

Сінчук О.М., Бойко С.М., Сінчук І.О., Ялова О.М.

СПЕЦІАЛЬНІ РОЗДІЛИ ЕНЕРГЕТИКИ. НЕТРАДИЦІЙНА ТА ВІДНОВЛЮВАЛЬНА ЕНЕРГЕТИКА

підручник

**КРИВИЙ РІГ – КРЕМЕНЧУК
2017 р.**

УДК 621.316
ББК 31.261я73
Т 38

Рекомендовано до друку Вченою радою ДВНЗ «Криворізький національний університет» Міністерства освіти і науки України (протокол №2 від 31.10.2017)

Рецензенти:

Ю.Г. Качан, доктор техн. наук, професор (Запорізька державна інженерна академія, м. Запоріжжя)

В.М. Кутін, доктор техн. наук, професор (Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця)

В.П. Розен, доктор техн. наук, професор (Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», м. Київ)

О.М. Сінчук, С.М. Бойко, І.О. Сінчук, О.М. Ялова

Т 38 Спеціальні розділи енергетики. Нетрадиційна та відновлювальна енергетика. Підручник / О.М. Сінчук, С.М. Бойко, І.О. Сінчук, О.М. Ялова. – Кременчук, 2017. – 218 с.

ISBN ...

У підручнику викладено основні положення про відновлювальні енергоресурси, основні принципи їх використання. Розглянуті конструкції та режими роботи енергоустановок, що використовують відновлювані джерела енергії. Наведені приклади та міжнародний досвід експлуатації відновлюваних електростанцій. Наведено типові розрахунки автономних відновлювальних джерел енергії. Підручник є логічним продовженням ряду навчальних посібників та містить наукові розробки авторів, що були опублікованих раніше.

Рекомендовано для фахівців, аспірантів та студентів за напрямком 141 – «Енергетика, електротехніка та електромеханіка» та інших споріднених спеціальностей при вивченні дисциплін «Нетрадиційні та відновлювані джерела енергії», «Спеціальні питання енергетики, відновлювані джерела енергії», «Автономні джерела енергії» та інших.

УДК 621.316
ББК 31.261я73

ЗМІСТ

Перелік умовних скорочень	7
Вступ	8
Розділ 1 Загальні відомості	11
1.1 Поняття та класифікація нетрадиційних та відновлювальних джерел енергії.....	11
1.2 Огляд тактики впровадження та перспектив розвитку відновлюваної енергетики у світі.....	16
1.3 Огляд впровадження та перспектив розвитку відновлюваної енергетики в Україні.....	24
1.4 Особливості та напрямки розвитку сучасної енергетики.....	31
1.5 Енергетичний потенціал нетрадиційних та відновлювальних джерел енергії в Україні.....	35
1.5.1 Потенціал вітрової енергії на території України.....	36
1.5.2 Потенціал сонячної енергії в Україні.....	38
1.5.3 Енергетичний потенціал малих рік України.....	38
1.5.4 Енергетичний потенціал біомаси в Україні.....	39
1.6 Застосування нетрадиційних та відновлювальних джерел енергії у світі.....	40
Контрольні питання до розділу 1.....	42
Розділ 2 Геліоенергетика	43
2.1 Геліоенергетика: теоретичні положення впровадження, загальні відомості, основні поняття, визначення.....	43
2.2 Сонячна теплоенергетика.....	46
2.3 Сонячна фотоенергетика.....	56
2.4 Екологічні наслідки розвитку геліоенергетики.....	65
2.5 Типовий розрахунок фотоенергетичної системи на кремнієвих сонячних елементах.....	67
Контрольні питання до розділу 2.....	69

Розділ 3 Біоенергетика	70
3.1 Біоенергетика: теоретичні положення впровадження, загальні відомості, основні поняття, визначення.....	70
3.2 Застосування біомаси.....	72
3.3 Одержання біогазу.....	73
3.4 Газифікація біомаси.....	75
3.5 Способи використання та перетворення ВЕР.....	76
3.6 Екологічні наслідки розвитку біоенергетики.....	79
3.7 Типовий розрахунок біогазогенератора.....	80
Контрольні питання до розділу 3.....	81
Розділ 4 Вітроенергетика	82
4.1 Вітроенергетика: теоретичні положення впровадження, загальні відомості, основні поняття, визначення.....	82
4.2 Класифікація вітроколів.....	86
4.3 Класифікація вітроустановок.....	88
4.4 Принцип роботи вітроустановок.....	92
4.5 Особливості розташування вітроелектростанцій.....	94
4.6 Екологічні наслідки розвитку вітроенергетики.....	96
4.7 Типовий розрахунок вітроенергетичної установки.....	98
Контрольні питання до розділу 4.....	100
Розділ 5 Геотермальна енергетика	101
5.1 Геотермальна енергетика: теоретичні положення впровадження, загальні відомості, основні поняття, визначення.....	101
5.2 Джерела геотермального тепла.....	107
5.3 Методи та способи використання геотермального тепла для отримання тепло- та електроенергії.....	109
5.4 Приклади використання геотермальної енергії.....	111
5.5 Екологічні наслідки розвитку геотермальної енергетики.....	113
5.6 Типовий розрахунок геотермальної енергетичної установки.....	114
Контрольні питання до розділу 5.....	116

Розділ 6 Мала гідроенергетика	117
6.1 Мала гідроенергетика: теоретичні положення впровадження, загальні відомості, основні поняття, визначення.....	117
6.2 Енергетичні установки по використанню енергії океану.....	121
6.2.1 Енергія хвиль та припливів.....	128
6.2.2 Енергія хімічних зв'язків газів, солей, мінералів тощо.....	132
6.2.3 Прихована енергія течій у різних частинах морів та океанів.....	134
6.2.4 Різниця температур води на поверхні та в глибині, а також перетворення її на традиційні види енергії.....	140
6.3 Екологічні наслідки розвитку малої гідроенергетики.....	143
6.4 Типовий розрахунок турбіни Пельтона.....	145
Контрольні питання до розділу 6.....	146
Розділ 7 Комплексне використання відновлювальних джерел і акумуляторів енергії	147
7.1 Загальні відомості, теоретичні положення впровадження, основні поняття, визначення.....	147
7.2 Класифікація комбінованих джерел і акумуляторів енергії, основні характеристики.....	149
7.3 Комбінація нетрадиційних джерел з традиційними джерелами енергії.....	150
7.4 Комбінація нетрадиційних джерел з акумуляторами енергії.....	153
7.5 Комбінація одночасного використання декількох нетрадиційних джерел енергії.....	154
7.6 Комплексне використання відновлюваних джерел і акумуляторів	157
7.7 Принципи комбінування різних відновлювальних джерел енергії	158
7.8 Типовий розрахунок вітросонячної установки.....	163
Контрольні питання до розділу 7.....	164
Розділ 8 Новітні розробки відновлювальної енергетики та приклади їх впровадження в практику використання у різних сферах	165

8.1 Новітні розробки відновлювальної енергетики світу.....	165
8.2 Приклади впровадження відновлювальної енергетики в практику використання у різних сферах.....	184
8.3 Методи оцінки потенціалу нетрадиційних та відновлювальних джерел електричної енергії при їх впровадженні в умовах залізорудних підприємств.....	194
8.4 Оцінка вітрового потенціалу на відвалах кар'єрів залізорудних підприємств.....	197
8.5. Оцінка потенціалу сонячної фотоенергетики на відвалах кар'єрів залізорудних підприємств.....	199
8.6 Оцінка гідроенергетичного потенціалу залізорудних підприємств	202
8.7 Оцінка потенціалу незадіяного (відпрацьованого) вентиляційного потоку в виробках залізорудних підприємств.....	208
Контрольні питання до розділу 8.....	211
Список використаної та рекомендованої для користування літератури.....	212

Перелік умовних скорочень

АЕС – атомна електростанція
АГ – асинхронний генератор
БіоТЕЦ – біомасові теплоелектроцентралі
ВДЕ – відновлювані джерела енергії
ВЕК – вітровий електротехнічний комплекс
ВЕР – вторинні енергетичні ресурси
ВЕС – вітроенергетична система
ВЕУ – вітроенергетична установка
ВК – вітрове колесо
ГАЕС – гідроакумуюча електростанція
ГВП – гаряче водопостачання
ГЕС – гідроелектростанція
ДЕС – дизель-електрична система
КВЕВ – коефіцієнт використання енергії вітру
ККД – коефіцієнт корисної дії
НВДЕ – нетрадиційні відновлювальні джерела енергії
НДЕЕ – нетрадиційні джерела електричної енергії
ОГЕС – океанічні гідроелектростанції
ОТЕК – океанотермічна енергоконверсія
ПЕС – приливна електрична станція
СЕС – сонячна електростанція
СК – система керування
ТЕП – тяговий електричний привід
ТЕС – теплова електростанція
ЦПП – центральна підземна підстанція
ФБ – фотоелектричні батареї
ФЕП – фотоелектричний пристрій
ФЕУ – фотоелектрична установка

Вступ

В даний час, у всьому світі спостерігається підвищений інтерес до використання в різних галузях економіки відновлюваних джерел енергії (ВДЕ). Це пов'язано із змінами, які відбуваються в енергетичній політиці світових держав, в яких визначального значення набуває перехід на енерго- і ресурсозберігаючі технології.

Організаціями системи ООН, а також іншими міжнародними організаціями акцентується значна увага проблемі застосування ВДЕ в народногосподарському комплексі світової економіки. На заходи по впровадженню ВДЕ виділяються значні кошти з фондів ЄС та міжнародних інституцій. Збільшується чисельність міжнародних симпозіумів, конференцій і зустрічей, присвячених аналізу стану і перспектив розвитку цього напрямку енергетики.

Практичне використання нетрадиційних джерел енергії забезпечило сьогодні інтенсивний розвиток енергетики у багатьох країнах світу.

Під відновлюваними джерелами енергії (ВДЕ) розуміють джерела енергії, безперервно відновлювані, за рахунок постійного протікаючих природних процесів, таких, як: енергія сонячного випромінювання, енергія вітру, гідродинамічна енергія води; геотермальна енергія: тепло ґрунту, енергія ґрунтових вод, річок і водойм, а також антропогенні джерела первинних енергоресурсів: біомаса, біогаз і інше паливо з органічних відходів, яке використовувалось для виробництва електричної або теплової енергії та інших видів енергії.

Використання ВДЕ стало однією з найбільш інтенсивно розвиваючих областей економіки. У провідних країнах Євросоюзу (ЄС), за оцінками Міжнародного енергетичного агентства (МЕА), виробництво енергії з ВДЕ щорічно зростає на 10-20%.

Згідно даних Евростата, якщо в 2004 році в ЄС 7,9 % електроенергії було одержано за рахунок ВДЕ, то в 2011 році цей показник склав вже 13 %.

За прогнозами Європейської ради з відновлюваної енергетики, до 2040 року відновлювані джерела зможуть забезпечити 50 % виробництва енергії в світі.

Відповідно до рішення Європарламенту частка ВДЕ в енергобалансі ЄС в 2020 році повинна скласти 20 %, у 2040 році – 40 %.

Лідерами у використанні ВДЕ в ЄС є Норвегія (64,7 %), Швеція (46,8 %), Латвія (33,1 %) і Фінляндія (31,8 %).

Одну з провідних позицій по рівню розвитку практично всіх видів ВДЕ займає Німеччина. У 2004 році в Німеччині був прийнятий спеціальний закон («EGG»), який передбачає розширення частки ВДЕ в електроенергетиці до 2020 року до 35%, 2030 року – до 50 %. У 2011 році цей показник склав 20%.

Загальна потужність геліоустановок на планеті перевищила рубіж 100 ГВт, свідчать дані Європейської асоціації фотоелектричної промисловості (EPIA). У 2012 році загальна потужність геліоенергетичних установок зросла на 31 ГВт, в ЄС вона досягла 70 ГВт. У Італії сонячні батареї вже забезпечують приблизно 7 % споживаної електроенергії, в Німеччині – 6 %, а в Болгарії, Чехії, Бельгії і Іспанії – по 3 %. За 2012 рік в Євросоюзі були встановлені нові фотоелектричні перетворювачі потужністю 17 ГВт. Близько половини цього приросту (8 ГВт) забезпечила Німеччина. Для порівняння, сумарна потужність європейської вітрової енергетики за цей же період збільшилася на 12 ГВт, а газових електростанцій – на 5 ГВт.

Керуючись цілями розвитку альтернативної енергетики, в Білорусії і Україні введений регулюючий «зелений» тариф на ВДЕ, таких як вітер, сонце, біомаса та електроенергію яка виробляються малими ГЕС. «Зелений» тариф (тариф на підключення) є економічним і політичним механізмом, метою якого є залучення інвестицій в технології використання відновлюваних джерел енергії.

В 90-х роках ХХ століття розвинені країни світу почали предметно вивчати природні та антропогенні фактори та закономірності, які безпосередньо впливають на формування глобального клімату нашої планети. З метою зміни клімату у 1988 році ООН, ЮНЕП і ВМО (Всесвітня метеорологічна організація) створили Міжурядову групу експертів з питань вивчення зміни клімату планети Земля (IPCC International Panel on Climate Chenges), до складу якого ввійшло 116 урядових делегацій, 13 міжурядових і 25 неурядових організацій. Звіти IPCC, про

стан кліматичної системи планети у 1990, 1995, 2001 роках був прийнятий майже всім світовим товариством. Основні положення яких стали базовими для прийняття рішення на державних та міжурядових рівнях

Переваги відновлюваних джерел енергії порівняно з традиційними:

- вони є практично невичерпними;
- не забруднюють навколишнє середовище;
- відпадає необхідність у добуванні, переробці та доставці палива;
- немає потреби використовувати воду для охолодження, вилучати золоті 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 відновлюваних джерел енергії є непостійність їхнього енергетичного потенціалу.

Необхідність використання відновлюваних 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 разів;
- вичерпуванням у 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.

1.1 Поняття та класифікація нетрадиційних та відновлювальних джерел енергії

Енергетика має свою систему термінів і понять.

Велика енергетика – напрямок енергетики, пов'язаний з отриманням мереж тепла і електрики. Характерною рисою установок у великій енергетиці є великі розміри генераторних блоків і залежність від користувача [29].

Мала енергетика – напрямок енергетики, пов'язаний з отриманням незалежних від централізованих мереж тепла і електрики. Характерною ознакою установок в малій енергетиці є компактні розміри генераторних блоків і, як правило, мобільність конструкцій.

Загальноприйнятого терміна «мала енергетика» в даний час немає. В електроенергетиці найбільш часто до малих електростанцій прийнято відносити електростанції потужністю до 50 МВт з агрегатами одиничною потужністю до 25 МВт. Зазвичай такі електростанції поділяють на три підкласи [47]:

- мікроелектростанції потужністю до 100 кВт;
- мініелектростанції потужністю від 100 кВт до 1 МВт;
- малі електростанції потужністю більше 1 МВт.

Автономні джерела енергії – джерела електричної енергії, необхідні для роботи систем і пристроїв, не пов'язаних з лініями електропередачі.

Традиційні невідновлювані джерела енергії – це природні запаси речовин і матеріалів, які можуть бути використані людиною для виробництва енергії. Прикладом можуть служити ядерне паливо, вугілля, нафта, газ. Енергія невідновлюваних джерел на відміну від відновлюваних знаходиться в природі в зв'язаному стані і вивільняється в результаті цілеспрямованих дій людини [34].

Нетрадиційні відновлювані джерела енергії – це джерела на основі постійних існуючих або періодично виникаючих в навколишньому середовищі потоків енергії. Відновлювана енергія не є наслідком цілеспрямованої діяльності

людини, і це є її визначальною ознакою [57].

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 відновлювані (табл.1.1). До першої групи належать запаси паливних корисних копалин: нафта, кам'яне та буре вугілля, торф і підземні гази, а також уранові руди та інші хімічні елементи або їх сполуки, які застосовують при термоядерних і ядерних реакціях. До другої групи належать сонячне випромінювання, вітер, потоки рік, морські хвилі та припливи, внутрішнє тепло Землі, тощо.

Таблиця 1.1 – Потенціальні запаси джерел енергії на Землі

Види енергії	Запаси енергії
Невідновлювані (кВт · год)	
1. Термоядерна енергія	$1\ 000\ 000\ 000 \cdot 10^{12}$
2. Ядерна енергія	$574\ 000 \cdot 10^{12}$
3. Енергія паливних копалин	$55\ 364 \cdot 10^{12}$
Відновлювані (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	$18 \cdot 10^{12}$

Згідно з класифікацією Міжнародного енергетичного агентства до відновлюваних джерел енергії належать такі категорії:

- відновлювальні джерела енергії (ВДЕ), які спалюються, і відходи біомаси:
- тверда біомаса і тваринні продукти: це біологічна маса, у тому числі будь-які матеріали рослинного походження, що використовуються безпосередньо як паливо або перетворюються на інші форми перед спалюванням (деревина,

рослинні відходи і відходи тваринного походження; деревне вугілля, яке одержують з твердої біомаси);

– газ чи рідина з біомаси (біогаз, отриманий у процесі анаеробної ферментації біомаси і твердих відходів, який спалюється для виробництва електрики і тепла);

– муніципальні відходи: це матеріали, що спалюються для виробництва теплової та електричної енергії (відходи житлового, комерційного і громадського секторів), які утилізуються муніципальною владою з метою централізованого знищення;

– промислові відходи: тверді й рідкі матеріали, що спалюються безпосередньо, зазвичай на спеціалізованих підприємствах, для виробництва теплової й електричної енергії та поліпшення екології;

– гідроенергія: це потенціальна або кінетична енергія води, перетворена на електричну енергію за допомогою устаткування та обладнання гідроелектростанцій, як великих, так і малих;

– геотермальна енергія: це теплова енергія, що надходить із земних надр, зазвичай у вигляді гарячої води або пари. Використовується для виробництва або безпосередньо як джерело тепла для систем теплопостачання, потреб сільського господарства тощо;

– сонячна енергія: це енергія потоку фотонів, що випромінюються Сонцем, які рухаються в напрямку Землі, яка використовується для одержання гарячої води та електричної енергії;

– енергія вітру: це кінетична енергія повітряного потоку природного чи штучного, що застосовується для виробництва електроенергії у вітрових електроагрегатах, за допомогою вітрових турбін;

– енергія приливів, морських хвиль і океану: це механічна енергія припливних потоків, або хвиль, що використовується для виробництва електричної енергії.

Таблиця 1.2 – Показники перспективного використання нетрадиційних джерел електричної енергії, млн т у.п./рік

Напрями освоєння НДЕЕ	Рівень розвитку НДЕЕ за роками			
	2005	2010	2020	2030
Біоенергетика	1,3	2,7	6,3	9,2
Сонячна енергетика	0,003	0,032	0,284	1,1
Мала гідроенергетика	0,12	0,5	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	0,0	0,03	0,98	7,6

Класифікацію відновлюваних джерел енергії наведено на рис. 1.1. 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 виникнення вітру, хвиль, зумовлюють течію річок, створюють умови для збереження внутрішнього тепла Землі.

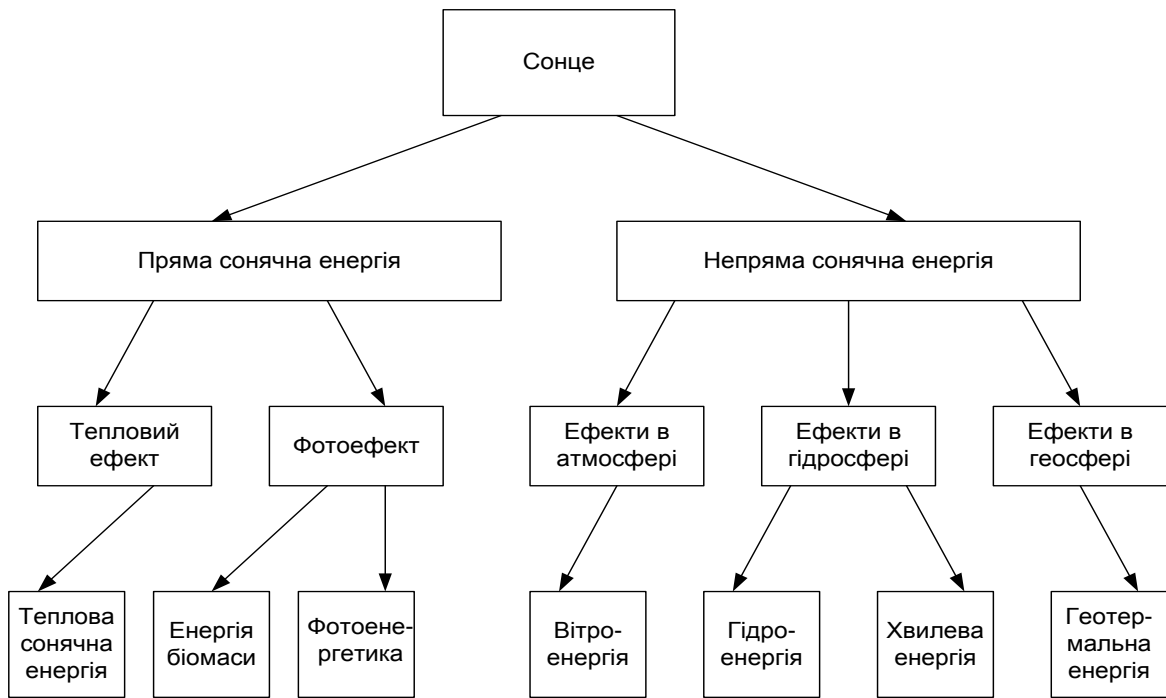
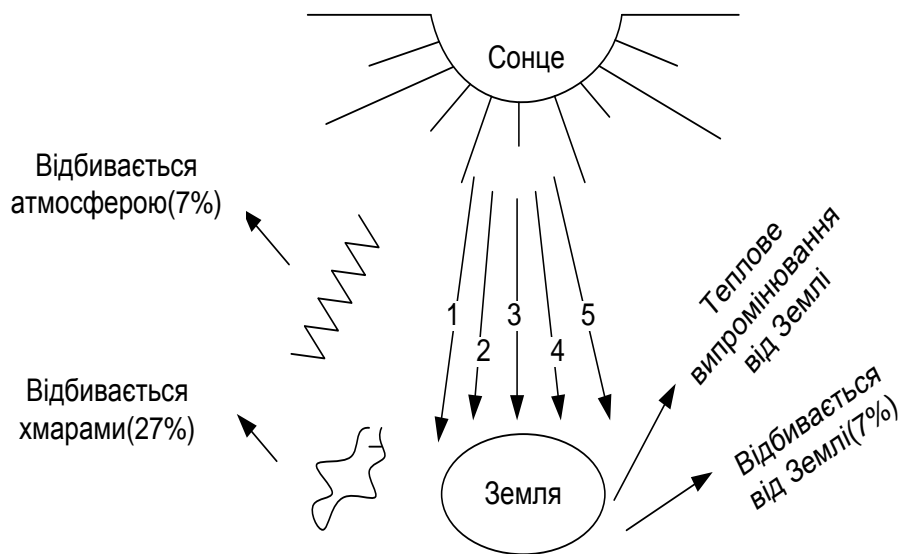


Рисунок 1.1 – Класифікація відновлюваних джерел енергії

Сонячна діяльність характеризується приблизними показниками, наведеними на рис. 1.2, які загалом утворюють схему теплового балансу Землі [6].



- 1 – перетворюється на енергію вітру (2,5%);
- 2 – перетворюється на енергію морських течій (0,04%);
- 3 – попадає на поверхню океану (33%);
- 4 – попадає на сушу (15%);
- 5 – засвоюється рослинами (0,12%).

Рисунок 1.2 – Розподіл променевої енергії Сонця

Автономна енергоустановка з НВДЕ повинна мати або акумулятори енергії, або установку-дублера, що працює на традиційному паливі. Якщо установка з НВДЕ приєднана до мережі, то мережа повинна взяти на себе компенсацію нерівномірності постачання енергії, для чого вона повинна мати достатню ємність і маневреність.

