ніж ТЭС, із-за нижчого ККД. Скидання відпрацьованої води і конденсату для охолодження у водоймища може викликати їх теплове забруднення, а також підвищення концентрації солей, у тому числі хлористого натрію, аміаку, кремнезему, і таких елементів, як бор, миш'як, ртуть, рубідій, цезій, калій, фтор, натрій, бром, йод, хоча і в невеликих кількостях. Із зростанням глибин свердловин можливе збільшення цих вступів.

Один з несприятливих проявів ГеоТЭС - забруднення поверхневих і ґрунтових вод у разі викиду розчинів високої концентрації при бурінні свердловин. Скидання відпрацьованих термальних вод може викликати заболочування окремих ділянок ґрунту в умовах вологого клімату, а в посушливих районах - засолення. Небезпечний прорив трубопроводів, в результаті якого на землю можуть поступити великі кількості розсолів.

ГеоТЭС, маючи ККД в 2-3 рази менше, ніж АЕС і ТЭС, дають в 2-3 рази більше теплових викидів в атмосферу. Як простий шлях скорочення дій на довкілля слід рекомендувати створення кругової циркуляції теплоносія на ГеоТЭС по системі "Свердловина - теплосъемные агрегати - свердловина - пласт". Це дозволить уникнути вступу термальних вод на поверхню землі, в ґрунтові води і поверхневі водоймища, забезпечити збереження тиску пласта, виключити осідання ґрунту і будь-яку можливість сейсмічних проявів.

Несприятливі екологічні дії геотермальної енергетики на екологію:

- відчуження земель;
- зміна рівня ґрунтових вод, осідання ґрунту, заболочування;
- переміщення земної кори, підвищення сейсмічної активності;
- викиди газів (метан, водень, азот, аміак, сірководень);
- викид тепла в атмосферу або в поверхневі води;
- скидання отруєних вод і конденсату, забруднених в невеликих кількостях аміаком, ртуттю, кремнеземом;
- забруднення підземних вод і водоносних шарів, засолення ґрунтів;
- викиди великих кількостей розсолів при розриві трубопроводів.

Екологічні наслідки використання енергії океану

При перетворенні будь-яких видів океанічної енергії неминучі певні зміни природного стану екосистем, що зачіпають.

До негативних наслідків роботи установок, що використовують термальну енергію океану, можна віднести можливі витіки в океан аміаку, пропана або фреону, а також речовин, вживаних для промивання теплообмінників (хлор та ін.). Можливе значне виділення вуглекислого газу з холодних глибинних вод, що піднімаються на поверхню, із-за зниження в них парціального тиску CO_2 і підвищення температури, Виділення CO_2 з води при роботі океанічних ТЕС імовірно на 30% більше, ніж при роботі звичайних ТЕС тієї ж потужності, що використовують органічне паливо. Охолодження вод океану викликає збільшення змісту поживних речовин в поверхневому шарі і значне зростання фітопланктону. При підйомі до поверхні глибинні мікроорганізми забруднюватимуть океан і доведеться застосовувати спеціальні заходи для його очищення.

Будівництво ПЕС позначається несприятливо на стані прибережних земель, самого узбережжя і аквальної вдольберегової смуги : змінюються умови підтоплення, засолення, розмиву берегів, формування пляжів і т. д. Зміна руху ґрунтових вод впливає на динаміку засолення прибережних земель.

На ПЕС в КНР вивчені закономірності відкладення наносів у водосховищі ПЕС і за греблею, а також заходи щодо боротьби з ними. Експлуатація ПЕС "Ране" у Франції показала, що прийнята в її проекті одинбасейнова схема двосторонньої дії максимально зберігає природний

цикл коливань басейну і гарантує тим самим екологічну безпеку приливної енергії.

Використання енергії хвиль на глибоководних місцях у відкритому океані позначається на процесах в акваторії океану. Перетворювачі розміщуються далеко від берега і не виявляють негативної дії на стійкість узбережжя.

При установці перетворювачів поблизу узбережжя виникають проблеми естетичного характеру, оскільки вони видно з берега. Ланцюжок пристроїв типу пірнаючих качок Солтера завдовжки в декілька кілометрів виглядає естетично менш привабливо, чим група продумано розміщених окремо перетворювачів енергії, що стоять. Крім того, безперервна лінія перетворювачів на відміну від окремо розташованих установок може стати перешкодою для навігації і виявитися небезпечною для судів під час сильних штормів.

Одне з важливих питань впливу на довкілля перетворення енергії хвиль в прибережній зоні - це дія на процеси в її межах. Речовини, переміщені хвилями, називаються прибережними наносами. Рух їх потрібний для стабілізації берегової смуги, тобто балансу між ерозією і відкладеннями. У зв'язку з цим ланцюг з перетворювачів енергії хвиль доцільно встановлювати в місцях намічених хвилеломів, щоб вони виконували подвійну функцію: використання енергії хвиль і захист узбережжя.

Несприятливі екологічні наслідки в гідротермальній енергетиці:

- витоки в океан аміаку, фреону, хлору та ін.;
- виділення CO₂ з води;
- зміна циркуляції вод, поява регіональних і біологічних аномалій під впливом гідродинамічних і теплових обурень;
- зміна клімату.