1.2 Огляд тактики впровадження та перспектив розвитку відновлюваної енергетики у світі

В «Аналітичній записці» № 13 «Біоенергетичної асоціації України» розглянуто поточний стан та перспективи розвитку відновлюваної енергетики в світі, Європейському Союзі та Україні. Проаналізовано енергетичні стратегії Євросоюзу в цілому, окремих країн ЄС та світу, а також України, розглянуто місце відновлюваних джерел енергії в цих стратегічних напрямках. Особливу увагу приділено країнам, які поставили собі за мету досягти більше 50% ВДЕ у забезпеченні кінцевого енергоспоживання до 2050 року. Показано, що для досягнення поставленої мети необхідно не тільки нарощувати потужності ВДЕ, але й суттєво скорочувати загальне споживання первинної енергії, за рахунок широкого впровадження енергоефективних заходів [1-3].

Міжнародне енергетичне агентство у 2012 році розробило аналіз і три сценарії розвитку планетарних подій, базуючись на різних енергетичних пріоритетах. Найпривабливішим та найбезпечнішим з розглянутих сценаріїв для нашої планети є сценарій *2Б8 (підвищення середньорічної температури на 2 градуси до 2050 року)*. Для досягнення цього сценарію потрібні величезні зміни в енергетичній системі світу, скорочення викидів парникових газів, пов'язаних з енергетикою, вдвічі до 2050 року в порівнянні з 2010 роком. Для виконання сценарію 2DS енергоемність світової економіки повинна постійно знижуватись, і попит на енергію повинен зменшуватись (рис. 1.3, 1.4). Без такого скорочення, досягнення сценарію 2DS стає дуже дорогим і навіть неможливим [3].

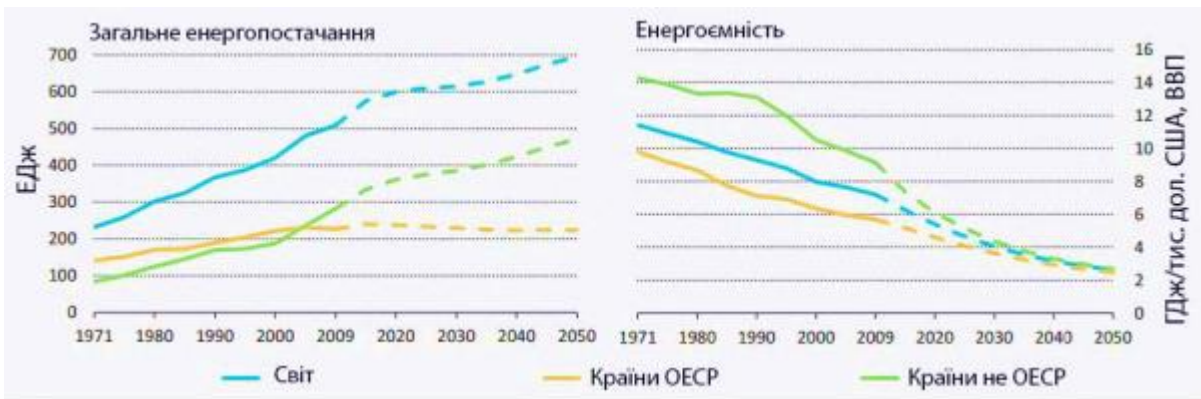


Рисунок 1.3 – Динаміка загального енергопостачання та енергоємності на одинцю ВВП при сценарії 2DS



Рисунок 1.4 – Динаміка споживання первинної енергії та ВВП в ЄС-28

На сьогодні відновлювані джерела енергії забезпечують близько 19% кінцевого енергоспоживання в світі, зокрема традиційна біомаса – 9%, сучасні ВДЕ – більше 10% (виробництво теплової та електричної енергії, транспортний сектор) (рис. 1.5). Загалом за рахунок біомаси (традиційної та сучасної) покривається близько 14% кінцевого споживання енергії [1].

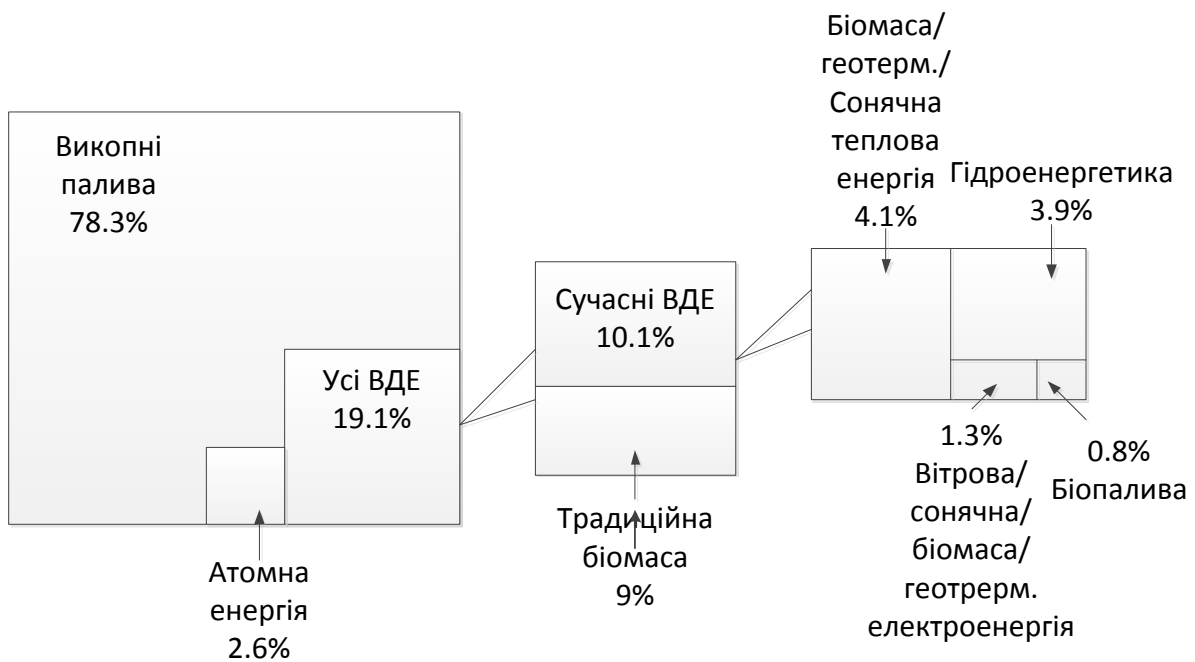


Рисунок 1.5– Структура кінцевого енергоспоживання в світі, 2013 р.

Внесок відновлюваних джерел енергії до загального виробництва електроенергії в світі становить майже 22,8%, при цьому лівова частка припадає на гідроенергію – 16,6%. З інших ВДЕ найбільша частка у вітроенергії – 3,1%, за якою слідує біомаса – 1,8% (рис. 1.6) [1].

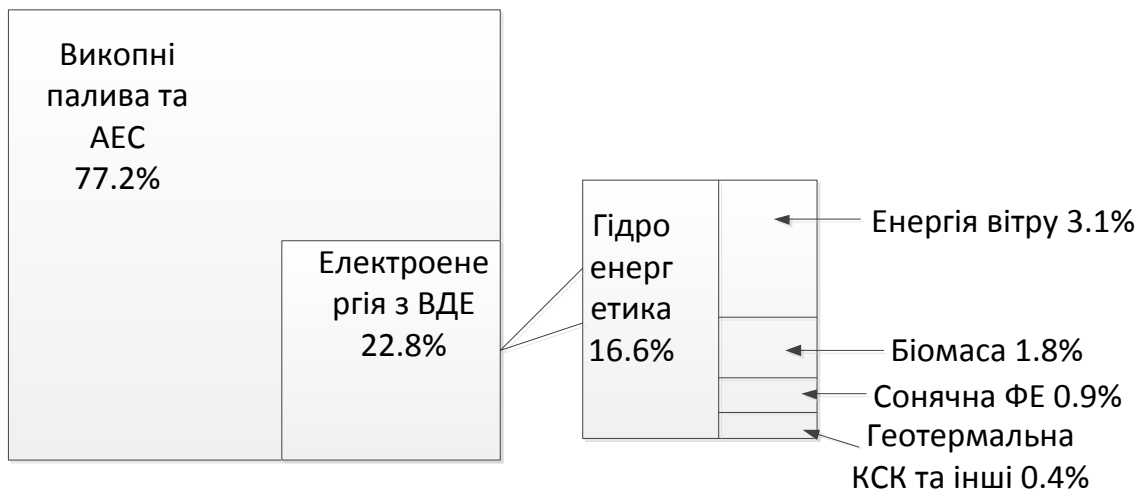


Рисунок 1.6 – Структура виробництва електроенергії в світі, 2014 р.

Найбільшими виробниками «зеленої» електроенергії є 7 країн, сумарні потужності яких складають 71,5% світових (470 ГВт, без врахування гідроенергії),

це Китай, США, Німеччина, Італія, Іспанія, Японія, Індія (рис. 1.9) [1].

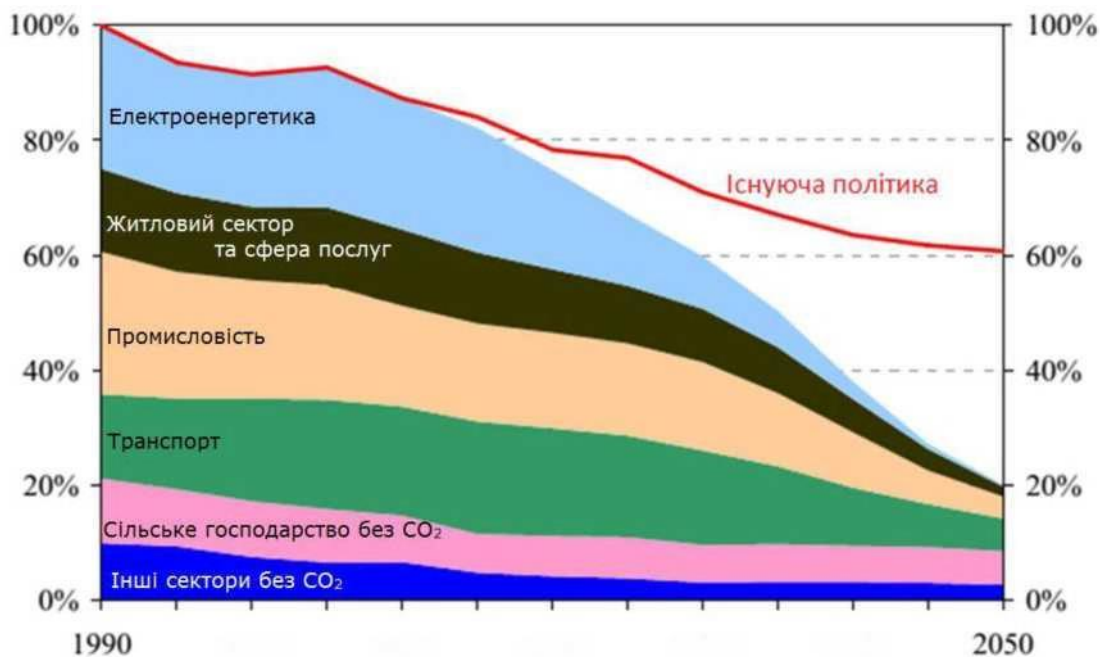


Рисунок 1.7 – Стратегія скорочення викидів парникових газів в ЄС до 2050 р. на 80% порівняно з 1990 р. відповідно до зобов’язань урядів країн-членів ЄС

Міжнародне Агентство з відновлюваної енергетики (IRENA) розробило Дорожню Карту для досягнення подвоєння частки відновлюваних джерел енергії у світовому споживанні енергії у період 2010-2030 рр. (*REmap2030*). з 18% ВДЕ у загальному кінцевому енергоспоживанні (2010 р.) до 36% (2030 р.). При цьому сучасні відновлювані джерела енергії мають поступово витіснити використання традиційної біомаси. Оскільки у 2010 р. з 18% ВДЕ половина припадала на традиційну біомасу, то у 2030 р. частка сучасних ВДЕ має більш ніж потроїтись (до 30%), залишаючи традиційному використанню біомаси лише 6% (рис. 1.8) [1].

Цікаво порівняти Дорожню Карту REmap2030 IRENA з прогнозом Світової Енергетичної Ради (WorldEnergyCouncil- WEC). WEC розробила два сценарії розвитку світової енергетики до 2050 року [1]. Сценарій 1 («Джаз») передбачає доволі повільний розвиток відновлюваної енергетики – 20% загального постачання первинної енергії (ЗПPE) у 2050 р., та досить суттєве зростання загальне постачання первинної енергії порівняно з 2010 роком - на 38% (з 546 ЕДж/рік у 2010 р. до 879 ЕДж/рік у 2050 р.). Цей сценарій видається

малореалістичним, оскільки його ціль з ВДЕ досягнуто вже зараз. *Сценарій 2 («Симфонія»)* є більш реалістичним. Він передбачає переважний розвиток відновлюваної енергетики та зростання енергоефективності. Завдяки цьому у 2050 році частка ВДЕ має досягти близько 30% у загальне постачання первинної енергії та 50% у виробництві електроенергії. При цьому загальне постачання енергії у період 2010-2050 рр. зросте лише на 22% [1].

В Європейському Союзі стан розвитку відновлюваної енергетики в цілому близький до загальносвітових показників. Внесок ВДЕ до кінцевого енергоспоживання складає 15% (2013 р.), зокрема біомаси – близько 9%. Частка ВДЕ у виробництві електроенергії становить 25,4%, зокрема близько 5% – з

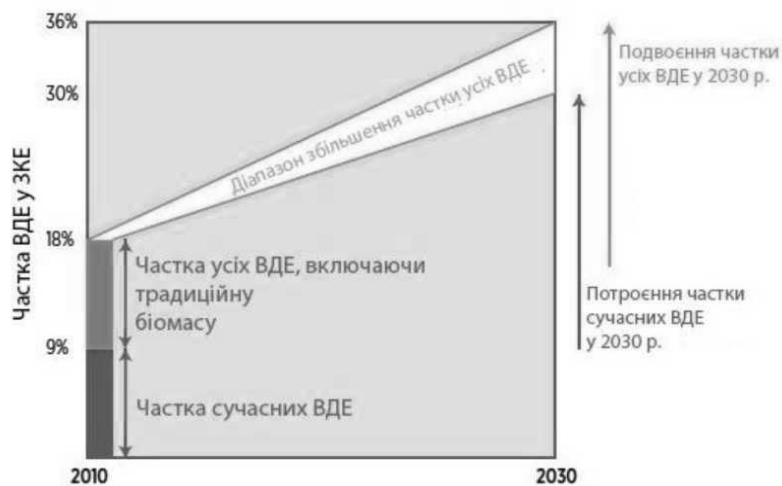


Рисунок 1.8 – Плани щодо подвоєння частки відновлювальних джерел енергії у загальному кінцевому енергоспоживанні світу згідно *Дорожньої карти REmap 2030* (IRENA)

біомаси. Більше 19% загального обсягу теплової енергії в ЄС виробляється з відновлюваних джерел, головним чином, з біомаси [3].

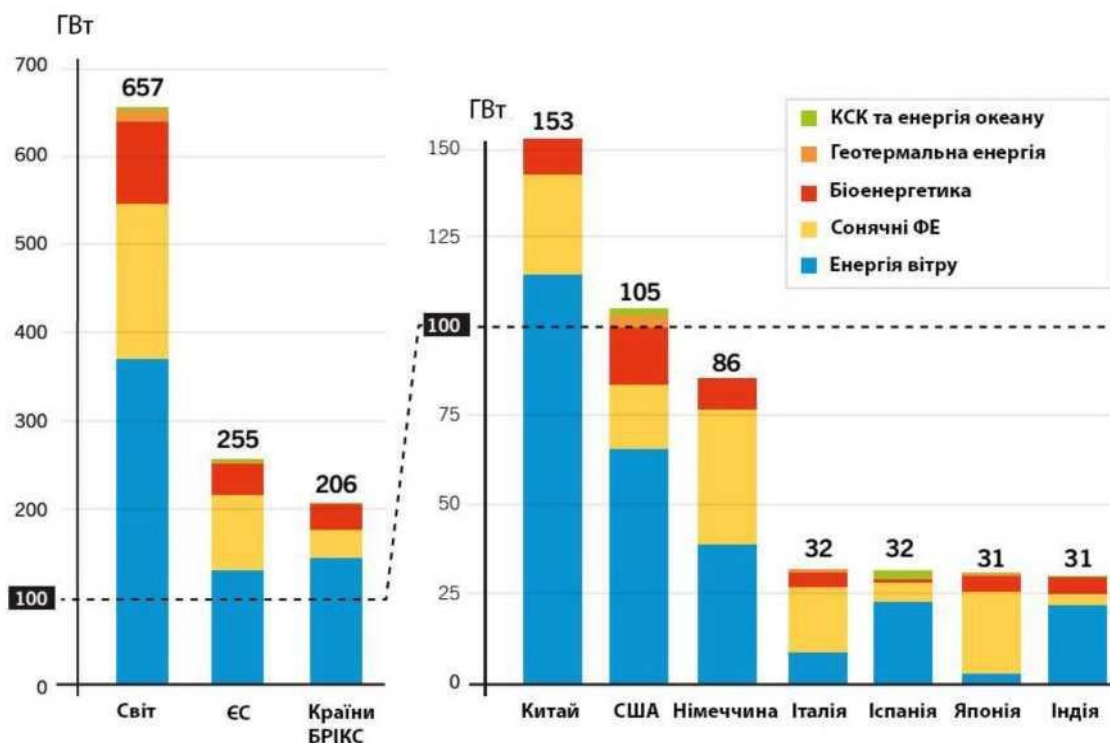


Рисунок 1.9 – Встановлена електрична потужність відновлювальних джерел енергії в світі, 2014 р.

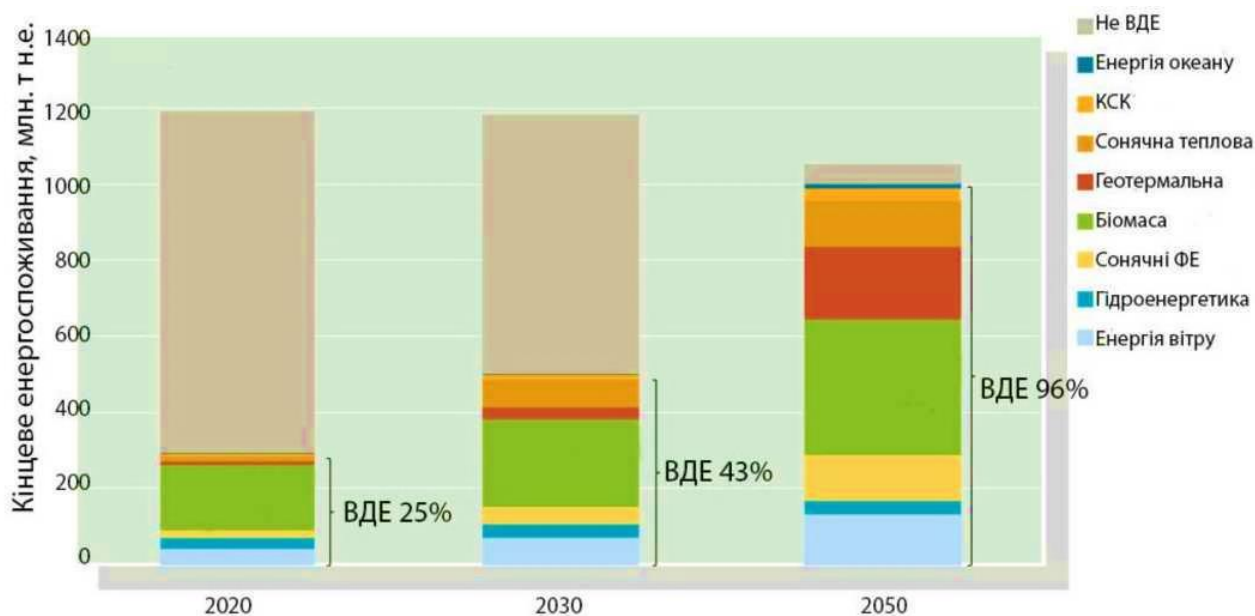


Рисунок 1.10 – Внесок відновлювальних джерел енергії до кінцевого енергоспоживання в ЄС згідно прогнозу «RE-Thinking 2050» (EREC)

У 2011 р. для того, щоб дотриматись сценарію зміни клімату 2DS Євросоюз

ще раз підтвердив свою офіційну мету по зниженню емісії парникових газів (декарбонізації) у 2050 році на 80-95% у порівнянні з показниками 1990 року (рис. 1.7) [8]. З огляду на це, Європейська Комісія розробила *Дорожню Карту з енергетики до 2050 року* [9], в якій проаналізувала, як саме можна досягти поставлених цілей по зниженню емісії парникових газів, забезпечуючи при цьому надійність та конкурентоспроможність систем енергопостачання.

Суттєве підвищення енергоефективності та енергозбереження («сценарій енергоефективності»).

Варто зазначити, що «сценарій ВДЕ» непогано узгоджується з прогнозом перспектив розвитку енергетики ЄС, виконаного Європейською радою з ВДЕ (EREC) – «*IRE-Thinking 2050*» [11]. Аналіз EREC показує реальну можливість покриття потреби ЄС в енергії у 2050 році майже на 100% за рахунок відновлюваних джерел (рис. 1.10) [4].

Зведена інформація щодо ключових показників довгострокових енергетичних стратегій деяких країн світу представлена в Таблиці 1.3 [5].

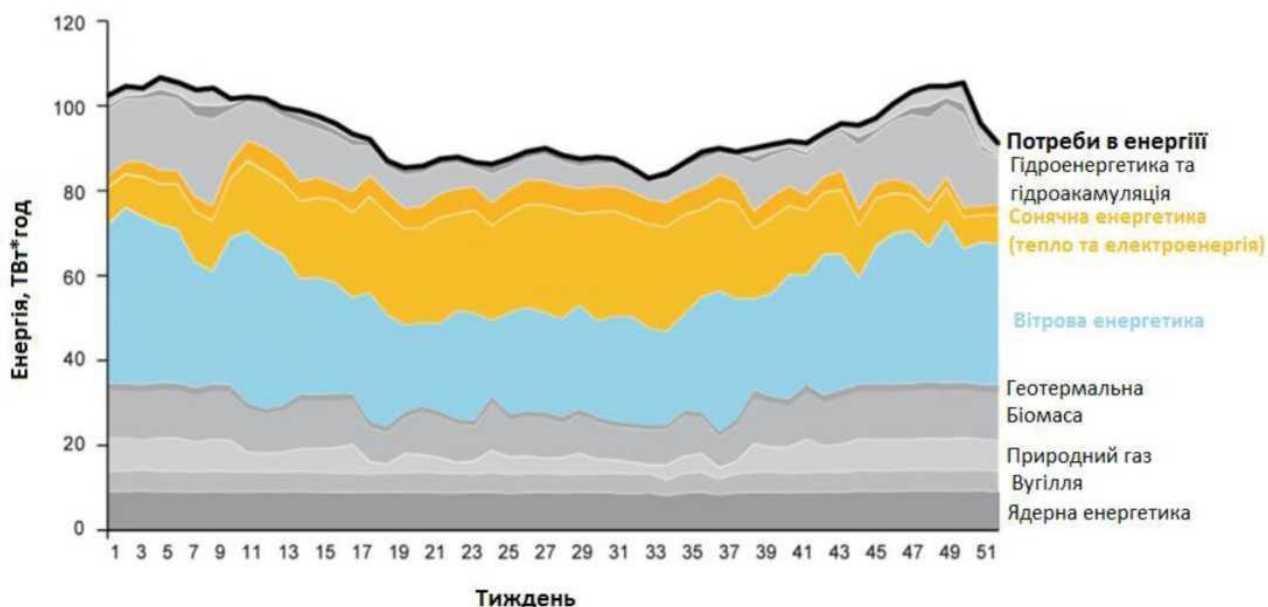


Рисунок 1.11 – Річний енергетичний баланс, частка відновлювальні джерела енергії 80%

Таблиця 1.3 – Частка ВДЕ у валовому кінцевому енергоспоживанні деяких країн світу згідно офіційних даних їх енергетичних стратегій

Країна	2014	2020	2030	2040	2050
Австрія	30%	34% 16% ⁴⁾ (1990) 17% ⁵⁾ (2005)			
Данія	25% 20% ⁵⁾ (2005)	33%	55%	68%	100%
Німеччина	12,4% (у 2013) 27% ⁴⁾ (1990) 9% ⁵⁾ (2008)	18% 40% ⁴⁾ (1990) 20% ⁵⁾ (2008)	30% 55% ⁴⁾ (1990)	45% 70% ⁴⁾ (1990) 40% ⁵⁾ (2008)	60% 80% ⁴⁾ (1990) 50% ⁵⁾ (2008)
Швеція	52,1% (у 2013)	50% 40% ⁴⁾ (1990) 20% ⁵⁾ (2008)	100% ³⁾		100% ⁴⁾
Швейцарія	17,5% (у 2010)	45% 16% ⁵⁾		56% (у 2035) 45% ⁵⁾ (у	60%
Індія	13% ¹⁾ (у 2015)		40% ²⁾ 33-35% ⁴⁾		
Китай	13% (у 2010)			55% ¹⁾	
США (Гаваї)	20%	30%	40%	70%	100% (у
Коста-Рика	95-99% 100% ¹⁾ (у	100% ⁴⁾ (у 2021)			
Ісландія	99%				
Саудівська Аравія	1% (у 2015)			100%	

Примітка: в дужках вказано рік порівняння або досягнення показника

1) У виробництві електроенергії. 2) Частка електрогенеруючих потужностей на ВДЕ. 3) У транспортному секторі. 4) Скорочення викидів парникових газів. 5) Підвищення рівня енергоефективності.

Постійне зростання обсягів споживання енергоносіїв на потреби в енергетиці штовхають політиків до пошуку нових рішень. Одним із таких рішень, які широко розповсюджені в ЄС, є *ідея об'єднаної енергетичної системи*. Мета цієї системи – вирівнювання навантажень, згладжування піків та оптимальне використання різних ВДЕ для виробництва електроенергії. У зимовий період більше електроенергії виробляється вітровими електростанціями, розташованими у північних країнах ЄС, у літній – сонячними електростанціями, що працюють в

південних країнах. До 2050 року планується розвиток цієї мережі таким чином, що ВДЕ будуть покривати 80% загального виробництва електроенергії, при цьому основний "потік" очікується по напрямках Іспанія – Франція (47 ГВт встановленої потужності) та Франція – Німеччина (20 ГВт) (рис. 1.11) [6].

1.3 Огляд впровадження та перспектив розвитку відновлюваної енергетики в Україні

Упродовж усього періоду незалежності України енергетична сфера залишається найбільш вразливим сегментом економіки. Жодна зі стратегічних цілей – зниження енергоємності ВВП, інтенсифікація розробки власних покладів енергоресурсів, диверсифікація джерел і шляхів постачання енергоносіїв, формування стратегічного резерву нафти і газу, створення елементів ядерно-паливного циклу, всебічний розвиток альтернативної енергетики – не була досягнута.

Згідно даних енергетичного балансу України за 2013 рік [8], частка ВДЕ у валовому кінцевому енергоспоживанні становить 3,62%, в тому числі біомаса – 2,28% (1,61 млн. т н.е.). *Національним планом дій з відновлюваної енергетики до 2020 року* [9] поставлено за мету досягти 11% ВДЕ у валовому кінцевому енергоспоживанні у 2020 році, що відповідає зобов'язанням України, прийнятим перед Енергетичним Співтовариством.

В даний час в Україні діє *Енергетична Стратегія України на період до 2030 року* [10], яка була прийнята КМУ 24 липня 2013 року і відразу була піддана обґрунтованій критиці. З метою виправлення цієї ситуації, на сьогодні в Україні вже розроблено два проекти нового документу – *Енергетичної Стратегії на період до 2035 року*.

Перший проект Стратегії підготовлено Національним інститутом стратегічних досліджень [3]. Цим документом заплановано досягнення частки ВДЕ у валовому кінцевому енергоспоживанні 11% у 2020 р. та 20% у 2035 році. При цьому внесок відновлюваних джерел в загальне виробництво електроенергії становитиме 13% у 2020 р. та 18% у 2035 р. (Таблиця 1.4). Ці цифри

узгоджуються з показниками національний план дій відновлювальної енергетики, що є позитивною стороною документу.прикольн

Проте даний проект Енергетичної Стратегії передбачає зростання валового кінцевого енергоспоживання України на 12,6% у 2035 р. порівняно з 2013 р., що суперечить загальній тенденції Європейського Союзу, направленої на скорочення споживання енергії та підвищення енергоефективності. Хоча в документі зазначено конкретні цілі з підвищення ефективності використання ПЕР, видається, що їх недостатньо для підтримання обсягу споживання енергоресурсів хоча б на поточному рівні. Справедливості заради треба відмітити, що в національний план дій відновлювальної енергетики також прогнозується збільшення ВКЕ на 15,5% у 2020 р. порівняно з 2014 р. згідно базового сценарію та на 9% згідно енергоефективного сценарію.

25 листопада 2015 року на засіданні Кабінету Міністрів України схвалено проект розпорядження *«Про Національний план дій з енергоефективності на період до 2020 року»*. Згідно з Планом передбачено досягти у 2020 році національної індикативної мети щодо енергозбереження у межах 9% від середнього показника кінцевого внутрішнього енергоспоживання за період 2005-2009 рр., що становить 6,5 млн. т н.е.

Таблиця 1.4 – Основні показники проекту Енергетичної стратегії України на період до 2035 року (варіант, підготовлений Національним інститутом стратегічних досліджень)

Показники	2013	2020	2025	2030	2035
Споживання ПЕР (енергетичне використання), млн. т н.е.	110,62	114,4	117,6	121,4	126,1
- зокрема ВДЕ	3,13	9,6	13,3	17,3	19,5
<i>Частка ВДЕ у споживанні первинних</i>	<i>2,7%</i>	<i>8,4%</i>	<i>11,4%</i>	<i>14,2%</i>	<i>15,5%</i>
Кінцеве енергоспоживання, млн. т н.е. ¹⁾	69,6	77,9	80,8	85,1	88,9
<i>Частка ВДЕ в валовому кінцевому енергоспоживанні</i>	<i>4,5%</i>	<i>12,3%</i>	<i>16,5%</i>	<i>20,3%</i>	<i>21,9%</i>
Кінцеве енергоспоживання, млн. т н.е. ²⁾	86,6	86,9	89,1	93,5	97,5
<i>Частка ВДЕ в валовому кінцевому енергоспоживанні</i>	<i>3,6%</i>	<i>11,0%</i>	<i>15,0%</i>	<i>18,5%</i>	<i>20,0%</i>
Виробництво електроенергії, ТВт-год	194,4	209,46	232,97	258,24	276,62
- зокрема з ВДЕ	~15,7	28,12	38,44	47,60	50,1
<i>Частка ВДЕ у виробництві</i>	<i>~8,1%</i>	<i>13,4%</i>	<i>16,5%</i>	<i>18,4%</i>	<i>18,1%</i>

1) Згідно енергетичних балансів.

2) Згідно вимог Директиви 2009/28/ЕС.

Таким чином, незалежність від традиційного палива досягається двома шляхами – впровадженням відновлюваних джерел енергії та скороченням загального енергоспоживання. Як видно з аналізу основних світових енергетичних стратегій, країни перейшли у нову площину конкурентності, де основним питанням стоїть досягнення звання найекологічнішої країни та досягнення енергонезалежності, не втрачаючи при цьому темпу розвитку власної промисловості.

У прогнозах, щорічний середній приріст ВВП передбачається зростання із 3% у 2015 році, до 3,7% протягом десяти років до 2025 року, а це означає, що поліпшення інтенсивності і розгортання сучасних технологій вироблення енергії, які повинні очистити викида та їх скорочення.

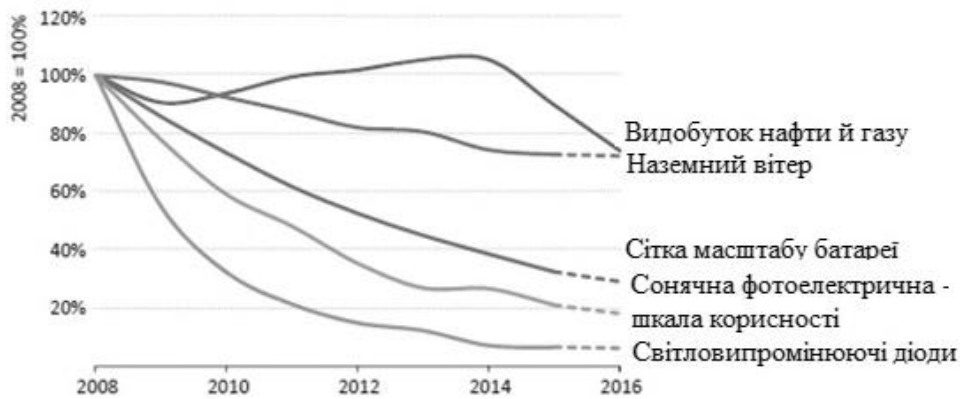


Рисунок 1.12 – Основні тенденції витрат для обраних технологій

«По 450-му Сценарію» передбачає розгортання відновлюваних джерел енергії значно вище встановленого рівня, що передбачується за сьгоднішніми показниками і в політичних намірах. Сектор енергетики в значній мірі декарбонізований до 2040 року, при цьому частка відновлюваних джерел енергії в генерації зростає до майже 60%.

	Найвні потужності у 2015 р. ГВт	Генерація у 2015 р. ТВт-год	КВВП, %	Собівартість ²	
				коп/КВт-год	Євро/МВт-год
АЕС	13,8	87,6	72,4	43	18
ТЕС ¹	24,5	49,4	20,2	103	43
ТЕЦ	6,5	12,2	26,0	114	47
ГЕС/ ГАЕС	5,9	6,8	13,5	69 ³	29
ВЕС	0,4	1,0	26,1	352	145
СЕС	0,4	0,5	12,6	532	220
Загалом	51,6	157,5	33,2	72	30

Рисунок 1.13 – Потужності генерації в Україні (2015 р.)

Базова конфігурація формули енергетичної безпеки: енергозаощадження та енергоефективність + власні енергоресурси (вугілля, природний газ, уранова руда, нафта, біомаса + інші відновлювані джерела енергії) + диверсифікація імпорту + стратегічні резерви + інтеграція в енергетичний простір ЄС (сполучені та синхронізовані енергетичні мережі) + захист критичної енергетичної

інфраструктури [12].

Структура споживання первинних енергоресурсів у 2015р. характеризується високою часткою природного газу (36.1%, 31 млн. т н. е.) в загальне постачання первинної енергії. При цьому атомна енергетика складає 27.9% (24 млн т н. е.), вугілля – 20.8% (18 млн т н. е.), нафтопродукти – 9.4% (8 млн. т н. е.), біомаса – 4.3% (4 млн. т н. е.), ГЕС – 0.9% (1 млн. т н. е.) та ВЕС/СЕС – 0.6% (1 млн. т н. е.), сумарна частка всіх ВДЕ – 5.8%). Оптимізація структури загальне постачання первинної енергії з орієнтацією на зменшення частки газу має стати одним з постійних завдань уряду під час реформ енергетичного сектору [3, 12].

На 2015р. Україна мала встановлену потужність з генерації електроенергії, що дорівнює 54,8 ГВт (включно з 3.2 ГВт у НКТ на сході та півдні України). Ці потужності складаються з 24.5 ГВт ТЕС, 6.5 ГВт ТЕЦ, 13.8 ГВт АЕС, 5.9 ГВт ГЕС/ГАЕС, 0.4 ГВт СЕС та 0.5 ГВт ВЕС [3, 13].

Значна частина цих потужностей є зношеними – вік 50% потужностей перевищує 40 років. Відтоді, наразі вірогідним є необхідний вивід з експлуатації у період 2025-2040рр. потужностей, що забезпечують ~80% поточного виробництва (~20-25 ГВт). В тому числі, 11 ГВт АЕС досягнуть терміну 50-річної експлуатації (за умови успішного дворазового подовження строку експлуатації). Серед блоків VVER-1000 українські блоки є одними з найстаріших у світі. Спираючись на досвід станцій Найн Майл та Ойстеркрік, можливо буде переглянути плани щодо виведення блоків з експлуатації після 50 років [14].

Частка ВДЕ у кінцевому споживанні енергії в Україні у 2015р. становила близько 5.6% (із урахуванням всієї гідроенергетики України). Цей показник є більш ніж в 3 рази нижчим, ніж у середньому у ЄС-28. При цьому, близько 20% енергії з ВДЕ в Україні було вироблено ГЕС у вигляді електроенергії, виробництво якої є відносно стабільним упродовж багатьох десятиліть та переважно забезпечується каскадом ГЕС на р. Дніпро. Близько 30% енергії ВДЕ було отримано з продуктів біологічного походження (тверда біомаса, біогаз, біопаливо та ін.) [15].

Використання ВДЕ потенційно може як поліпшити рівень енергетичної

безпеки, так і зменшити антропогенний вплив на довкілля. Тому, разом з підвищенням енергоефективності, має стати одним із найважливіших напрямів енергетичної політики України.

При розгляді ВДЕ слід виділити три основні аспекти даної проблематики: вітряна та сонячна енергія; біомаса; гідроенергетика.

Станом на 2016р. ці види ВДЕ мають встановлені потужності – 0.5 ГВт СЕС та 0.5 ГВт ВЕС [15].

Запровадження державної стимулюючої політики виробництва електроенергії із ВДЕ через механізм “зеленого тарифу” та надання податкових преференцій привело до вибухоподібного розвитку сонячної та вітрової електроенергетики. Втрата контролю над активами з вітряної та сонячної енергетики у Криму негативно вплинула на сучасний стан цього сектора генерації.

Очікується, що у 2015-2035рр. матимуть місце зміни у структурі генерації тепло- та електроенергії і у структурі споживання первинного палива, внаслідок чого обсяги загальне постачання первинної енергії зростуть приблизно на 11% порівняно з 2015 роком – до рівня 95-98 млн. т н. е. у 2035р., однак порівняно з 2013р. показник загальне постачання первинної енергії буде нижчим приблизно на 17% [3, 15].

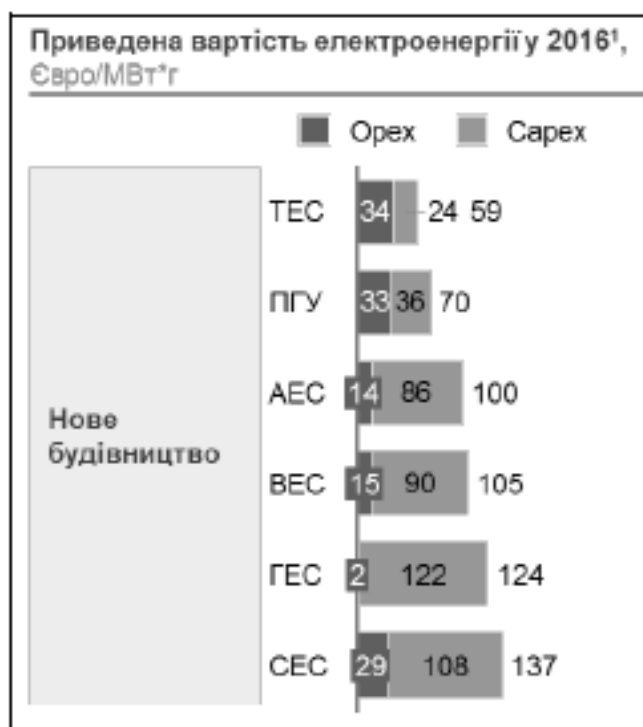


Рисунок 1.14 – Порівняння вартості різних видів генерації електричної енергії в Україні

Зростання виробництва енергії з ВДЕ відбуватиметься за рахунок розвитку альтернативної енергетики в Україні після 2025р. Передбачається, що частка ВДЕ у структурі загального постачання первинної енергії зростатиме високими темпами – з 5.7% у 2015 р. до 21.7% у 2035р., або у 3.8 рази (без урахування ГЕС/ГАЕС: з 4.9% до 20.4%).



Рисунок 1.15 – Структура потужностей генерації електроенергії на Україні 2015-2025 рр.

Очікується, що енергонасиченість ВВП України (за ПКС) знизиться з 0.28 млн т н. е. на 1000 дол. ВВП у 2015р. до 0.12 млн т. н. е. у 2035р. за умови ефективного виконання НЕС. Без проведення жорсткої політики з енергоефективності та енергозаощадження не варто очікувати суттєвого зниження енергонасиченості економіки України.

1.4 Особливості та напрямки розвитку сучасної енергетики

Конкретизація поняття SmartGrid щодо електроенергетичних систем різного технічного рівня ініціювала появу таких термінів, як StrongSmartGrid (SSG) – мережі напруги вище 110 кВ, RegionalSmartGrid (RSG) – напруга від 3 до 110 кВ, і MicroSmartGrid (MSG) – напруга 0.4–3 кВ, характерними безпосередньо для самих систем і виникаючими при їх об'єднанні, що визначає особливості побудови обладнання у вузлах їх сполуки та у вузлах підключення навантажень. Практичне розв'язання перерахованих завдань може бути здійснено на основі застосування засобів силової електроніки і, зокрема, на основі широкого

впровадження перетворювачів параметрів електричної енергії. Засоби силової електроніки є органічними елементами розглянутих систем, без яких про яке або побудові Smart Grid говорити не доводиться .

Вибір типу і структури напівпровідникових перетворювачів, пропонує для використання при з'єднаннях різних систем, слід проводити з урахуванням характеру зміни параметрів електричної енергії, характерних для тієї чи іншої системи. Основними особливостями SSG, RSG і MSG систем є істотна відмінність зміни параметрів їх електричної енергії в часі. Для SSG систем характерна відносно висока стабільність параметрів енергії [16].

У RSG системах відбувається деяке, а часом і значне, але, як правило, не виходить за деякі межі, зміна параметрів енергії, зумовлене типом підключаються навантажень і потужністю трансформаторних підстанцій.

Основні питання розробки концепції Smart Grid в Україні:

1. Формування стратегічного бачення майбутньої електроенергетики в Україні на базі концепції Smart Grid.

2. Перерозподіл основних вимог та функціональних властивостей вітчизняної електроенергетики на базі концепції Smart Grid і принципів їх здійснення.

3. Визначення основних напрямків розвитку всіх елементів енергетичної системи: генерації, передачі і розподілу, збуту, споживання та диспетчеризації.

4. Перерозподіл основних компонентів, технологій, інформаційних і управлінських рішень у всіх вищезгаданих сферах.

5. Забезпечення координації модернізації (подолання технологічного розриву) та інноваційного розвитку в українській електроенергетиці.

Напрямки розвитку електроенергетики, що отримують пріоритетний розвиток [17]:

– Оптимальна інтеграція генеруючих і акумулюючих потужностей різної фізичної природи в ЕЕС.

– Протидія негативним впливам.

– Мотивація активної поведінки кінцевого споживача. Доступ на ринки електроенергії “активного споживача” і розподіленої генерації.

– Забезпечення надійності енергопостачання та якості електроенергії в різних цінових сегментах.

– Трансформація системоорієнтованого підходу в клієнтоорієнтований.

– Самовідновлення при збуреннях, в т.ч. аварійних.

– Оптимізація керування активами.

Напрямки розвитку інтелектуальних електромереж ОЕС України:

– Перехід до розподіленої генерації.

– Перехід від жорсткого диспетчерського планування та регулювання до організації скоординованої роботи всіх об’єктів мережі.

– Впровадження нових технологій та силових пристроїв, що забезпечують маневреність та керованість ЕЕС та її об’єктів.

– Створення інтелектуальних систем вимірювання, контролю, обліку, діагностування та керування, що охоплюють розподілену генерацію, передачу, розподіл та споживання електроенергії.

– Розробка операційних додатків (SCADA\EMS\NMS) нового покоління орієнтованих на нові силові пристрої.

– Формування високопродуктивної інтегрованої інформаційно-обчислювальної структури, як ядра ЕЕС.

Перспективи впровадження Smart Grid в ОЕС України

Основні переваги відновлюваних джерел енергії:

(Закон України Про альтернативні джерела енергії)

– зниження витрати традиційних паливно-енергетичних ресурсів;

– зменшення залежності України від імпорту паливно-енергетичних ресурсів;

– дотримання екологічної безпеки за рахунок зменшення негативного впливу на стан довкілля.

Проблемні сторони впровадження відновлюваних джерел енергії в ОЕС України:

- невідосконаленість законодавчої бази України;
- недостатність нормативно-технічної бази та державних стандартів щодо проектування та підключення електростанцій, які працюють на ВДЕ до електричних мереж ОЕС України;
- надвисокі тарифи на електроенергію, яка виробляється електростанціями на ВДЕ (для СЕС – більше 7 грн./кВт·год);
- необхідність обов'язкового включення до добового диспетчерського графіку навантажень потужності електростанцій, які працюють на ВДЕ.

Проблемні сторони впровадження відновлюваних джерел енергії в ОЕС України:

- стрімкий та некерований процес збільшення потужностей електростанцій, що використовують ВДЕ;
- Державне підприємство національна енергетична компанія «УКРЕНЕРГО» не має інструменту обмеження видачі ТУ та будівництва електростанцій, що використовують ВДЕ, як наслідок, вже видано та погоджено ТУ на приєднання ВЕС в обсязі 2062 МВт; СЕС – 570 МВт; отримано заявок на видачу ТУ – близько 14000 МВт, або 40% від споживання ОЕС України;
- зменшення маневрових потужностей та збільшення базових потужностей в загальному балансі ОЕС України. Необхідність у додаткових резервах потужності на випадок коливань потужності СЕС та ВЕС;
- погіршення якості електроенергії в енергорегіонах, в яких працюють СЕС;
- необхідність застосування додаткових заходів з компенсації реактивної потужності та регулювання напруги.

Досвід європейських країн:

- 1) впровадження значних обсягів потужностей на електростанціях на ВДЕ (Данія, Германія, Іспанія, та ін.);

2) системна аварія в UCTE у 2006 році була частково спровокована наявністю значних перетоків потужності з енергорегіонів, в яких працювали електростанції на ВДЕ;

3) необхідність підтримання відповідних резервів потужності на випадок зміни потужності електростанцій, які працюють на ВДЕ;

4) впровадження сучасних комплексів прогнозування роботи електростанцій на ВДЕ, впровадження SMART GRID.

1.5 Енергетичний потенціал нетрадиційних та відновлювальних джерел енергії на Україні

На даний час Україна відноситься до країн з економікою, що розвивається. Для такого роду країн необхідно контролювати витрати в різних сферах, у тому числі й енергоспоживання, тому що цей показник характеризує рівень життя населення країни.

Вважається, чим більше енергоспоживання, тим вище рівень життя.

Враховуючи, що основне завдання енергетики полягає в необхідності достатнього енергозабезпечення, можна зробити висновок, що необхідний рівень енергозабезпечення досягається не тільки валовою кількістю виробництва енергії, але і шляхом енергоресурсозбереження. Цей же висновок стосується Росії та України. Досягти високого рівня життя можна як величезним збільшенням виробництва енергії (це дуже тривалий шлях), так і використовуючи принципи енергоресурсозбереження, майже не збільшуючи виробництво енергії. У цьому полягає надзвичайно тісний зв'язок між виробництвом енергії, споживанням енергії і енергоресурсозбереженням. Необхідність і можливість розвитку енергетики України на базі відновлюваних 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 відновлюваних джерел енергії;

– наявністю промислової бази, придатної для виробництва, практично, всіх видів обладнання для поновлюваної енергетики.

1.5.1 Потенціал вітрової енергії на території України

Україна має досить високий кліматичний потенціал вітрової енергії, який забезпечує продуктивну роботу не лише автономних вузлів живлення, але й потужних вітроелектростанцій. Зростає необхідність у виявленні найперспективніших місць використання вітрової енергії, базуючись на її кліматичному потенціалі та показниках його можливої утилізації.