Несприятливі екологічні наслідки в приливній енергетиці:

- періодичне затоплення прибережних територій, зміна землекористування в районі ПЕС, флори і фауни акваторії;
- будівельне замушення води, поверхневі скидання забруднених вод.

Несприятливі екологічні наслідки в хвилевій енергетиці:

- ерозія узбережжя, зміна руху прибережних пісків;
- значна матеріаломісткість;
- зміна судноплавних шляхів, що склалися, уздовж берегів;
- забруднення води в процесі будівництва, поверхневі скидання.

Екологічна характеристика використання біоенергетичних установок

Біоенергетичні станції в порівнянні з традиційними електростанціями і

іншими НВДЕ є найбільш екологічно безпечними. Вони сприяють позбавленню довкілля від забруднення всілякими відходами. Так, наприклад, анаеробна ферментація - ефективний засіб не лише реалізації відходів тваринництва, але і забезпечення екологічної чистоти, оскільки тверді органічні речовини втрачають запах і стають менш привабливими для гризунів і комах (в процесі перегнивання руйнуються хвороботворні мікроорганізми). Крім того, утворюються додатковий корм для худоби (протеїн) і добрива.

Міські стоки і тверді відходи, відходи при вирубуваннях лісу і деревообробної промисловості, будучи можливими джерелами сильного забруднення природного середовища, є в той же час сировиною для отримання енергії, добрив, цінних хімічних речовин. Тому широкий розвиток біоенергетики ефективний в екологічному відношенні. Проте несприятливі дії на об'єкти природного середовища при енергетичному використанні біомаси мають місце. Пряме спалювання деревини дає велику кількість твердих часток, органічних компонентів, окислу вуглецю і інших газів. По концентрації деяких забрудників вони перевершують продукти згорання нафти і її похідних. Іншим екологічним наслідком спалювання деревини є значні теплові втрати.

В порівнянні з деревиною біогаз - чистіше паливо, що не виробляє шкідливих газів і часток. В той же час потрібні заходи обережності при виробництві і споживанні біогазу, оскільки метан вибухонебезпечний. Тому при його зберіганні, транспортуванні і використанні слід здійснювати регулярний контроль для виявлення і ліквідації витоків.

При ферментативних процесах по переробці біомаси в етанол утворюється велика кількість побічних продуктів (промивальні води і залишки перегонки), що є серйозним джерелом забруднення середовища, оскільки їх вага у декілька разів (до 10) перевищує вагу етилового спирту.

Несприятливі дії біоенергетики на екологію:

- викиди твердих часток, канцерогенних і токсичних речовин, окислу вуглецю, біогазу, біоспирту;
- викид тепла, зміна теплового балансу;
- збіднення ґрунтової органіки, виснаження і ерозія ґрунтів;
- вибухонебезпека;
- велика кількість відходів у вигляді побічних продуктів (промивальні води, залишки перегонки).

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Соловей О.І., Лега Ю.Г., Розен В.П. Нетрадиційні та поновлювані джерела енергії Навчальний посібник / О. І. Соловей, Ю. Г. Лега, В. П. Розен та інш.; За заг. ред. О. І. Солов'я - Черкаси: ЧДТУ, 2007. - 490 с.
2. Величко С.А. Енергетика навколишнього середовища України (з електронними картами і графіками) Харківський національний університет ім. В. Н. Каразіна. -2003р - 52с.
3. Кудря С.О., Головка В.М. Основи конструювання енергоустановок з відновлюваними джерелами енергії - Київ, 2009. 201 с.
4. Величко, Сергій Анатолійович. Альтернативна енергетика України [Текст] : матеріали до уроків, факультативів, МАН / Сергій Величко, Олександр Третьяков. - Харків : Основа, 2010. - 126
5. Дев'яткіна, Світлана Сергіївна. Альтернативні джерела енергії: Навчальний посібник / Світлана Дев'яткіна, Тетяна Шкварницька ; М-во освіти і науки України, Нац. авіаційний ун-т. - К.: НАУ, 2006. – 89 с.
6. Дудюк, Дмитро Лук'янович. Нетрадиційна енергетика: основи теорії та задачі : навч. посібник / Дмитро Дудюк, Святослав Мазепа, Ярослав Гнатишин. - Львів : Магнолія 2006, 2009. - 187 с
7. Нетрадиційні електрохімічні системи перетворення енергії [Текст] / Євген Кузьмінський, Геннадій Колбасов, Ярема Тевтуль, Наталія Голуб,. - К. : Академперіодика, 2002. - 181с
8. Скібінський, Василь Петрович. Моделювання альтернативних джерел енергії ядерного синтезу: Монографія / Василь Скібінський, Василь Петрук, Діана Мацюк ; М-во освіти і науки України, Вінницький нац. техн. ун-т. - Вінниця : Універсум, 2007. – 109 с.
9. Самохвалов, Віктор Сергійович. Вторинні енергетичні ресурси та енергозбереження [Текст] : навч. посіб. / Віктор Самохвалов ; М-во освіти і науки України, Нац. ун-т кораблебудування ім. адмірала Макарова, Херсонська філія. - К. : Центр учбової літератури, 2008. - 223 с
10. Агеев В.А. Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии (курс лекций) <http://www.twirpx.com/file/49542/>