Районування території України за потенціалом вітрової енергії проводилось на основі кліматичного узагальнення цих показників. Вибір здійснювався за принципом їх показовості як характеристик багаторічного режиму вітрової енергії та її просторово-часової структури. Для районування території застосовано комплекс показників:

- середня річна швидкість вітру (дає загальне уявлення про кліматичний вітроенергетичний потенціал будь-якого району) та її мінливість;
- питома потужність та сумарні потенційні вітроенергоресурси і утилізована вітрова енергія;
- тривалість енергоактивної швидкості вітру та енергетичного штилю;
- безперервна тривалість робочої швидкості (як критерій стабільності функціонування вітроагрегатів).

Отже, комплекс показників вітрової енергії дозволяє оцінити енергетичні можливості кожного району та розробити рекомендації щодо її раціонального використання.

Найвищим вітроенергетичним потенціалом відзначаються узбережжя Чорного та Азовського морів, Південний берег Криму, вершини Українських Карпат, Кримських гір, також область Донбасу.

Умови вітровикористання оптимальні протягом усього року. Будівництво вітроелектростанцій треба розгортати у цих регіонах, враховуючи значний дефіцит власних генеруючих потужностей. Можливе ефективне розміщення як потужних вітроелектростанцій, так і автономних вітроенергоустановок. Слід надавати перевагу будівництву вітроелектростанцій на прилеглих водних акваторіях, що мають особливо високий вітроенергетичний потенціал.

Високий потенціал вітрової енергії властивий району Донецької височини, Приазовської та Причорноморської низовин. Тут протягом року сприятливі умови для вітровикористання та ефективної роботи потужних вітроелектростанцій та автономних вітроенергоустановок.

Достатнім вітроенергетичним потенціалом відзначаються також Подільська та Придніпровська височини. Умови вітровикористання досить сприятливі, особливо у холодний період року.

Поліська та Придніпровська низовини характеризуються невисоким вітровим потенціалом та нерівномірним його розподілом протягом року. Умови вітровикористання менш сприятливі, рекомендується розміщення тихохідних вітроенергоустановок, рентабельність яких підвищуватиметься у холодний період року.

Передкарпаття, Закарпаття та вузькі захищені долини Українських Карпат та Кримських гір відзначаються низьким вітровим потенціалом. Умови вітровикористання несприятливі, за винятком окремих місць, які значно домінують над навколишньою місцевістю.

1.5.2 Потенціал сонячної енергії в Україні

В результаті обробки статистичних метеорологічних даних по надходженню сонячної радіації визначено питомі енергетичні показники з надходження сонячної енергії та розподіл енергетичного потенціалу сонячного випромінювання для кожної з областей України.

Середньорічна кількість сумарної сонячної радіації, що поступає на 1 м^2 поверхні, на території України знаходиться в межах: від $1070 \text{ кВт}\cdot\text{год}/\text{м}^2$ в північній частині України до $1400 \text{ кВт}\cdot\text{год}/\text{м}^2$ і вище в Криму [3].

Потенціал сонячної енергії в Україні є достатньо високим для широкого впровадження як теплоенергетичного, так і фотоенергетичного обладнання, практично, в усіх областях. Термін ефективної експлуатації геліоенергетичного обладнання в південних областях України – 7 місяців (з квітня по жовтень), в північних областях 5 місяців (з травня по вересень). Фотоенергетичне обладнання може достатньо ефективно експлуатуватися протягом всього року.

В кліматометеорологічних умовах України для сонячного тепlopостачання ефективним є застосування плоских сонячних колекторів, які використовують як пряму, так і розсіяну сонячну радіацію. Концентруючі сонячні колектори можуть бути достатньо ефективними тільки в південних регіонах України.

1.5.3 Енергетичний потенціал малих рік України

Україна має потужні ресурси гідроенергії малих рік – загальний гідроенергетичний потенціал малих рік України становить біля 12,5 млрд. кВт·год, що складає біля 28% загального гідро потенціалу всіх рік України.

Створено базу даних по розподілу енергетичного потенціалу малих рік за областями України. Коливання осереднених даних по загальному потенціалу в Україні досить незначні, тоді як дані по технічному та доцільно-економічному потенціалу малих рік потребують уточнення – в звичайних ситуаціях не менше одного разу в 5 років, а в виняткових випадках – щорічно [4].

Головною перевагою малої гідроенергетики є дешевизна електроенергії, генерованої на гідроелектростанціях; відсутність паливної складової в процесі отримання електроенергії при впровадженні малих гідроелектростанцій дає позитивний економічний та екологічний ефект.

Первинним джерелом енергії для малої гідроенергетики є гідропотенціал малих річок; верхня межа потужності гідроенергетичного обладнання становить 30 МВт. Згідно міжнародної класифікації за нормативом ООН, до малих

гідроелектростанцій (МГЕС) відносять гідроелектростанції потужністю від 1 до 30 МВт, до мініГЕС – від 100 до 1000 кВт, до мікроГЕС – не більше 100 кВт.

Для вирішення проблем розвитку малої гідроенергетики Україна має достатній науково-технічний потенціал і значний досвід в галузі проектування і розробки конструкцій гідротурбінного обладнання, дослідження гідроенергетичного потенціалу малих річок, вирішення водогосподарських та екологічних проблем при будівництві гідроелектростанцій. Українські підприємства мають необхідний виробничий потенціал для створення вітчизняного обладнання малих ГЕС.

1.5.4 Енергетичний потенціал біомаси в Україні

Енергетична ефективність біоенергетики достатньо висока для того, щоб виділити її в окремий напрям енергетичного господарства. В Україні існує достатній енергетичний потенціал практично всіх видів біомаси і необхідна науково-технічна та промислова база для розвитку даної галузі енергетики.

Показники енергетичного потенціалу біомаси відрізняються від потенціалу інших відновлюваних джерел енергії тим, що, окрім кліматометеорологічних умов, енергетичний потенціал біомаси в країні в значній мірі залежить від багатьох інших факторів, в першу чергу від рівня господарської діяльності.

Енергетичний потенціал біомаси представлено такими її складовими – енергетичним потенціалом тваринницької сільськогосподарської і рослинної сільськогосподарської біомаси та енергетичним потенціалом відходів лісу.

Основними технологіями переробки біомаси, які можна рекомендувати до широкого впровадження в даний час є: пряме спалювання, піроліз, газифікація, анаеробна ферментація з утворенням біогазу, виробництво спиртів та масел для одержання моторного палива.

При обґрунтуванні впровадження біоенергетичних технологій забезпечення охорони оточуючого середовища знезараженням відходів біомаси часто посідає перше місце: в процесі переробки тваринницьких відходів та міських стічних вод, окрім знешкодження небезпечної мікрофлори, гельмінтів та насіння бур'янів, які

попадають в ґрунт, в поверхневі та підземні води, усувається забруднення повітря в зонах їх накопичення.

Економічна ефективність біоенергетичного обладнання в більшості випадків забезпечується правильним вибором технології переробки біомаси та розташуванням обладнання в місцях постійного її накопичення; важливим є також ефективно і, по можливості, комплексне використання всіх отриманих в процесі переробки продуктів.

1.6 Застосування нетрадиційних та відновлювальних джерел енергії у світі

Значним та реально досяжним є потенціал використання НВДЕ у сільському господарстві. По-перше, об'єкти – споживачі електричної енергії цієї галузі нерідко значно віддалені від великих електростанцій; адже добре відомі нам сьогодні ГЕС, ГРЕС, ТЕС не можуть орієнтуватися на споживача в своєму розміщенні. Біля 70% собівартості вітчизняної продукції сільського господарства становлять енергозатрати. По-друге, сільськогосподарські виробництва взагалі дуже енергоємні, якщо мова йде про електроенергію. А із застосуванням енергії з нетрадиційних джерел, ці витрати знижуються майже в 3 рази. Для приводу водопідійомників і насосів найдоцільніший спосіб отримання енергії, заснований на анаеробному (у присутності каталізатора) зброджуванні відходів.

На підприємствах переробної галузі також ефективно застосовувати енергію з нетрадиційних джерел для отримання, наприклад, ультразвуку, струмів високої частоти, тощо; на нагрів води та отримання пари для стерилізації теж економічно вигідно використовувати в якості парогенераторів і дублерів парогенераторів вітроагрегати. Області застосування НВДЕ численні: в побуті їх зручно застосовувати для нагріву води, теплопостачання, а також можна згадати геліодуші.

Енергію з біомаси широко отримують в Бразилії, США.

У Греції, Ізраїлі, Кіпрі, Туреччині успішно використовуються генератори сонячної енергії. У Данії, Індії, Китаї, Каліфорнії – вітроагрегати. А крім Росії

ПЕС експлуатуються у Франції, Канаді, Індії, Китаї [6].

Говорячи про водневу енергетику, відзначимо, що крім методів виробництва водню і його використання в паливних елементах необхідно як і раніше приділяти увагу і способам прямого спалювання водню в енергетичних установках і двигунах. Так, новий підхід, щодо використання водню в енергетиці, полягає в допалюванні водню разом з паром. В результаті досягаються більш високі параметри пари і, відповідно, більш високий ККД турбіни – до 55%.

Надзвичайно перспективний напрямок – застосування як парових, так і газових турбін в малій енергетиці. У Росії є величезна кількість котелень, які призначені для теплопостачання, але в той же час виробляють пар з високими параметрами (тиск до 39 атмосфер). Таку пару можна використовувати для вироблення електроенергії в парових протivotискових турбінах. Оцінюваний потенціал становить 25 тис. МВт. Причому, витрата палива на генерацію електрики виявляється в 2 рази нижче, ніж в РАО «СЕС». Зараз на котельні ННЦ СО РАН реалізується проект з установкою протivotискової турбіни потужністю 6 МВт.

Виділяючи квінтесенцію з матеріалу, викладеного в даному розділі підкреслимо наступне.

Застосування відновлюваних джерел енергії дозволяє зменшити витрати на нагрів гарячої води, витрати на опалення.

Уся територія України придатна для застосування відновлюваних джерел енергії.

Територія України, незважаючи на те, що є не досить сприятлива для використання геліоенергетики, вітроенергетики та інших відновлюваних джерел енергії та має свої кліматичні особливості використання, є придатною для використання НВДЕ.

Контрольні питання до розділу 1

1. Що являють собою відновлювані джерела енергії?
2. Як класифікуються нетрадиційні відновлювані джерела енергії?

3. Які потенційні світові запаси нетрадиційної та відновлюваної енергетики?
4. Який енергетичний потенціал нетрадиційних та відновлюваних джерел енергії на Україні?
5. Що являє собою потенціал науково-промислового комплексу України?
6. Які є приклади застосування нетрадиційних та відновлюваних джерел енергії в Україні?
7. Яке застосування нетрадиційних та відновлюваних джерел енергії вам відоме у світі?
8. З якою метою використовується акумулювання енергії?
9. Які є проблеми альтернативної енергетики?
10. Які є перспективи розвитку використання нетрадиційних та відновлюваних джерел енергії в Україні?

Розділ 2 Геліоенергетика

2.1 Геліоенергетика: теоретичні положення впровадження, загальні відомості, основні поняття, визначення

Сонячна (геліо) енергетика – використання сонячної енергії для отримання енергії в будь-якому зручному для її використання вигляді. Сонячна енергетика використовує відновлюване джерело енергії і в перспективі може стати екологічно чистою, тобто такою, що не виробляє шкідливих відходів.

На сьогодні сонячна енергетика широко застосовується у випадках, коли малодоступність інших джерел енергії в сукупності з достатньою кількістю сонячного випромінювання виправдовує її економічно.

Потік сонячного випромінювання, що проходить через площу в 1 м^2 , розташовану перпендикулярно потоку випромінювання на відстані однієї астрономічної одиниці від центру Сонця (тобто зовні атмосфери Землі), рівний 1367 Вт/м^2 (сонячна постійна) [52].

При проходженні через атмосферу потужність сонячної радіації зменшується за рахунок поглинання і розсіяння пилом, аерозолями і молекулами газів. Частина падаючої енергії відбивається в космос. Частка відображеного тепла залежить від того, на яку поверхню потрапляє випромінювання. Так, для сухого чорнозему ця частка рівна 0,14, зораного поля 0,26...0,38, сніги 0,6...0,9, водній поверхні 0,2...0,78 залежно від кута падіння сонячних променів. Отже щільність теплопритоку неоднакова на різних широтах Землі, в різні пори року і періоди доби.

Перспективи сонячної енергетики також зменшуються внаслідок глобального затемнення – антропогенного зменшення сонячного випромінювання, що доходить до поверхні Землі.

Переваги сонячної енергетики:

- загальнодоступність і невичерпність джерела;
- теоретично, повна безпека для навколишнього середовища (проте в даний час у виробництві фотоелементів і в них самих використовуються шкідливі

речовини).

Недоліки сонячної енергетики:

1. Фундаментальні проблеми.

Через відносно невелику величину сонячної постійної для сонячної енергетики потрібне використання великих площ землі під електростанції. Проте, фотоелектричні елементи на великих сонячних електростанціях встановлюються на висоті 1,8...2,5 метра, що дозволяє використовувати землі під електростанцією для сільськогосподарських потреб, наприклад, для випасу худоби.

Проблема знаходження великих площ землі під сонячними електростанціями вирішується у разі застосування сонячних аеростатних електростанцій, придатних як для наземного, так і для морського і для висотного базування.

Потік сонячної енергії на поверхні Землі сильно залежить від широти і клімату. У різних місцевостях середня кількість сонячних днів протягом року може дуже сильно відрізнятись.

2. Технічні проблеми.

Сонячна електростанція не працює вночі і недостатньо ефективно працює у ранкових і вечірніх сутінках. При цьому пік електроспоживання припадає саме на вечірні години. Крім того, потужність електростанції може стрімко і непередбачувано коливатися через зміни погоди. Для подолання цих недоліків потрібно або використовувати ефективні електричні акумулятори (на сьогоднішній день це не достатньо вирішена проблема), або будувати гідроакумуляуючі станції, які теж займають велику територію, або використовувати концепцію водневої енергетики, яка також поки що далека від економічної ефективності.

Проблема залежності потужності сонячної електростанції від часу доби і погодних умов вирішується у разі сонячних аеростатних електростанцій.

Висока ціна сонячних фотоелементів. Ймовірно, з розвитком технологій цей недолік у майбутньому подолають.

Недостатній ККД сонячних елементів.

Поверхню фотопанелей потрібно очищати від пилу і інших забруднень. При їх площі в декілька квадратних кілометрів, це може викликати деякі труднощі.

Ефективність фотоелектричних елементів помітно падає при їх нагріванні, тому виникає необхідність в установці систем охолодження, зазвичай водяних.

Через 30 років експлуатації ефективність фотоелектричних елементів починає знижуватися.

3. Екологічні проблеми.

Не дивлячись на екологічну чистоту отримуваної енергії, самі фотоелементи містять отруйні речовини, наприклад: свинець, кадмій, галій, миш'як і т. д., а під час їхнього виробництва, використовує значну кількість інших небезпечних речовин. Сучасні фотоелементи мають обмежений термін служби (30...50 років), а масове їх застосування поставить в найближчий час складне питання про їх утилізації.

Способи отримання електричної і теплової енергії з сонячного випромінювання [12]:

1. Отримання електроенергії за допомогою фотоелементів.
2. Геліотермальна енергетика – нагрівання поверхні, що поглинає сонячні промені з подальшим розподілом і використання тепла (фокусування сонячного випромінювання на посудині з водою для подальшого використання нагрітої води в опалюванні приміщень і споруд або в парових електрогенераторах).
3. «Сонячне вітрило» може в безповітряному просторі перетворювати сонячні промені в кінетичну енергію.
4. Термоповітряні електростанції – перетворення сонячної енергії в енергію повітряного потоку, що направляється на турбогенератор.
5. Сонячні аеростатні електростанції – генерація водяної пари всередині балона аеростата за рахунок нагрівання сонячним випромінюванням поверхні аеростата, покритої селективно-поглинаючим покриттям. Перевага — запасу пари в балоні достатньо для роботи електростанції в темний час доби і хмарну погоду.
6. Інші види використання сонячної енергії.

Великий і недостатньо використовуваний потенціал використання сонячної енергії є в сільському господарстві і промисловості. Перерахуємо деякі з можливих застосувань:

- сонячний підігрів води для гарячого водопостачання тваринницьких ферм і інших об'єктів;
- сушка зерна, фруктів, овочів, сіна, тютюну і іншої сільськогосподарської продукції;
- тепличне рослинництво;
- опріснення води в південних посушливих районах;
- сонячний підігрів залізобетонних конструкцій в процесі виробництва на залізобетонному комбінаті.

2.2 Сонячна теплоенергетика

У сонячній теплоенергетиці електроенергію одержують у теплових машинах (наприклад, звичайних парогенераторах), в яких тепло від згорання палива замінюється потоком концентрованого сонячного світла. Тобто вода перетворюється на пару за рахунок енергії сонця, а не спалювання вугілля чи іншого палива. Для цього сонячне світло за допомогою системи дзеркал концентрують на спеціальний сонячний котел, з якого утворена водяна пара, спрямовується в стандартну парову турбіну. За рахунок використання сучасних технологій вартість електроенергії, отриманої на сонячній електростанції, наблизилася до вартості енергії, отриманої на атомних електростанціях. Схема будови енергетичних геліоустановок наведена на рис. 2.1.

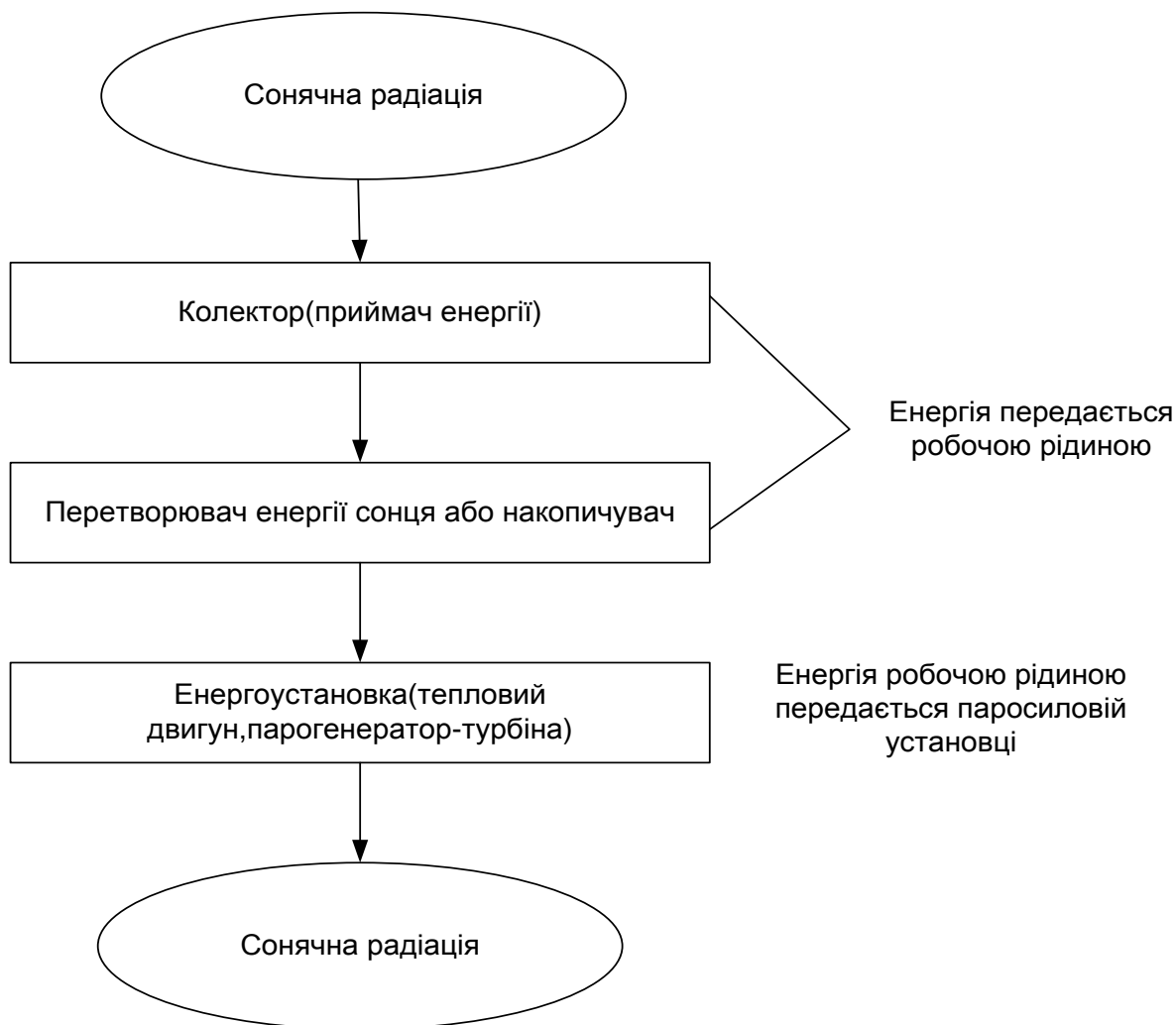


Рисунок 2.1 – Структурна схема геліоенергетичної установки

Робочим тілом в колекторах є вода або водно-спиртовий розчин у зимовий період. Ефективність використання падаючого на приймач випромінювання становить від 20 до 35%, вироблена електроенергія становить від 10% до 30% від ефективного падаючого випромінювання.

Найбільша сонячна електростанція потужністю 10 МВт (Solar One) була побудована в Каліфорнії (США). Більшість подібних сонячних електростанцій передбачає однаковий принцип дії: поле розміщених на рівні землі дзеркал-геліостатів, що "слідкують" за сонцем, відбивають сонячні промені на приймач-ресивер, встановлений на досить високій вежі.

Ресивер – це сонячний котел, в якому виробляється водяна пара середніх параметрів, спрямована потім в стандартну парову турбіну. Схема такої установки наведена на рис. 2.2.

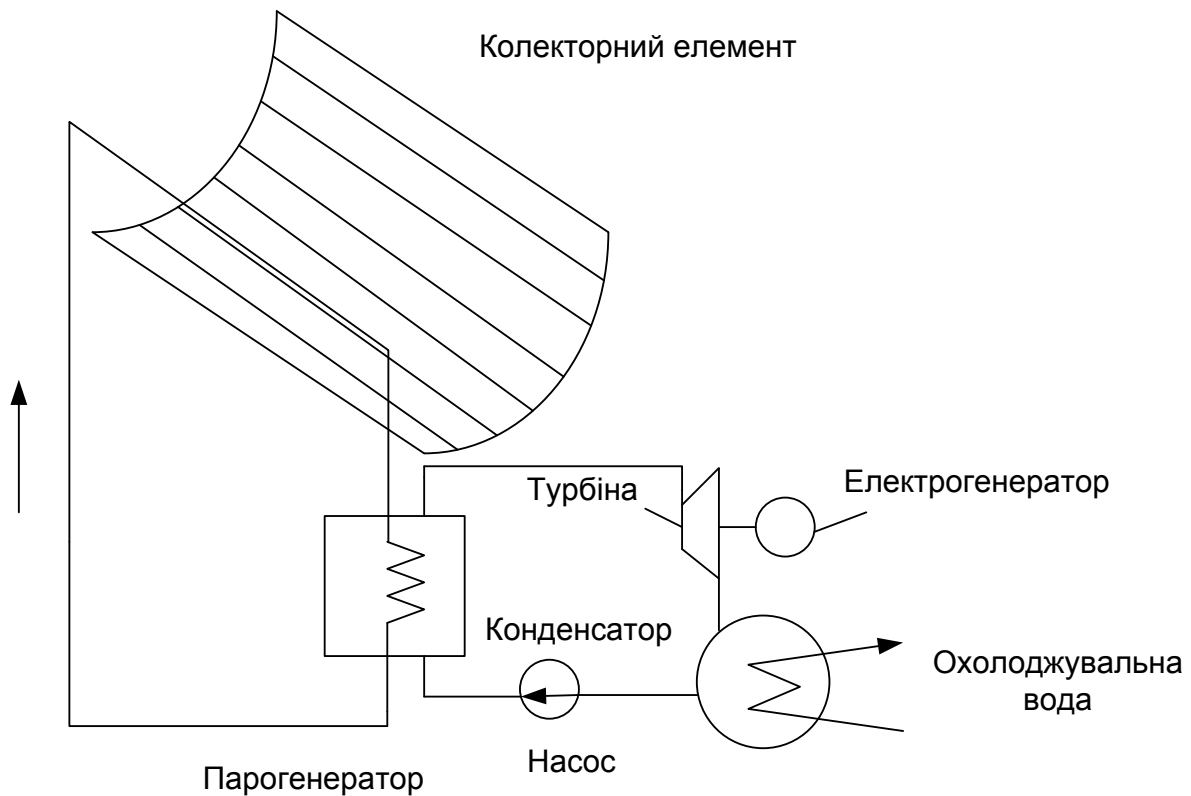


Рисунок 2.2 – Схема паросилової сонячної електростанції

Така електростанція може працювати тільки при прямому освітленні сонячними променями. Тому часто, щоб уникнути перебоїв у генерації струму, такі станції комбінують зі звичайними тепловими електростанціями. Технічна складність підтримання ефективної роботи сонячної електростанції та доволі великі площі дзеркал, які необхідні для отримання достатніх для промислового використання об'ємів електроенергії, стримують швидкий розвиток цього напрямку сонячної енергетики

Плоский колектор – найпоширеніший вид сонячних колекторів, що використовуються в побутових водонагрівальних та опалювальних системах (рис. 2.3).

Цей колектор є теплоізолюваною скляною панеллю, в яку вміщено пластина поглинач. Пластина поглинач виготовлена з металу, що добре проводить тепло (наприклад мідь або алюміній). Найчастіше використовують мідь, оскільки вона краще проводить тепло і менше схильна до корозії, ніж алюміній. Пластина поглинач оброблена спеціальним високоселективним

покриттям, яке краще утримує поглинуте сонячне світло. Це покриття складається з дуже міцного тонкого шару аморфного напівпровідника, нанесеного на металеву основу, і відрізняється високою здатністю, до поглинання у видимій області спектра і низьким коефіцієнтом випромінювання в довгохвильовій інфрачервоній області. В плоских колекторах зазвичай використовується матове скло, яке пропускає тільки світло, завдяки чому знижуються втрати тепла. Дно і бічні стінки колектора покривають теплоізолюючим матеріалом, що ще більше скорочує теплові втрати (рис. 2.3) [2, 7].



Рисунок 2.3 – Будова плоского сонячного колектора

Чим більше падаючої енергії передається теплоносію, що протікає в колекторі, тим вище його ефективність. Підвищити її можна, застосовуючи спеціальні оптичні покриття, не випромінюючи тепло в інфрачервоному спектрі. Стандартним вирішенням підвищення ефективності колектора стало застосування абсорбера з листової міді із-за її високої теплопровідності.

У вакуумованому трубчастому сонячному колекторі можливе підвищення температур теплоносія аж до 250...300 °С у режимі обмеження відбору тепла. Добитися цього можна за рахунок зменшення теплових втрат в результаті використання багат шарового скляного покриття, герметизації або створення в колекторах вакууму [5, 9, 17].

У кожен вакуумовану трубку вбудований мідний поглинач з геліотитановим покриттям, що гарантує високий рівень поглинання сонячної енергії і малу емісію теплового випромінювання. Вакуумований простір дозволяє практично повністю усунути втрати тепла. На поглиначі встановлений коаксіальний трубчастий прямоточний теплообмінник, що виходить в колектор. Протікаючи через нього, теплоносій забирає тепло від поглинача. До переваг цієї системи можна віднести безпосередню передачу тепла воді, що дозволяє скоротити втрати тепла. Так як повний коефіцієнт втрат у вакуумному колекторі малий, теплоносій у ньому можна нагріти до температур 120...160 °С (рис. 2.4).



Рисунок 2.4 – Структура вакуумованого трубчастого сонячного колектора

Сонячна радіація проходить крізь вакуумовану скляну трубку, потрапляє на поглинач і перетворюється на теплову енергію. Тепло передається рідині, що протікає по коаксіальному трубчастому прямоточному теплообміннику. Кожна трубка теплообмінника сполучена з накопичувальним баком так званим "колектором" – системою з 2 мідних труб. За однією з них нагріта вода передається в бак-накопичувач, за іншою – холодна вода з бака-накопичувача надходить на нагрів в вакуумовану трубку (рис. 2.5).



Рисунок 2.5 – Вакуумований трубчастий сонячний колектор

Конструкція вакуумованого трубчастого колектора з тепловою трубкою схожа на конструкцію термоса: одна скляна чи металева трубка вставлена в іншу більшого діаметра. Між ними – вакуум, який є відмінною теплоізоляцією. Завдяки йому втрати на випромінювання, особливо помітні при підвищених температурах води, що нагрівається, дуже низькі. У кожному вакуумовану трубку вбудована мідна пластина поглинач з геліотитановим покриттям, що гарантує високий рівень поглинання сонячної енергії і малу емісію теплового випромінювання. Під поглиначем встановлена тепла труба, заповнена рідиною, що випаровується. За допомогою гнучкого сполучного елемента тепла труба приєднана до конденсатора, що знаходиться в теплообміннику типу "труба в трубі". З'єднання відноситься до так званого "сухого" типу, що дозволяє повертати або замінювати трубки і при заповненій установці, що знаходиться під тиском. Найбільш важлива перевага вакуумованого колектора з тепловою трубкою полягає в тому, що він здатний працювати при температурах до -30°C (колектори зі скляними тепловими трубками) або навіть до -45°C (колектори з металевими тепловими трубками) [15, 19].

Це більш складний і дорожчий тип колектора. Теплова трубка – це закрита мідна чи скляна трубка з невеликим вмістом легкозаймистої рідини. Під впливом тепла рідина випаровується і забирає тепло вакуумної трубки. Пари піднімаються

у верхню частину, де конденсуються і передають тепло теплоносіям основному контуру водоспоживання або незамерзаючій рідини опалювального контуру. Конденсат стікає вниз, і все повторюється знову. Приймач сонячного колектора мідний з теплоізоляцією. Передача тепла відбувається через мідну "гільзу" приймача, завдяки цьому опалювальний контур відділений від трубок, і при пошкодженні однієї трубки колектор продовжує працювати. Окрему трубку можна замінити в разі необхідності, колектор при цьому продовжує функціонувати. Процедура заміни трубок дуже проста, при цьому немає необхідності зливати незамерзаючу рідину з контуру теплообмінника.

Сучасні побутові сонячні колектори здатні нагрівати воду аж до температури кипіння навіть при від'ємній навколишній температурі.

Таблиця 2.1 – Порівняльна таблиця трубчастих і плоских колекторів

Вакуумні трубчасті	Плоскі високоселективні
Переваги	
Низькі тепловтрати	Здатність очищатися від снігу і інею
Працездатність в холодну пору року до -30С	Висока продуктивність влітку
Здатність генерувати високі температури	Відмінне співвідношення ціна/продуктивність для південних широт і теплого клімату
Тривалий період роботи протягом доби	Можливість монтажу під будь-яким кутом
Зручність монтажу	Менша початкова вартість
Низька парусність	
Відмінне співвідношення ціна/продуктивність для помірних широт і холодного клімату	
Недоліки	
Нездатність до самоочищення від снігу	Високі теплові втрати
Відносно висока початкова вартість проекту	Низька працездатність в холодну пору року

Сонячні повітряні колектори – це прилади, що працюють на енергії Сонця і нагрівають повітря. Сонячні повітряні колектори є найчастіше простими плоскими колекторами і використовуються в основному для опалювання приміщень, сушки сільськогосподарської продукції. Повітря проходить через

поглинач завдяки природній конвекції або під впливом вентилятора. Оскільки повітря гірше проводить тепло, ніж рідина, то воно передає поглиначу менше тепла, рідкого теплоносія. У деяких сонячних повітронагрівачах до поглинаючої пластини приєднані вентилятори, які збільшують турбулентність повітря і покращують теплопередачу. Недолік цієї конструкції в тому, що вона витрачає енергію на роботу вентиляторів, таким чином збільшуючи витрати на експлуатацію системи. У холодному кліматі повітря прямує в проміжок між пластиною-поглиначем і утепленою задньою стінкою колектора: таким чином, зменшуються втрати тепла через скло. Проте, якщо повітря нагрівається не більш, ніж на 17 °С вище за температуру зовнішнього повітря, тоді теплоносієм може циркулювати по обидві сторони від пластини-поглинача без великих втрат ефективності роботи колектора. Основними перевагами повітряних колекторів є їх простота і надійність.

Такі колектори мають просту конструкцію. При належній експлуатації якісний колектор може прослужити 10...20 років, а управління ним досить просте. Теплообмінник не потрібний, оскільки повітря не замерзає. Потенційним способом зниження вартості колекторів є їх монтаж в стіни або в дахи будівель, а також створення колекторів, які можна буде збирати з готових збірних компонентів. Колектори призначені для обігріву приміщень в умовах достатньої сонячної освітленості і за відсутності (або паралельно з ними) інших джерел енергії. Колектори не можуть бути основною системою опалювання, оскільки не забезпечують постійних характеристик, як протягом доби, так і при зміні сезонів року. Проте система може бути інтегрована в будь-яку існуючу систему опалювання приміщень.

Основним елементом геліосистем є сонячний колектор (геліоколектор). Саме в поглинаючій панелі геліоколектора під впливом сонячного випромінювання (інфрачервоної складової) відбувається перетворення сонячної енергії в теплову, у результаті, панель розігрівається, а циркулюючий по каналах рідкий теплоносієм - відбирає отримане тепло. Прозора ізоляція (скло) і теплоізоляційний шар зменшують втрати теплової енергії. У двоконтурних

системах нагрітий у колекторі теплоносії надходить у внутрішній (чи зовнішній) теплообмінник бака-акумулятора, де передає отриману теплову енергію воді. Потім охолоджений теплоносії повертається в колектор і знову нагрівається – цикл замикається. Теплоносії безперервно циркулює між колекторами та баком до того часу, доки не буде отримано достатньо сонячної енергії, щоб нагрівати воду [16].

Сонячний колектор – найбільш відомий пристрій, що безпосередньо використовує енергію Сонця, вони були розроблені близько двохсот років тому. Найвідоміший з них – плоский колектор – був виготовлений в 1767 році швейцарським вченим на ім'я Горацій де Соссюр. Пізніше ним скористався для приготування їжі сер Джон Гершель під час своєї експедиції до Південної Африки в 30-х роках ХІХ століття.



Рисунок 2.6 – Застосування сонячних колекторів у побуті

На практиці, сучасний ефективний плоский геліоколектор працює із середнім коефіцієнтом корисної дії (ККД) близько 50%, більш застарілі моделі працюють із ККД – 20...40%. ККД сонячного колектора нестабільний і може визначатися тільки для конкретних умов експлуатації в окремий момент часу (рис. 2.7). Чим нижче температура, до якої потрібно нагріти теплоносії, тим вище ККД геліоколектора.

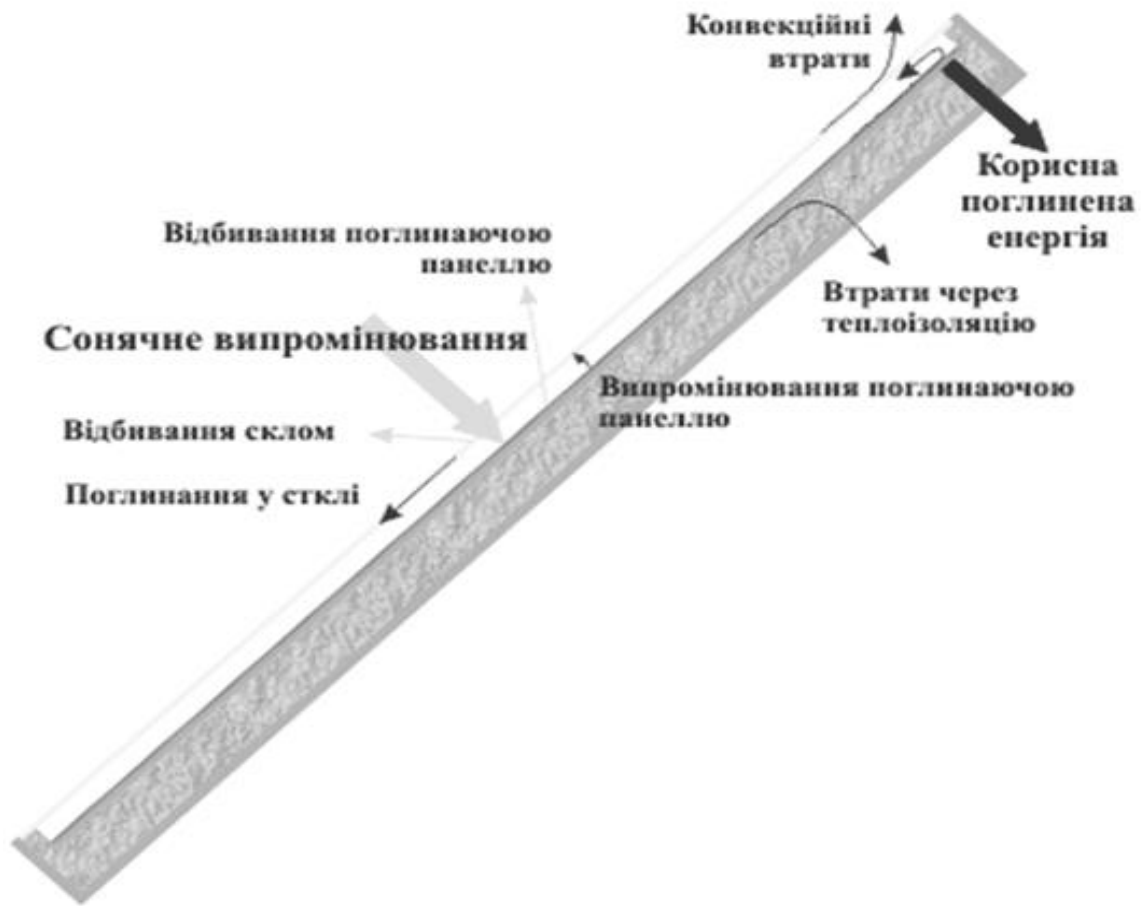


Рисунок 2.7 – Втрати теплової енергії у плоскому сонячному колекторі

Геліоколектор практично ніколи не працює з максимальним ККД тому, що в цьому випадку температура, до якої потрібно нагріти теплоносії, повинна бути не вище температури навколишнього повітря.

Використовуючи енергію сонця, геліосистеми дозволяють заощаджувати до 75% традиційного палива, яке необхідно для нагрівання гарячої води, і до 50% необхідного для опалення. Принцип роботи такої геліосистеми схематично зображений на рисунку 2.8.

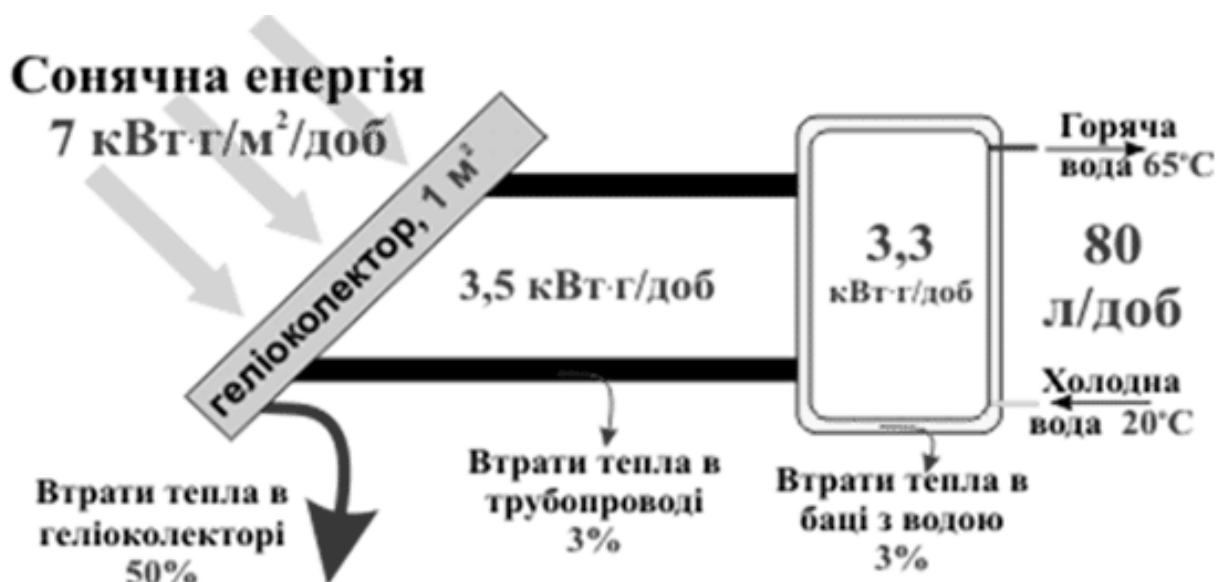


Рисунок 2.8 – Умовне вироблення теплової енергії для нагрівання води в сонячний день, геліосистемою, що складається з 1 м² ефективного геліоколектора і бака з гарячою водою на 80...100 л

Системи сонячного теплопостачання вважаються одними із самих надійних і довговічних, за умови, якщо вони були правильно розраховані, використовувалося ефективно і якісне устаткування, а також були якісно змонтовані. Будь-яка помилка може призвести до того, що система не буде виробляти бажану кількість теплової енергії або взагалі швидко вийде з ладу.

2.3 Сонячна фотоенергетика

Останнім часом через швидкий розвиток космічної техніки у світі зросла цікавість до установок, які безпосередньо перетворюють сонячну радіацію на електричну енергію за допомогою напівпровідникових фотоелектроперетворювачів (ФЕП). Вартість електроенергії, що виробляється фотоелектричними установками (ФЕУ) на сьогодні в декілька разів вища, ніж на електричних станціях з тепловим циклом. Незважаючи на це, ФЕУ активно впроваджуються як у розвинутих країнах, так і в країнах, що розвиваються. При цьому можна дослідити дві протилежні тенденції.

У країнах, що розвиваються, мова йде про застосування порівняно невеликих установок для електропостачання індивідуальних будинків у

віддалених селах, для оснащення культурних центрів, де завдяки ФЕУ можна користуватися телевізором тощо. В цих випадках на перший план виступає не вартість електроенергії, а соціальний ефект. Програми впровадження ФЕУ в країнах, що розвиваються, активно підтримуються міжнародними організаціями, в їх фінансуванні бере участь Світовий банк на основі висунутої ними "Сонячної ініціативи".

У промислово розвинених країнах активне впровадження ФЕУ пояснюється кількома факторами. По-перше, ФЕУ розглядаються як екологічно чисті джерела, що здатні зменшити забруднення довкілля. По-друге, використання ФЕУ у приватних будинках підвищує енергетичну автономію. По-третє, вартість прокладання ліній електроживлення у важкодоступній місцевості становить 5...15 тис. дол./км. По-четверте, велике значення має динаміка зміни показників ФЕУ за останні два десятиліття, на основі якої на найближчий час прогнозується досягнення конкурентоспроможності ФЕУ для широкого використання.

Вперше явище фотоефекту спостерігав французький фізик Беккерель в 1839 році, отримавши потік електронів при освітленні сонячним світлом пластини оксиду міді. Винахід був широко впроваджений у життя після відкриття напівпровідників. Фотоефект – це виривання електронів з молекул речовини під дією світла. Як світлочутлива зона фотоелементів використовується селен (Se), кристалічний кремній (Si), аморфний кремній (SiGe) тощо. Фотоефект утворюється, коли фотон (світловий промінь) падає на елемент із двох матеріалів з різним типом електричної провідності (діркова або електронна). Потрапивши в такий матеріал, фотон вибиває електрон з його комірки, утворюючи вільний від'ємний заряд і "дірку". В результаті рівновага так званого p-n переходу порушується, і в колі виникає електричний струм. Будову кремнієвого фотоелемента показано на рисунку 2.9. Найближчими "родичами" сонячних фотоелементів є транзистори, світлодіоди та інші електронні пристрої.

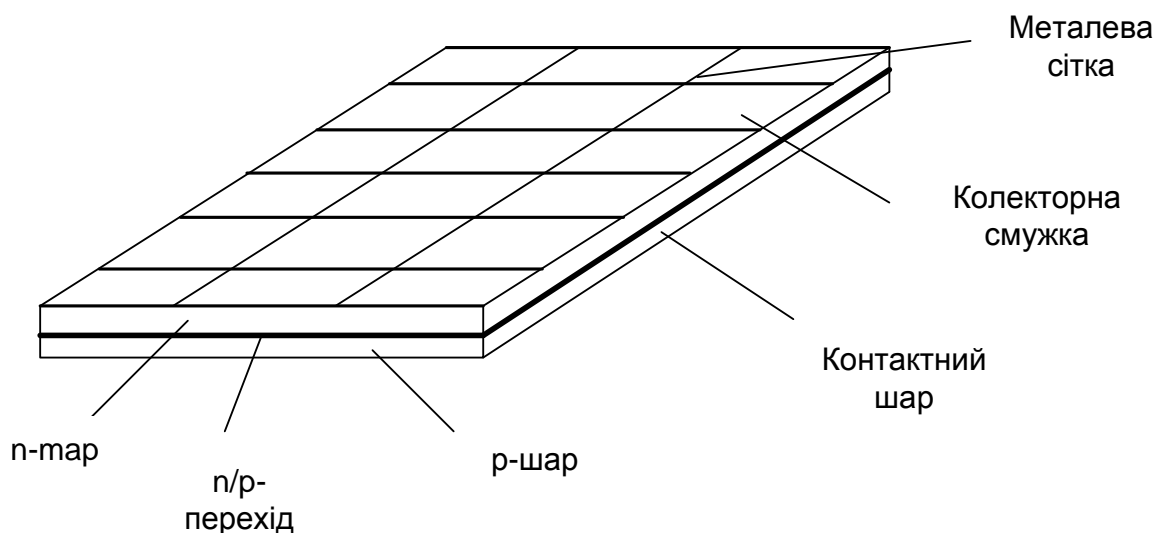


Рисунок 2.9 – Схема кремнієвого елемента

Чутливість фотоелемента залежить від довжини хвилі світла та прозорості верхнього шару елемента. В ясну погоду кремнієві елементи виробляють електричний струм приблизно 0,5 В і 25 мА на 1 см^2 або $12...13 \text{ мкВт/см}^2$. Найбільш поширені кремнієві фотоелементи. Вони бувають монокристалічні та полікристалічні. Різниця між цими матеріалами полягає в специфіці отримання початкових кремнієвих заготовок при їх вирощуванні з розплавів. Монокристалічна заготовка більш однорідна але дорожча. Полікристалічна – менш однорідна, має нижчу вартість, що може бути вирішальним фактором, коли йдеться про виготовлення фотоелементів. Теоретична ефективність кремнієвих елементів становить приблизно 28%, а практична – від 14% до 16% [22].

Незважаючи на поширену хибну думку, насправді фотоелементи виробляють більше енергії при низьких температурах. Це пояснюється тим, що фотоелементи – це електронні пристрої й виробляють енергію від світла, а не від тепла, тобто працюють ефективніше в холоді, ніж при високих температурах. А взимку вони виробляють менше енергії лише за рахунок скорочення світлового дня, а також тому що кут падіння сонячного світла у цей період менший, а хмарність більша.

За допомогою послідовно-паралельних електричних сполучень сонячні елементи складають у сонячну (фотоелектричну) батарею в герметичному

корпусі. Потужність сонячних батарей, що серійно випускаються промисловістю, становить від 5 до 200 Вт. На сонячних фотоелектричних станціях сонячні батареї використовуються для складання фотоелектричних генераторів. На рисунку 1.10 представлена блок-схема сонячної фотоелектричної станції. Термін служби такої станції становить 20...30 років, експлуатаційні витрати мінімальні.

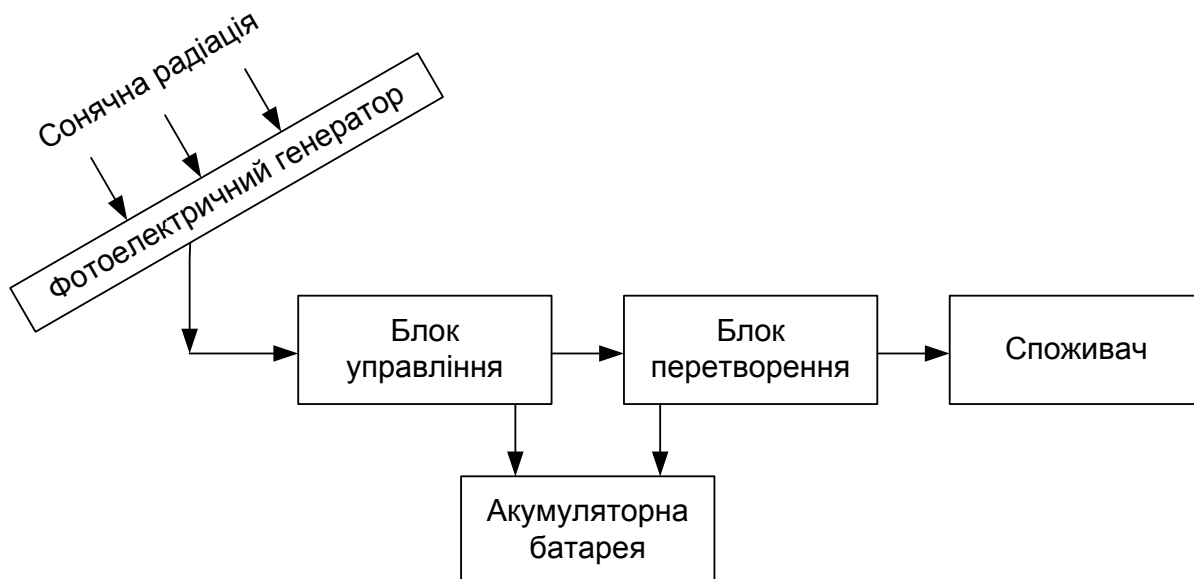


Рисунок 2.10 – Схема сонячної фотоелектричної установки.

Сонячні фотоелектричні станції використовуються для живлення водопідйомних насосів, телекомунікаційних систем, катодного захисту трубопроводів, в приватних господарствах тощо.

Основною перешкодою на шляху розвитку фотоенергетики є велика вартість встановленої потужності та, відповідно, генерованої електроенергії. Станом на 1997 рік середня вартість встановленої потужності сонячних батарей становила приблизно 8 грн/кВт·год, а вартість генерованої електроенергії 0,3...0,4 грн/кВт·год.

Сонячний модуль – це батарея взаємозв'язаних сонячних елементів, змонтованих під скляною кришкою. Фотоелектричну систему можна довести до будь-якого розміру. Власник такої системи може збільшити або зменшити її, якщо зміниться його потреба в електроенергії. По мірі зростання енергоспоживання і фінансових можливостей, власник може додавати модулі. Чим інтенсивніше

світло, падаюче на фотоелементи і чим більше їх площа, тим більше виробляється електрики і тим більша сила струму. Модулі класифікуються по піковій потужності у ватах (Вт). Ват – одиниця вимірювання потужності. Один піковий ват – технічна характеристика, яка вказує на значення потужності установки в певних умовах, тобто коли сонячне випромінювання в 1 кВт/м^2 падає на елемент при температурі $25 \text{ }^\circ\text{C}$. Така інтенсивність досягається при хороших погодних умовах і знаходження Сонця в зеніті. Щоб виробити один піковий ват, потрібен один елемент розміром $10 \times 10 \text{ см}$. Більші модулі, площею $100 \times 40 \text{ см}$, виробляють близько $40 \dots 50 \text{ Вт}$. Проте сонячна освітленість рідко досягає величини 1 кВт/м^2 . Більш того, на сонці модуль нагрівається значно вище за номінальну температуру. Обидва ці чинника знижують продуктивність модуля.

Незважаючи на те, що якість продукції не завжди однакова, більшість міжнародних компаній виробляє достатньо надійні фотоелектричні модулі з терміном експлуатації до 20 років. На сьогоднішній день виробники модулів гарантують вказану потужність на період до 10 років.

Сонячне випромінювання – екологічно чисте і відновлюване джерело енергії. Запаси сонячної енергії величезні. До початку ХХІ століття людство розробило і освоїло ряд принципів перетворення теплової енергії в електричну. Їх можна умовно розділити на машинні і безмашинні методи. Останні часто називають методами прямого перетворення енергії, оскільки в них відсутня стадія перетворення теплової енергії в механічну роботу.

Принципова схема замкнутої газотурбінної установки виглядає так. Сонячна радіація, зібрана концентратором на поверхні сонячного котла, нагріває робоче тіло – інертний газ до температур порядку $1200 \dots 1500 \text{ }^\circ\text{K}$ і під тиском, створюваним компресором, подає гарячий газ на лопатки газової турбіни, яка приводить в дію електрогенератор змінного струму. Відпрацювавши у турбіні газ надходить спочатку в регенератор, де підігріває робочий газ після компресора. Тим самим він полегшує роботу основного нагрівача – сонячного котла. Потім газ охолоджується в холодильнику-випромінювачі.



Рисунок 2.11 – Сонячна електростанція в США потужністю 270 МВт

В енергоустановки з паротурбінним перетворювачем зібрана концентратором сонячна енергія нагріває в сонячному котлі робочу рідину, що переходить в насичений стан, а потім і в перегріту пару, що розширюється в турбіні, з'єднаній з електрогенератором. Після конденсації в холодильнику-випромінювачі відпрацьована в турбіні пара і її конденсат, стиснута насосом, знов потрапляє в котел. Оскільки підвід і відвід тепла в цій установці здійснюються ізотермічно, середні температури підведення та відведення виявляються вищими ніж у газотурбінної установки, а питомі площі випромінювача і концентратора можуть виявитися меншими. У подібної установки, що працює на органічному робочому тілі, коефіцієнт корисної дії становить 15...20 % при порівняно невисоких температурах підведеного тепла – всього 600...650°K.

Від багатьох недоліків, властивих машинним перетворювачам, вільні

енергоустановки з так званими безмашинними перетворювачами: термоелектричні, термоємисійні та фотоелектричні, безпосередньо перетворюють енергію сонячного випромінювання в електричний струм.

В принцип дії термоелектрогенераторів покладено термоелектричний ефект, відкритий в 1821 році німецьким фізиком Т. І. Зеєбеком, що являє собою виникнення на кінцях двох різнорідних провідників термо-е.р.с., якщо кінці цих провідників знаходяться при різній температурі. Відкритий термоелектричний ефект спочатку використовувався в термометрії для вимірювання температур. На той час енергетичний ККД таких пристроїв – термопар, який чисельно рівний відношенню електричної потужності, що виділяється на навантаженні, до підведеного тепла, становив лише долі одного процента. Тільки після того, як академік А. Ф. Йоффе запропонував використовувати для виготовлення термоелементів замість металів напівпровідники, стало можливим енергетичне використання термоелектричного ефекту, і в 1940-1941 роках в Ленінградському фізико-технічному інституті був створений перший у світі напівпровідниковий термоелектрогенератор. Працями науковців і його школами в 40-50-ті роки була розроблена і теорія термоелектричного ефекту в напівпровідниках, а також синтезовані досить ефективні (до даного часу) термоелектричні матеріали.

Сполучаючи між собою окремі термоелементи, можна створювати досить потужні термобатарей. Електростанція потужністю 10 ГВт може важити до 200 тисяч тонн. Зниження ваги енергоустановки прямо пов'язане з підвищенням коефіцієнта корисної дії перетворення сонячної енергії в електрику.

Цього можна досягти двома шляхами: збільшенням термічного коефіцієнта корисної дії перетворювача і зниженням незворотних втрат енергії у всіх елементах енергоустановки.

У першому випадку концентроване випромінювання дозволяє одержувати дуже високі температури. Але одночасно при цьому значно зростають вимоги до точності систем спостереження за Сонцем, що для величезних за розмірами концентруючих систем малоймовірно. Тому зусилля дослідників постійно були спрямовані на зниження незворотних втрат. Вони спробували зменшити

перетікання тепла з гарячих спаїв на холодні теплопровідністю. Для вирішення цього завдання потрібно домогтися збільшення добротності напівпровідникових матеріалів.

Але після багаторічних спроб синтезувати напівпровідникові матеріали з високою добротністю стало зрозуміло, що досягнута величина є граничною. Тоді виникла ідея розділити гарячий і холодний спаї повітряним проміжком, аналогічно будови двоелектродної лампи – діод. Якщо в такій лампі розігрівати один електрод – катод і при цьому охолоджувати другий електрод – анод, то в зовнішньому електричному колі виникне постійний струм. Вперше це явище спостерігав у 1883 році Томас Едісон.

Головні складові незворотних втрат у ТЕП пов'язані з неізотермічним характером підведення та відведення тепла на катоді і аноді, перетіканням тепла з катода на анод за елементами конструкції ТЕП, а також з омичними втратами в елементах послідовного з'єднання окремих модулів.

Для досягнення високого ККД циклу Карно сучасні ТЕП створюють на робочі температури катодів в межах 1700...1900 °К, що при температурах охолоджуваних анодів порядку 700 °С дозволяє отримувати ККД близько 10 %. Таким чином, завдяки зниженню незворотних втрат в самому перетворювачі і при одночасному підвищенні температури підведення тепла ККД ТЕП виявляється вдвічі вищою, ніж у описаного вище ТЕГ, але при істотно більш високих температурах підведення тепла [1, 25, 33].

Тепер розглянемо фотоелектричний метод перетворення енергії. У сонячних батареях використовується явище зовнішнього фото ефекту, що проявляється на р-п перехід в напівпровіднику при освітленні його світлом. Створюють р-п (або n-p) перехід шляхом введення в монокристалічний напівпровідниковий матеріал-базу домішки з протилежним знаком провідності. При попаданні на р-п перехід сонячного випромінювання відбувається збудження електронів валентної зони і утворюється електричний струм у зовнішньому колі. Коефіцієнт корисної дії сучасних сонячних батарей досягає 13...15 %.

У сонячних електростанцій є одна, але досить істотна проблема.

Отримувати і використовувати "чисту" сонячну енергію на поверхні Землі заважає атмосфера. А що, якщо розмістити сонячні електростанції в космосі, на навколоземній орбіті. Там не буде атмосферних перешкод, невагомість дозволить створювати багатокілометрові конструкції, які необхідні для "збору" енергії Сонця. У таких станцій є велика перевага. Перетворення одного виду енергії в інший неминуче супроводжується виділенням тепла, і скидання його в космос дозволить запобігти небезпечне перегрівання Земної атмосфери.

Як насправді будуть виглядати сонячні космічні електростанції, сьогодні точно сказати не можна. Відомо, що до проектування подібних електростанцій конструктори приступили ще в кінці 1960-х років. Будь-який варіант проекту сонячної космічної електростанції припускає, що це колосальна споруда. Навіть найменша космічна електростанція повинна важити десятки тисяч тонн. І цю гігантську масу необхідно буде запустити на віддалену від Землі орбіту.

Сучасні засоби виведення можуть доставити на низьку – опорну – орбіту необхідну кількість блоків, вузлів і панелей сонячних батарей. Щоб зменшити масу величезних дзеркал, які концентрують сонячне світло, можна робити їх з найтоншої дзеркальної плівки, наприклад, у вигляді надувних конструкцій. Зібрані фрагменти сонячної космічної електричної станції потрібно доставити на високу орбіту і зістикувати там. А долетіти до "місця роботи" секція сонячної електростанції зможе своїм ходом, досить лише встановити на ній електроракетні двигуни малої тяги.

Але це в майбутньому. На даний час сонячні батареї з успіхом живлять космічні станції.

2.4 Екологічні наслідки розвитку геліоенергетики

Сонячні станції є ще недостатньо вивченими об'єктами, тому віднесення їх до екологічно чистих електростанцій не можна вважати повністю обґрунтованим. У кращому випадку до екологічно чистої можна віднести кінцеву стадію – стадію експлуатації СЕС, і то відносно.

Сонячні станції є досить землеємкісні. Питома землеємкість СЕС

змінюється від 0,001 до 0,006 га / кВт з найбільш імовірними значеннями 0,003...0,004 га / кВт. Це менше, ніж для ГЕС, але більше, ніж для ТЕС і АЕС. При цьому треба врахувати, що сонячні станції досить мате-ріалоемкісні (метал, скло, бетон і т.д.), до того ж у наведених значеннях землеємкості не враховуються вилучення землі на стадіях видобутку та обробки сировини. У разі створення СЕС з сонячними ставками питома землеємкість підвищиться і збільшиться небезпека забруднення підземних вод розчинами солей [12, 17, 22, 45, 56, 72].

Сонячні концентратори викликають великі за площею затінення земель, що призводить до значних змін ґрунтових умов, рослинності і т. д. Небажану екологічну дію в районі розташування станції викликає нагрівання повітря при проходженні через нього сонячного випромінювання, сконцентрованого дзеркальними відбивачами. Це призводить до зміни теплового балансу, вологості, напрямку вітрів; в деяких випадках можливий перегрів прилягаючих до СЕС території, що стає причиною загоряння систем, що використовують концентратори, зі всіма витікаючими звідси наслідками. Застосування рідин з низькою температурою кипіння та можливість їх витіку із конструкцій в сонячних енергетичних системах, під час тривалої експлуатації можуть призвести до значного забруднення питної води в місцях розташування СЕС. Особливу небезпеку становлять рідини, що містять хромати і нітроти, які є високотоксичними речовинами.

Геліотехніка непрямо впливає на навколишнє середовище. У районах її розвитку повинні зводитися великі комплекси з виробництва бетону, скла і сталі. Під час виготовлення кремнієвих, кадмієвих та арсенідогелієвих фотоелектричних елементів у повітрі виробничих приміщень з'являються мікрочастинки кремнію, кадмієві і арсенідні сполуки, небезпечні для здоров'я людей.

Космічні СЕС за рахунок НВЧ-випромінювання можуть впливати на клімат, створювати перешкоди теле- та радіозв'язку, 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.

Несприятливий вплив СЕС на навколишнє середовище може проявлятися наступним чином [35, 42, 47, 63]:

- у відчуженні значних земельних площ під спорудження СЕС;
- у великій матеріаломісткості споруд СЕС;
- у можливості витоку робочих рідин, що містять хлорати і нітрити, у навколишнє середовище;
- у небезпеці перегріву і загоряння систем та обладнання СЕС, зараження продуктів токсичними речовинами при використанні сонячних систем в сільському господарстві;
- у зміні теплового балансу, вологості, напрямку вітру в районі розташування станції;
- у затемненні великих територій сонячними концентраторами, можливих негативних та необоротних змін в структурі земель, що відведені під СЕС;
- у впливі СЕС на клімат космічних об'єктів;
- у створенні перешкод телевізійної трансляції та радіозв'язку;
- у передачі енергії на Землю у вигляді мікрохвильового випромінювання, небезпечного для живих організмів і людини.

2.5 Типовий розрахунок фотоенергетичної системи на кремнієвих сонячних елементах

Задача

Яку потрібно застосовувати фотоелектричну енергетичну систему, побудовану на кремнієвих сонячних елементах, для зарядження акумуляторної батареї протягом 5 годин, ємністю $c_a=60$ А·годин, розрахованої на робочу напругу 12 В, якщо щоденно від акумуляторної батареї протягом $\tau=8$ годин споживається струм силою $I=2$ А, при умові, що напруга одного кремнієвого сонячного елемента при максимальному навантаженні $U=0,442$ В, а густина струму на ньому $j=2 \cdot 10^{-2}$ А/см².

Яким чином розмістити кремнієві сонячні елементи та як їх з'єднати між собою?

Розв'язання

1. Розрахуємо напругу сонячної панелі, яка необхідна для зарядки акумуляторної батареї до напруги 12 В за формулою:

$$U = 1,25 \cdot U_{ok},$$

$$U = 1,25 \cdot 12 = 15 \text{ В.}$$

2. Визначимо яку кількість кремнієвих сонячних елементів необхідно з'єднати послідовно, щоб напруга сонячної панелі була не меншою 15 В, за формулою:

$$n_{\text{дв}} = \frac{U_c}{U_{ok}},$$

$$n_{\text{ел}} = \frac{15}{0,442} \approx 33,94 \approx 34 \text{ елемента.}$$

3. Обчислимо щоденну витрату електричної енергії від акумулятора споживачами за формулою:

$$C_{ак} = I \cdot \tau,$$

$$C_{ак} = 2 \cdot 8 = 16 \text{ А} \cdot \text{год.}$$

4. Розрахуємо величину енергії, яку треба використовувати щоденно від сонячної панелі за формулою:

$$C_c = C_{ак} \cdot \frac{U_c}{U_{ак}},$$

$$C_c = 16 \cdot \frac{12}{15} = 20,0 \text{ А} \cdot \text{год.}$$

5. Так як кремнієві сонячні елементи щоденно освітлюються соняними променями протягом 5 годин, то необхідний струм для зарядки акумуляторної батареї обчислимо за формулою:

$$I_3 = \frac{C_c}{\tau_c},$$

$$I_3 = \frac{20}{5} = 4 \text{ А.}$$

6. Знаходимо площу сонячної панелі, з якої можна одержати зарядний струм I_3 при послідовному зєднанні елементів між собою за формулою:

$$S_{\text{п}} = \frac{I_3}{j},$$

$$S_{\text{п}} = \frac{4}{2 \cdot 10^{-2}} = 200 \text{ см}^2 = 2 \cdot 10^2 \text{ см}^2.$$

7. Обчислимо величину площі одного кремнієвого елемента:

$$S_{\text{ел}} = \frac{S_{\text{п}}}{n_{\text{ел}}},$$

$$S_{\text{п}} = \frac{200}{34} \approx 5,88 \text{ см}^2 \approx 5,9 \text{ см}^2.$$

8. Радіус одного кремнієвого елемента визначається за формулою:

$$R_{\text{ел}} = \sqrt{\frac{S_{\text{ел}}}{\pi}},$$

$$R_{\text{ел}} = \sqrt{\frac{5,9}{\pi}} \approx 1,4 \text{ см}.$$

9. Розмір сонячної панелі при послідовному з'єднанні елементів в два ряди по 17 штук буде рівний:

а) довжина панелі $a = 17 \cdot 2 \cdot 1,4 \approx 46,5 \text{ см}$,

б) ширина панелі $b = 4 \cdot 1,4 \approx 5,5 \text{ см}$.

Послідовне з'єднання 34 кремнієвих сонячних елементів радіусом 1,4 см забезпечить зарядження акумуляторної батареї протягом 5 годин освітлення сонцем панелі.

Таким чином можна зробити слідувачі висновки:

1. Економічні розрахунки, проведені на основі досвіду експлуатації сонячних колекторів, показують, що при існуючих цінах, що постійно збільшуються, на органічне паливо, термін окупності сонячних колекторів складає від 2 до 5 років, тоді як, за гарантійними висновками виробників, реальний термін їх служби складає 25...30 років, а за даними деяких виробників і більше 30-ти років.

2. В Україні річне надходження сонячного випромінювання становить 3500...5200 МДж/м², що перебуває на одному рівні з країнами, які фактично

використовують сонячні колектори (США, Німеччина, Швеція та ін.).

3. Уся територія України придатна для використання сонячного теплопостачання. Сезонний період, коли використання сонячної енергії найбільш доцільне для України припадає на період з квітня по вересень, для південних районів – з березня по жовтень.

4. За кліматичними умовами територія України в основному є придатною для застосування геліоенергетики, особливо в південних регіонах.

Контрольні питання до розділу 2

1. Дайте визначення поняттю «геліоенергетика».
2. Які переваги та недоліки є у сонячної енергетики?
3. Що являє собою сонячна теплоенергетика?
4. Яка специфіка сонячної теплоенергетики?
5. Що являє собою сонячна фотоенергетика?
6. Які основні типи сонячних колекторів?
7. Який принцип дії сонячних колекторів?
9. Назвіть фізичний принцип роботи сонячних батарей.
- 10 Наведіть приклади використання геліоенергетики в Україні.
- 11 Наведіть приклади використання геліоенергетики у світі.

Розділ 3 Біоенергетика

3.1 Біоенергетика: теоретичні положення впровадження, загальні відомості, основні поняття, визначення

Біоенергетика – галузь електроенергетики, заснована на використанні біопалива, яке створюється на основі використання біомаси.

До біомаси відносять усю рослинну і вироблену тваринами субстанцію. При використанні біомаси в енергетичних цілях для виробництва тепла, електроенергії і палива, розрізняють енергетичні рослини і органічні відходи.

Енергетичними рослинами вважаються [34, 43, 58, 59]:

- швидко зростаючі сорти дерев і спеціальні однорічні рослини з високим вмістом сухої маси, що використовується як тверде паливо;
- цукро- та крохмалевмісні польові культури для переробки в етанол, а також маслянисті культури для виробництва біопалива, яке застосовується як рідке паливо;
- польові культури, придатні для силірування і використовуються у виробництві біогазу.

До органічних відходів відносяться відходи, що виникають в сільському, лісовому, домашньому господарстві і промисловості: відходи деревообробки, солома, трава, листя, гній, органічні відходи домашнього господарства і т. д.

До біогенного твердого палива відносяться усі не викопні види палива органічного походження, які до моменту їх використання знаходяться в твердому стані, як наприклад: деревина усіх видів і у будь-якій формі, солома, макуха, зерно, кукурудза, злаки, цукровий буряк, рапс, рослинні олії, біологічні відходи, екскрменти, водорості і т. д.

Виробництво електроенергії і тепла з твердої біомаси на сьогодні здійснюється, в основному, шляхом спалювання в твердопаливних котлах, з отриманням пари високого тиску (рис. 3.1). Цей процес здійснюється за допомогою біомасових енергетичних установок. Розрізняють відповідно:

- біомасові котельні – установки що виробляють тільки теплову енергію;

– біомасові теплоелектроцентралі (Біо-ТЕЦ) – виробляють разом з тепловою ще і електричну енергію.

Щорічно приріст біомаси у світі оцінюється в 200 млрд. т (в перерахунку на суху речовину), що енергетично еквівалентно 80 млрд. т нафти. Одним із джерел біомаси є ліси. При переробці робочої деревини 3...4 млрд. т складають відходи, енергетичний еквівалент яких становить 1,1...1,2 млрд. т нафти. Світова потреба в енергії (11 млрд. т у.п.) становить тільки 12% енергії щорічного світового приросту біомаси. Частка і кількість біомаси, використовуваної для одержання енергії, постійно знижується, що можна пояснити порівняно низькою теплотою згоряння біомаси, унаслідок високого вмісту в ній води [13, 54, 73].



Рисунок 3.1 – Застосування вторинних енергоресурсів

Під вторинними енергетичними ресурсами (ВЕР) слід розуміти енергію і паливо різних видів і параметрів, що отримуються як відхід або побічний продукт технологічного процесу.

ВЕР сільськогосподарського виробництва ділять на три основні групи:

1) горючі матеріали, що отримуються в результаті технологічних процесів.

Це в основному залишки продуктів рослинництва і тваринництва, зношені

дерев'яні конструкції, горючі побутові відходи;

2) теплові викиди, фізична теплота газів котельних, що виходять в атмосферу, теплота сільськогосподарської продукції, теплота продуктів харчування тварин і людей, тепло системи кондиціонування, вентиляції і т. п., теплота, що відходить через поверхні споруд і стінки судин;

3) високий наднормальний тиск, наприклад тиск пари в котлах, тиск води в системі магістраль водопостачання, тиск повітря створений вентиляторами в даному об'ємі простору і т. п.

ВЕР першої групи або переробляють в необхідний вигляд палива (рідкий, газоподібний, твердий), або просто спалюють для виробництва теплової енергії. Переробку ВЕР в різні види палива здійснюють на основі як біотехнології, так і хімічних перетворень. Основні відходи рослинництва – солома, відходи бавовни і інші рослинні залишки. З них можна отримувати синтетичні спирти і різні горючі гази, що є ефективними видами палива для двигунів внутрішнього згорання. Основні відходи тваринництва – гній, що переробляється в органічне добриво. Супутній продукт – метан.

3.2 Застосування біомаси

Біомаса являє собою найдавніше джерело енергії, однак її використання донедавна зводилося до прямого спалювання або у відкритих вогнищах, або в печах і топках, але також з досить низьким ККД. Останнім часом увага до ефективного енергетичного використання біомаси істотно підвищилася, причому на користь цього з'явилися й нові аргументи [70]:

- використання рослинної біомаси за умови її безперервного відновлення (наприклад, нові лісові посадки після вирубки лісу) не приводить до збільшення концентрації CO₂ в атмосфері;
- у промислово розвинених країнах в останні роки з'явилися надлишки оброблюваної землі, що доцільно використовувати під енергетичні плантації;
- енергетичне використання відходів (сільськогосподарських, промислових і побутових) вирішує також екологічні проблеми;

– новітні технології дозволяють використовувати біомасу значно більш ефективно.

Біомаса по своєму складу може бути вуглецемісткою (рослинний матеріал, деревна тріска, тирса, морські водорослі, зерно, папір, пакувальна тара) або цукромісткою (цукровий буряк, цукровий очерет, сорго).

3.3 Одержання біогазу

Біогаз є продуктом розпаду речовин під дією бактерій, що утворюється внаслідок розкладання ними органічного субстрату.

Перший великомасштабний завод з виробництва біогазу був побудований в 1911 році в англійському місті Бірмінгем й використовувався для знезараження осаду стічних вод цього міста. Вироблюваний біогаз використовувався для виробництва електроенергії. Таким чином, англійські вчені є піонерами практичного застосування нової технології. Уже до 1920 року вони розробили кілька типів установок для переробки стічних вод.

Біогазова установка, як правило, являє собою герметично закриту ємність, у якій при певній температурі відбувається зброджування органічної маси відходів, стічних вод і т.п. з утворенням біогазу.

Принцип роботи всіх біогазових установок однаковий: після збору й підготовки сировини, що полягає в доведенні його до потрібної вологості в спеціальній ємності, воно подається в реактор, де створюються умови для оптимізації процесу переробки сировини.

Сам процес одержання біогазу й біодобрив із сировини називають ферментацією, або зброджуванням. Зброджування сировини відбувається за рахунок життєдіяльності особливих бактерій. Під час зброджування на поверхні сировини з'являється плівка, яку потрібно руйнувати, перемішуючи сировину. Перемішування здійснюється вручну або за допомогою спеціальних пристроїв усередині реактора й сприяє вивільненню біогазу, що утворився, із сировини.

Отриманий біогаз після очищення збирається й зберігається до часу використання в газгольдері. Від газгольдера до місця використання в побутових або інших приладах біогаз проводять по газових трубах.

Перероблена в реакторі біогазової установки сировина, що перетворилася в біодобрива, вивантажується через вивантажувальний отвір і вноситься в ґрунт або використовується як кормова добавка для тварин.

Існує багато різних конструкцій біогазових установок. Їх розрізняють за методом завантаження сировини, зовнішнім виглядом, за складовими частинами конструкції й матеріалів, з яких вони споруджуються.

За методом завантаження сировини виділяють установки порціонного й безперервного завантаження, які відрізняються часом зброджування й регулярністю завантаження сировини. Найбільш ефективними з погляду вироблення біогаза й одержання біодобрив є установки безперервного завантаження.

Біогаз утворюється за допомогою бактерій у процесі розпадання органічного матеріалу при анаеробних (без доступу повітря) умовах і являє собою суміш метану й інших газів.

Використання в господарствах біоенергетичних установок дозволить одночасно вирішити п'ять найважливіших проблем [45]:

- екологічну (повна утилізація гною),
- енергетичну (одержання й утилізація біогазу),
- агрохімічну (одержання добрив),
- соціальну (поліпшення умов праці і створення нових робочих місць),
- економічну (зниження платежів і одержання прибутку від реалізації добрив).

3.4 Газифікація біомаси

Газифікація біомаси є одним з найбільш дешевих і екологічно безпечних способів отримання електричної і теплової енергії. Існує два прямих способу

отримання газу з біомаси – мікробіологічний і термічний (піролітичний). Деревина містить мало води і досить повільно піддається біорозпаданню. Тому для неї і більшості відходів, що містять целюлозу та лігнін, найбільш простим і ефективним способом газифікації є термічна (піролітична).

Газифікація – це термохімічний процес, при якому багата вуглецем сировина, така як біомаса і різні види вугілля перетворюються на горючий газ. Утворюване в результаті газоподібне з'єднання називається генераторний або синтез-газ.

Відомо, що при згоранні оригінального палива виділяються різні компоненти, при газифікації виділяються тільки горючий газ і інертні гази. Це означає, що вихлопні гази процесу газифікації біомаси складаються тільки з тих же елементів, які будуть одержані, якщо спалювати природне паливо. Проведена в належних умовах газифікація є ефективним процесом вироблення енергії, який може принести подвійну вигоду, при використанні теплової і електричної систем в режимі когенерації.

Залежно від характеру контакту частинок біомаси з газовою фазою методи газифікації можуть бути класифіковані на систему з нерухомим шаром (одна або декілька ступенів), систему з псевдозрідженим шаром і інші системи (наприклад, система з проштовхуванням сировини або з рідким теплоносієм).

Вибір найбільш відповідного методу газифікації часто визначається типом і умовами підведення сировини, вимогами до змісту вологи і зольних елементів (наприклад, високий або низький вміст кремнію, високий або низький вміст лужних металів).

3.5 Способи використання та перетворення ВЕР.

На рисунку 3.2 представлена схема комплексного використання горючих ВЕР на прикладі підприємств суднобудівної галузі.

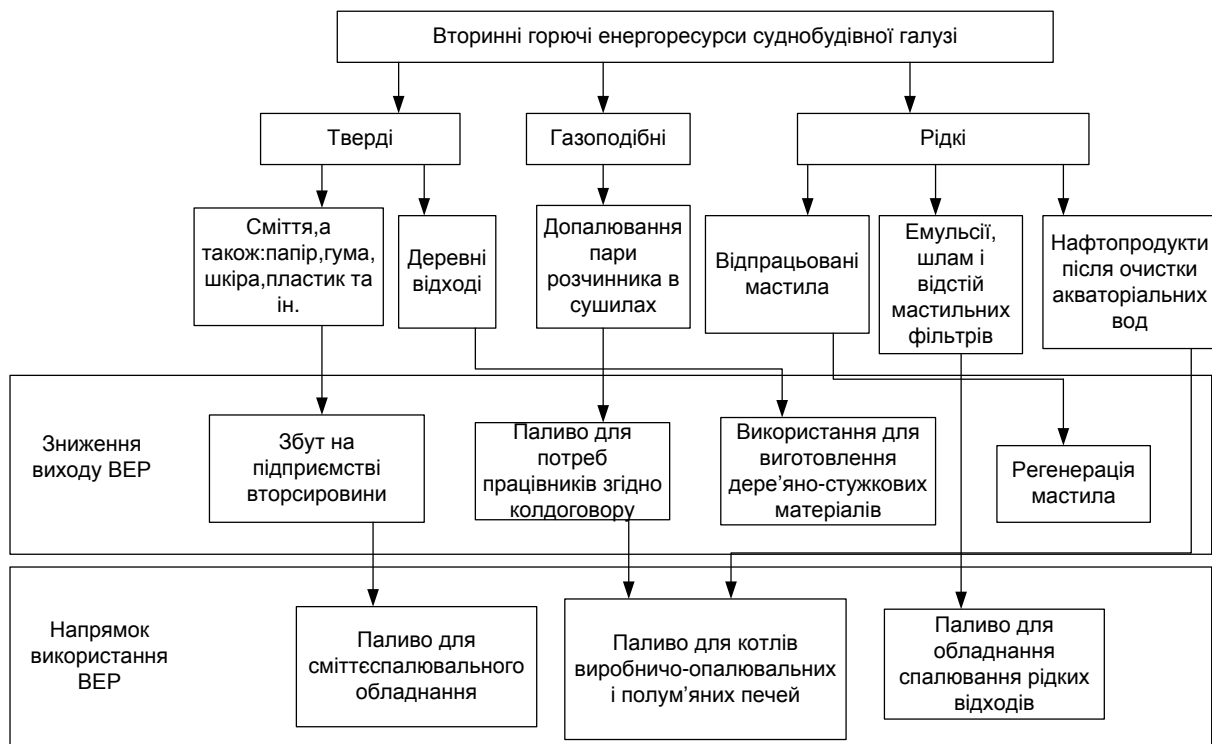


Рисунок 3.2 – Схема комплексного використання горючих ВЕР на підприємствах суднобудівної галузі

ВЕР першої групи можна спалювати в побутових печах і в спеціальних утилізаційних котельнях.

ВЕР другої групи досягають значної величини. В даний час КПД палива в більшості низькотемпературних процесів складає 15...25 %. Решта теплоти нагрівальних пристроїв, а також теплота, що виділяється тваринами, йде з вентиляцією в атмосферу. В цілому по сільському господарству це складає близько 20млрд. кВт·год на рік. Утилізувавши хоч би частину вказаних відходів, можна заощадити значну кількість палива. Для використання ВЕР цієї групи промисловістю створені утилізатори теплоти: рекуператори, регенератори і теплові насоси.

Рекуператор – це теплообмінник, в якому теплота речовини, що видаляється, передається такою, що поступає через роздільну теплопровідну стінку. Їх конструкції бувають прямої дії і з проміжним теплоносієм.

У сільському господарстві застосовують велику кількість невеликих котельних і нагрівальних печей, фізичну теплоту газів яких, що відходять, також

можна утилізувати. Температура димових газів, що викидаються в атмосферу, досягає 100...300°C. Теплоту цих газів можна використовувати двома способами: нагрівати повітря, воду і паливо, що поступають в топку і котли; нагрівати теплоносії, використовувані зовні котельною, наприклад в теплиці, парнику і т. п. Обидва способи вже застосовують в масовому масштабі.

Промисловість серійно випускає багато типів теплообмінників прямої дії, наприклад, секційні ТСК-3.

Принцип роботи рекуператорів з проміжним теплоносієм розглянутий на прикладі теплової труби. Теплова труба призначена для передачі теплоти з одного (з високою температурою) середовища в інше, яке потрібно підігрівати.

Теплова труба – це герметичний конвеєр, в якому міститься рідина, що легко випаровується. Якщо теплота подається до одного кінця труби, то рідина в цьому кінці випаровується, пара поступає до холодніших зон труби, де конденсується, а прихована теплота конденсації поглинається споживачем вторинних енергоресурсів.

Робота теплової труби залежить від її нахилу, розміру отворів внутрішніх перегородок, поверхневого натягу і теплоємності паротворення робочої рідини. Це не завжди вдається забезпечити відповідно заданим умовам. Тому замість теплової труби можна застосовувати проміжний теплоносіє, що не випаровується.

Рекуператори з проміжним теплоносієм доцільно застосовувати у тому випадку, коли не можна використовувати пластинчасті теплообмінники, наприклад, в системах утилізації теплоти пропарювальних кормів (відбір теплоти після пропарювання).

Регенератори – це теплообмінники, що мають спеціальні пристосування (наприклад, тепломісткі насадки), які спочатку потрапляють в середовище, де потрібно відібрати теплоту, акумулюють її, а потім переміщуються в інше середовище, якому віддають цю теплоту. До теплообмінника підведено дві труби, по одній з яких рухається відпрацьований газ, а по іншій – газ, який необхідно нагрівати. У міру обертання регенератора теплота, що абсорбується з потоку гарячого газу, що проходить через нього, передається потоку холодного.

Регенератори, що обертаються, можна застосовувати, наприклад, в умовах жаркого клімату для попереднього охолодження повітря, використовуваного в системах кондиціонування будівель. Вони також ефективно працюють в тих випадках, коли різниця температур між потоками гарячого і холодного повітря незначна. У багатьох випадках теплота, що скидається ($T = 25...30^{\circ}\text{C}$) з теплових насосів може ефективно утилізувати. Тепловий насос – це установка, в якій температура наявного теплоносія підвищується до необхідного рівня за рахунок витрат механічної, сонячної або якої-небудь іншої енергії. Простим тепловим насосом є компресор. Працює насос наступним чином. У випарник поступає відпрацьований потік з низькою температурою, і при випаровуванні циркулюючого робочого тіла теплота поступає в систему теплового насоса. Пара, що потім утворилася, проходить через компресор, в якому тиск і температура його підвищуються, і далі поступає в конденсатор, де віддає теплоту, отриману у випарнику, і теплоту стиснення, отриману в компресорі. Пара конденсується, нагрітий конденсат проходить через дросель. І його температура знижується.

При використанні сонячної енергії (наприклад, для цілей кондиціонування повітря) вигідні теплові насоси адсорбції (адсорбція – поглинання речовин рідиною з суміші газів), які не вимагають підведення механічної енергії. Використовується тільки теплота, підведена до випарника, де кипить хладагент при низькому тиску.

Холодоагент, що випарувався, поглинається рідиною при низькому тиску, яку насосом перекачують в область високого тиску, де хладагент виділяється з рідини, віддаючи теплоту при вищій температурі. Застосування теплонасосних установок для отримання теплоти з низькопотенціальних теплових відходів дозволяє досягти 20...30%-вої економії палива в порівнянні з використанням котельних. Тому теплові насоси починають набувати поширення як індивідуальні прилади опалювання, особливо в південних районах країни, де в літній час їх використовують для кондиціонування повітря.

ВЕР третьої групи включають надмірний тиск. Ці енергоресурси можна переробляти, використовуючи механічні або електромеханічні установки.

Надмірний тиск гідросистем (артезіанські свердловини, водопровідні і каналізаційні мережі) освоюють шляхом установки гідротурбін, що приводять в дію, наприклад, електричні генератори, верстати, транспортери, лінії транспортування виробів і інші машини. Надмірний тиск газів можна освоїти, застосовуючи, наприклад, газові турбіни. Потрібно мати на увазі, що надмірний тиск, що створюється неправильно вибраними установками, не розглядається як вторинні енергоресурси. Цей надмірний тиск слід усувати, замінюючи насосні, компресорні або вентиляційні установки на інші, параметри яких відповідають розрахунковим.

3.6 Екологічні наслідки розвитку біоенергетики

Біоенергетичні станції в порівнянні з традиційними електростанціями та іншими НВДЕ є найбільш екологічно безпечні. Вони сприяють позбавленню навколишнього середовища від забруднення можливими відходами. Так, наприклад, анаеробна ферментація – ефективний засіб не тільки реалізації відходів тваринництва, але й забезпечення екологічної чистоти, так як тверді органічні речовини втрачають запах і стають менш привабливими для гризунів і комах (в процесі перегнивання руйнуються хвороботворні мікроорганізми). Крім того, утворюється додаткова їжа для тварин (протеїн) та добрива, міські стічні води і тверді відходи, відходи при вирубках лісу та деревообробної промисловості, являють собою можливі джерела сильного забруднення природного середовища, в той же час можуть бути сировиною для отримання енергії, добрив, цінних хімічних речовин. Тому широкий розвиток біоенергетики є ефективний шлях в екологічному відношенні. Але несприятливі фактори впливу на оточуючі об'єкти природного середовища, при енергетичному використанні біомаси, мають місце. Пряме спалювання деревини дає велику кількість твердих частинок, органічних компонентів, окису вуглецю та інших газів. За концентрації деяких видів забруднювань вони можуть перевершувати викиди продуктів згоряння нафти та її похідних. Другим екологічним наслідком спалювання деревини є значні теплові втрати.

У порівнянні з деревиною, біогаз – більш чисте паливо, що не виробляє

шкідливі гази і частинки. Разом з тим, необхідні заходи безпеки при виробництві та споживанні біогазу, оскільки метан вибухонебезпечний. Тому при його зберіганні, транспортуванні та використанні слід здійснювати регулярний контроль для виявлення, запобігання і ліквідації витоків біогазу.

При ферментаційних процесах з переробки біомаси з етанолу утворюється велика кількість побічних продуктів (промивні води і залишки перегонки), що є серйозним джерелом забруднення середовища, оскільки їх вага може в кілька разів (до 10) перевищувати вагу етилового спирту.

Несприятливий вплив біоенергетики на екологію [65]:

- викиди твердих частинок, канцерогенних і токсичних речовин, окису вуглецю, біогазу, біоспирту;
- викид тепла, зміна теплового балансу;
- збіднення ґрунтової органіки, виснаження та ерозія ґрунтів;
- вибухонебезпечність;
- велика кількість відходів у вигляді побічних продуктів (промивні води, залишки перегонки).

3.7 Типовий розрахунок біогазогенератора

Задача

Обчислити потужність біогазогенератора, в якому здійснюється утилізація гною від 5-ти корів, з тривалістю циклу бродіння $\tau_6=9$ діб, при температурі $t_{cp}=35$ °С, якщо надходження сухого бродильного матеріалу від однієї корови дорівнює $m_0=3$ кг/добу, при виході біогазу $v=0,25$ м³/кг, із вмістом метану CH_4 75%, з калорійністю Q_n^p метану за нормальних умов рівною $Q_n^p=28$ МДж/м³=56 кДж/кг, якщо ККД пальника $\eta=0,92$.

Розв'язання

1. Обчислюємо масу сухого бродильного матеріалу, який надходить до біогазогенератора за добу від 5-ти корів за формулою:

$$m_{заг} = m_0 \cdot n,$$

$$m_{заг} = 3 \cdot 5 = 15 \frac{кг}{добу}.$$

2. Обчислюємо об'єм біогазу, який утворюється за добу за формулою:

$$V_{\text{б.г.}} = v \cdot m_{\text{заг}},$$

$$V_{\text{б.г.}} = 0,25 \cdot 15 = 3,75 \frac{\text{м}^3}{\text{добу}}.$$

3. Теплову потужність біогазогенераторної установки обчислюємо за формулою:

$$N = \eta \cdot Q_n^p \cdot V_{\text{б.г.}} \cdot k$$

де η – коефіцієнт корисної дії пальника; Q_n^p – калорійність біогазу; $V_{\text{б.г.}}$ – об'єм біогазу, утвореного за добу; k – коефіцієнт вмісту метану в біогазі.

$$N = 0,92 \cdot 28 \cdot 10^6 \cdot 3,75 \cdot 0,75 \approx 838,5 \text{ Вт} \approx 0,84 \text{ кВт}$$

Контрольні питання до розділу 3

1. Поясніть в які види біопалива може бути перетворена біомаса.
2. Перелічіть способи отримання енергії з біомаси.
3. Перелічіть типи біогазових установок.
4. Розкажіть про принцип дії найпростішої біогазової установки з ручним завантаженням без перемішування і підігріву сировини в реакторі.
5. Поясніть будову та принцип дії біогазової установки з ручним завантаженням і перемішуванням сировини в реакторі.

Розділ 4 Вітроенергетика

4.1 Вітроенергетика: теоретичні положення впровадження, загальні відомості, основні поняття, визначення



Рисунок 4.1 – Вертикальні вітряні електростанції

Сьогодні, енергію вітру використовують для отримання електричного струму. Галузь, що займається перетворенням енергії вітру в електричний струм, називається вітроенергетика.

Найбільш популярним на сьогоднішній день є застосування вітрогенераторів. Вітрогенератори широко застосовуються як у великих масштабах, це величезні електростанції, так і в малих, для приватного користування.

Державні програми по підтримці розвитку нетрадиційних джерел енергії привели до того, що у наш час на всій планеті 2% від всієї електричної енергії виробляється за допомогою вітру і цей відсоток продовжує збільшуватися з року в рік, завдяки зменшенню вартості даної технології [21, 32, 45, 61].

До країн, які найінтенсивніше розвивають технології і ринки НВДЕ, слід віднести: США, країни ЄС (в першу чергу, Швецію, Австрію, Фінляндію, Німеччину, Португалію, Іспанію), Японію, Китай. Останнім часом активізувалися в цьому напрямі Бразилія і Індія. Росте вартість акцій компаній, які займаються НВДЕ. Все це дасть можливість прискорити розвиток технологій і їх

впровадження в промислове виробництво.

У вітроенергетичному секторі на даний час працюють близько 70 країн світу. Серед країн з найбільшими потужностями вітроенергетики - Німеччина, США, Іспанія, Індія, Китай, Данія. Роста загальна потужність таких установок (річний приріст в 2007 році - 26,6 %), так і одинична потужність, яка досягнула 1 ГВт, розвивається вітроенергетичне машинобудування. У країнах ЄС до 2020 року планується довести виробництво вітрової електроенергії до 12 % від загального об'єму електрогенерації.

У США до 2020 року планується досягти 15 % виробництва електроенергії за рахунок вітру, удосконалюються турбіни, розширюється діапазон швидкостей вітру, які можуть бути використані вітроустановками.

На сьогоднішній день Європа стоїть на першому місці по використанню енергії вітру. Особливий розвиток і використання вітроенергетики є в Німеччині, Данії і Іспанії. У Данії 20% використовуваної енергії виробляється за допомогою вітру.

Цікаво, що перша в світі вітроелектростанція потужністю 100 кВт була побудована в Радянському Союзі в 1932 р. в Криму.

Сумарна потужність вітрових електричних установок (ВЕУ) сьогодні в Україні наближається до 30 МВт. За даними, сумарна потужність у кінці 1999 року дорівнювала 11,4 МВт, а в кінці 2000 року вже 24,15 МВт. Таким чином, приріст склав більше 100 %. Україна залишається єдиною країною колишнього Радянського Союзу, в якій активно розвивається вітроенергетика. Тут налагоджено серійне виробництво вітроагрегатів. Поки це ліцензійні ВЕУ USW56-100 потужністю 107,5 кВт [43, 67, 68].

Як відомо, вітер існує скрізь – як на суші, так і на морі. Незважаючи на факт, того, що переміщення повітряних мас пов'язано з нерівномірною зміною температури в атмосфері і обертанням Землі, застосування енергії вітру не відразу знайшло своє технічне і практичне застосування.

Пасати і західний вітер відносять до глобальних вітрів. У результаті нагрівання екваторіальної частини Землі утворюються пасати. При нагріванні,

нагріте повітря піднімається вгору, забираючи при цьому з собою північні і південні повітряні маси. В результаті цього явища, з'являється пануючий впродовж року з постійною силою в північній півкулі північно-східний пасат і в південній півкулі – південно-східний пасат. Пасати дмуть в області, так званої, приекваторіальної, яка розташована між 25 і 30° північної і південної широти відповідно. Пасати охоплюють близько 11% поверхні океанів в північній півкулі і близько 20% в південній. Зазвичай сила пассатного вітру не перевищує 2–3 балів.

Уздовж дрейфуючих крижин Антарктиди, приблизно в смузі від 40° до 60° південної широти, із заходу на схід, впродовж року дме західний вітер. Такий вітер є одним із самих сильних постійних вітрів. Його сила може досягати 8-10 балів і практично не буває нижче 5 балів. В глибині материка немає постійного напрямку вітру. Можна впевнено говорити тільки про сезонні напрямки вітру, тому що різні ділянки суші в різний час року нагріваються по-різному. Крім того, вітер поводить по-різному в залежності від висоти, а для висот 50 метрів панують характерні повітряні потоки.

Ми можемо обчислити потенціал атмосфери, знаючи її масу і швидкість розсіювання енергії. Наприклад, для приземного шару товщиною близько 500 метрів, енергія вітру, перетворюється в тепло, що складає приблизно 82000000000000 кВт · год на рік. Зрозуміло, ми не зможемо використати її повністю, хоча б тому, що щільно поставлені вітряки будуть заважати один одному, затемнюючи інших [37, 39].

Зазвичай, середньорічні швидкості повітряних потоків на стометровій висоті перевищують 7 м/с. При виході на висоту 100 метрів, можна використовувати ефективний вітроагрегат скрізь, використовуючи відповідну природну височину.

Одними з перших вітрів, які були використані нашими предками для мореплавання, були місцеві вітри, тобто бризи. Бризи – це різновид легких вітрів, які обдимають береги материків і великих островів, зумовлюються добовим коливанням температури. Різниця температури на суші і в морі вдень і вночі обумовлює періодичність бризів. Вдень суша нагрівається швидше, ніж море. В

наслідок цього, тепле повітря піднімається над берегом, а його місце прагне зайняти прохолодне повітря з моря. А вночі, як відомо, берег швидше і сильніше охолоджується, ніж море. Тому вночі відбувається зворотна картина: тепле повітря піднімається над морем, а його замінює холодне повітря з суші – береговий бриз. Іншими постійними вітрами є мусони. Такі вітри дмуть в Індійському океані і перш за все пов'язані з різними змінами температури материка і океану. Влітку суша під впливом сонячних променів, нагрівається сильніше. Внаслідок цього вітер дме з моря на сушу. А взимку мусон дме з берега на море. Але в результаті обертання Землі навколо своєї вісі з'являється, так звана, сила Коріоліса, яка впливає на мусони і відхиляє їх праворуч. Ось чому влітку дмуть південно-західні мусони, а зимою північно-східний. Мусони можуть досягати дуже великої сили і викликати в Індійському океані поверхневі течії, які відповідають місцевим вітрам.

Однією з перших машин для отримання і використання енергії вітру було вітрило. У вітродвигуна і вітрила один і той же принцип роботи, також як і одне джерело енергії. Ю.С. Крючков, досліджуючи вітрило, показав, що його можна представити як вітродвигун з нескінченним діаметром колеса. Вітрило – свого роду найбільш досконала лопатева машина, з найвищим коефіцієнтом корисної дії, яка використовує енергію вітру безпосередньо для руху.

У вітроенергетиці використовуються вітроколеса і ветрокаруселі. Подібні комерційні установки вже побудовані і успішно експлуатуються в США. Частина фінансування подібних проектів надходить з бюджету держави, а інша частина інвестується майбутніми споживачами екологічно чистої енергії.

На початку ХХ століття, на хвилі загальної ідеї використовувати вітер скрізь, де це можливо, інтерес до повітряних гвинтів та вітроколеса не був відокремлений від загальних тенденцій часу. Найперше поширення вітроустановки одержали в сільському господарстві. Повітряний гвинт широко використовувався в якості приводу судових механізмів. Вітроустановка також була встановлена на дослідному судні "Фрам", на якому відомий мандрівник Ф. Нансен досліджував Арктику. Вітроустановка на цьому судні обертала динамо

машину. На вітрильниках вітряки теж відігравали велику роль: вони приводили в рух насоси і якірні механізми.

Одним з головним недоліків вітряної енергії залишається її мінливість в часі, проте і це можна компенсувати за рахунок розташування вітроустановок. Якщо об'єднати кілька десятків великих вітроагрегатів, то їх середня потужність буде залишатися постійною. Також існує можливість доповнення вітрогенератором існуючих джерел енергії. Але найголовніше, що саме від вітродвигуна можна отримувати безпосередньо механічну енергію.

4.2 Класифікація вітроколів

На рисунку 4.2 приведена класифікація вітроколів.

У першому випадку вісь обертання вітроколеса паралельна повітряному потоку, установка буде горизонтально-осьовою, у другому – зазвичай вертикальноосьовою.

Установки, що використовують силу опору (драг-машини), як правило, обертаються з лінійною швидкістю, меншою швидкості вітру, а установки, що використовують підйомну силу (ліфт-машини), мають лінійну швидкість кінців лопатей, суттєво більшу швидкості вітру.

Для більшості установок геометричне заповнення визначається числом лопастей. ВЕУ з великим геометричним заповненням вітроколеса розвивають значну потужність при відносно слабкому вітрі і максимум потужності досягається при невеликих оборотах колеса. ВЕУ з малим заповненням досягають максимальної потужності при великих оборотах і довше виходять на цей режим. Тому перші установки використовуються, наприклад, в якості водяних насосів і навіть при слабкому вітрі зберігають працездатність, другі – як електрогенератори, де потрібна висока частота обертання.

Установки для безпосереднього виконання механічної роботи часто називають вітряком чи турбіною, установки для виробництва електроенергії, тобто сукупність турбіни і електрогенератора, називають

вітроелектрогенераторами, аерогенераторами, а також установками з перетворення енергії.

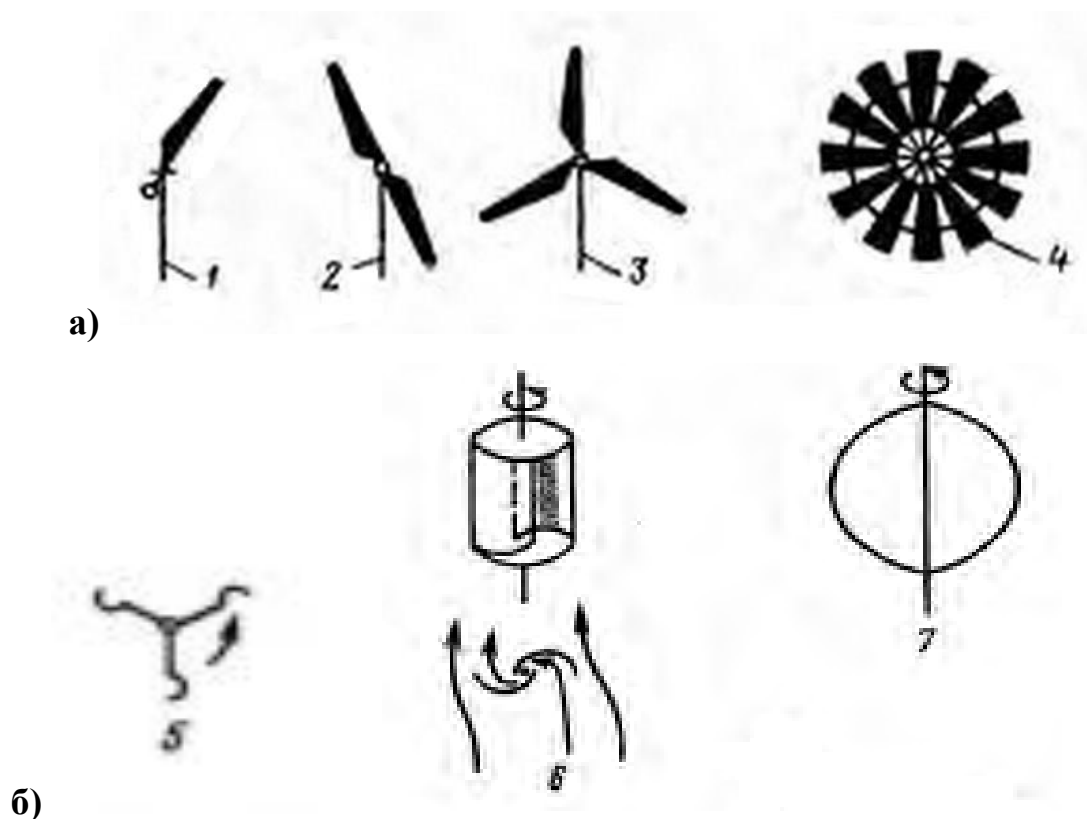


Рисунок 4.2 – Класифікація вітроколес: з горизонтальною віссю (а); з вертикальною віссю (б); 1 – одноплатеве колесо; 2 – двоплатеве; 3 – трилопатеве; 4 – багатоплатеве; 5 – чашковий анемометр; 6 – ротор Савоніуса; 7 – ротор Дар'є

У аерогенераторів, підключених безпосередньо до потужної енергосистеми, частота обертання постійна внаслідок ефекту автосинхронізації, але такі установки менш ефективно використовують енергію вітру, ніж установки зі змінною частоти обертання.

Наявність буфера зменшує наслідки флуктуації частоти обертання вітроколеса, дозволяє більш ефективно використовувати енергію вітру і потужність електрогенератора. Таким чином, нежорстке з'єднання поряд з інерцією вітроколеса зменшують вплив флуктуації швидкості вітру на вихідні параметри електричної енергії. Зменшити цей вплив дозволяє також пружне

з'єднання лопатей з віссю вітроколеса, наприклад за допомогою підпружинених шарнірів.

4.3 Класифікація вітроустановок

Вітрогенератори використовуються як засоби альтернативної енергетики. Їх застосування можна рекомендувати в районах, що не мають традиційного енергопостачання, а також в місцях, де спостерігаються часті перебої з подачею електроенергії.

ВЕУ умовно можна розділити на чотири групи [63, 67]:

- ВЕУ з потужністю до 1 кВт
- ВЕУ з потужністю до 10 кВт
- ВЕУ з потужністю до 30 кВт
- ВЕУ з потужністю до 100 кВт і вище.

ВЕУ першої групи володіють невеликими розмірами і вагою. Їх можна рекомендувати для використання в геологорозвідувальних групах, для туристів в походах і подорожах, для живлення радіостанцій і заряджання акумуляторів автомобіля або яхти, а також для безпосереднього живлення електричних приладів. Крім того, ці ВЕУ відрізняє відносно невисока ціна.

Наступні групи можна віднести до стаціонарних ВЕУ. Ці вітроелектростанції можуть повністю забезпечувати електроживленням житловий будинок або виробничий об'єкт, постійно накопичувати в акумуляторних батареях великий ресурс електроенергії для використання в безвітряні періоди.

Стаціонарні вітроелектрогенератори використовуються також для живлення автономно функціонуючих систем: опалювальні і освітлювальні комплекси, насосні станції, метеостанції, охоронні і моніторингові системи.

Група ВЕУ з потужністю до 10 кВт можна використовувати як систему автономного енергопостачання для невеликих господарств, приватних будинків, котеджів. Ці ВЕУ володіють великою вагою і великими розмірами. Для їх установки потрібний спеціально підготовлений майданчик (залівка фундаменту). У комплект входить генератор і ротор. Генератор, як правило, виробляє постійну

напругу 12В, 24В або 48В.

Слід зазначити, що в цій групі на ринку представлені вітчизняні, українські ВЕУ. Вартість таких генераторів нижча, ніж аналогічних імпорتنих.

Треба мати на увазі, що для можливості використання ВЕУ з будь-яким побутовим або промисловим устаткуванням, необхідно використовувати інвертори. Ці пристрої перетворюють постійну напругу генератора в змінну напругу 220В або 380 В. Для накопичення електроенергії, в періоди відсутності вітру, рекомендуються акумуляторні батареї.

Третю групу складають ВЕУ потужністю до 30 кВт. Їх призначення схоже з призначенням ВЕУ другої групи. Відмінність складають більша вага – до 500 кг і великі розміри. Відрізняються вони і більшою ціною.

Четверту групу ВЕУ можна віднести до професійного промислового устаткування. Цей тип можна порекомендувати для установки на промислових підприємствах і для створення вітроенергетичних електростанцій. Для їх монтажу також потрібна заливка фундаменту. Вартість таких ВЕУ починається від 150 000 євро.

Крім того, з метою економії засобів, споживачеві можуть бути запропоновані вітрогенератори, що були в експлуатації. Всі вони пройшли технічне обслуговування і готові до роботи.

ВЕУ потужністю 2...3 МВт потребує ділянки 20х20 м. Оскільки такі ВЕУ не потребують об'єднання в систему, то ділянку можна підібрати будь-де. Розміщення ВЕУ наближує джерело електроенергії до споживача.

ВЕУ класифікують за такими ознаками [43, 46, 49]:

- за видом виробленої енергії;
- за потужністю;
- за сферами застосування;
- за призначенням;
- за ознакою роботи з постійною або змінною частотою обертання вітроколеса (ВК);
- за способами керування;

– за структурою системи генерації енергії.

ВЕУ, залежно від виду виробленої енергії, поділяють на дві групи: механічні та електричні. Електричні ВЕУ, у свою чергу, поділяють на ВЕУ постійного і змінного струму .

Залежно від сфери застосування механічні ВЕУ підрозділяють на дві підгрупи: вітронасосні та вітросилові згідно рисунку 4.3.

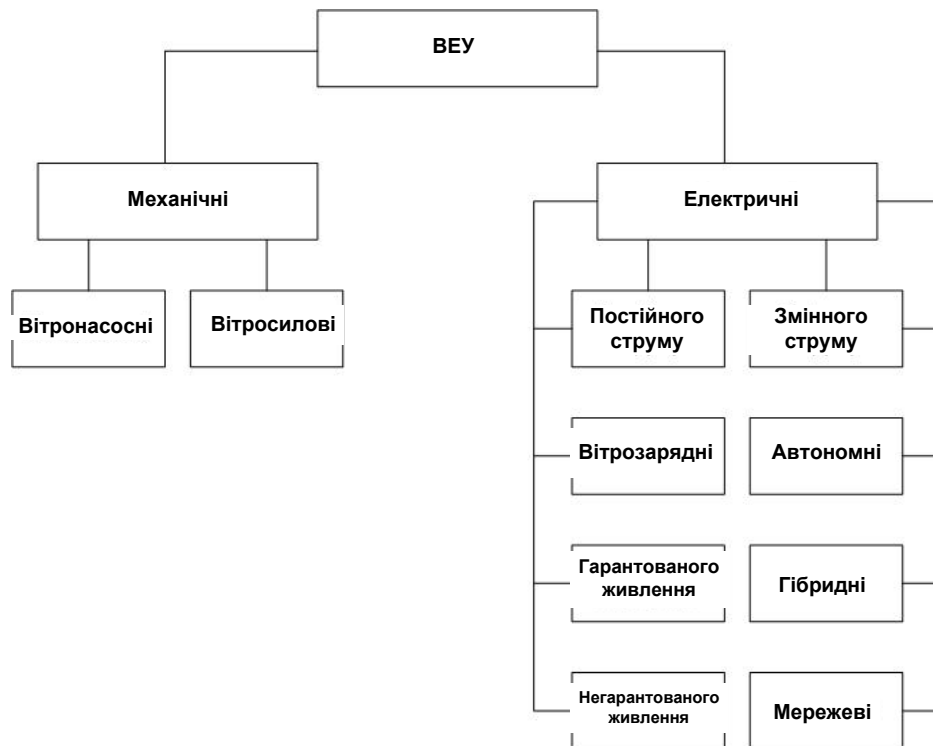


Рисунок 4.3 – Загальна класифікація ВЕУ

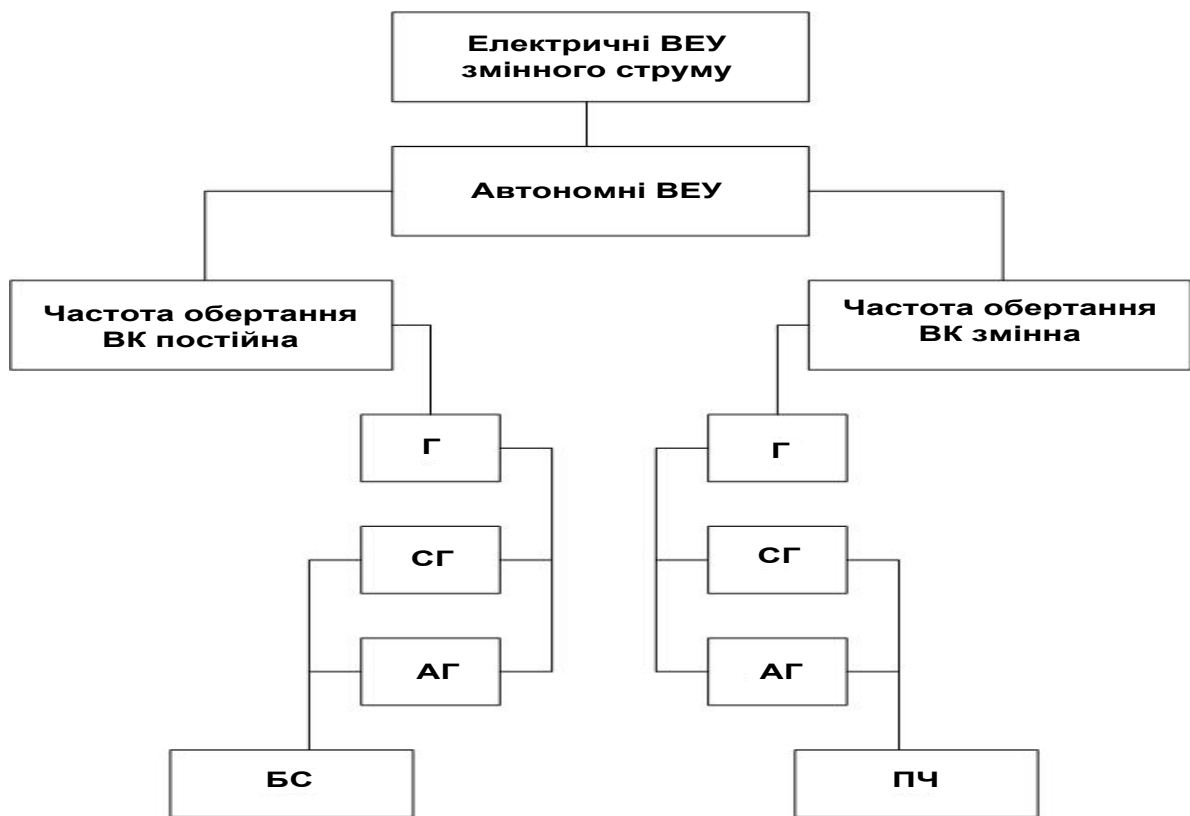


Рисунок 4.4 – Структурна схема автономних ВЕУ: Г – генератор; АГ – асинхронний генератор; БО – баластний опір; ПЧ – перетворювач частоти

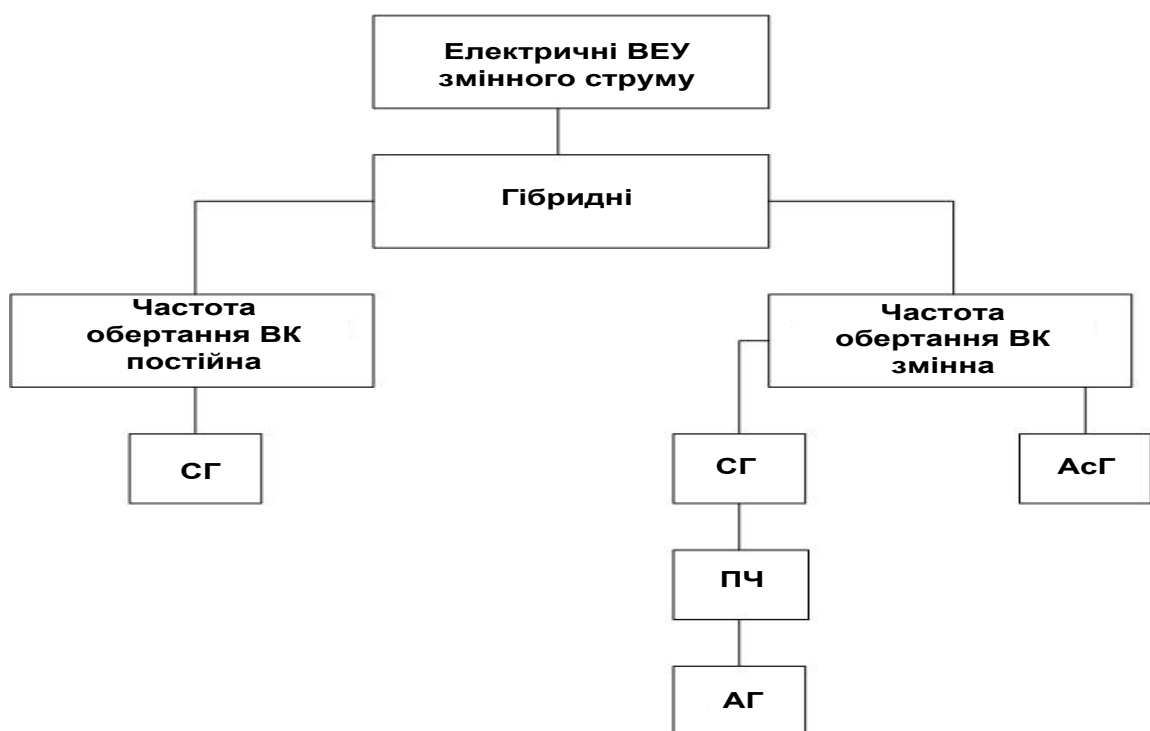


Рисунок 4.5 – Структурна схема гібридних ВЕУ: СГ – синхронний генератор, АСГ – асинхронізований синхронний генератор; ПЧ – перетворювач частоти

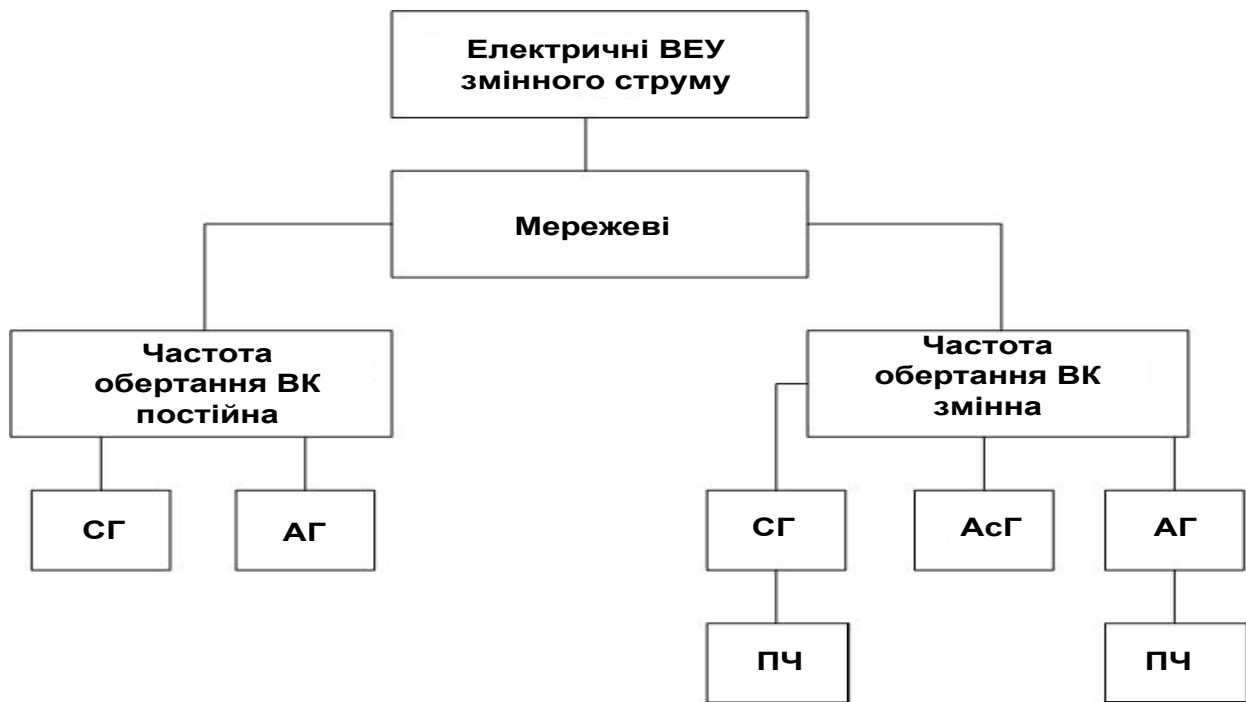


Рисунок 4.6 – Структурна схема мережевих ВЕУ: СГ – синхронний генератор; АГ – асинхронний генератор; АсГ – асинхронізований синхронний генератор; ПЧ – Перетворювач частоти

4.4 Принцип роботи вітроустановок

Вітроустановки при роботі використовують ефект виникнення підйомної сили, що діє на лопаті віротурбіни, яка в свою чергу обертає генератор, що виробляє електроенергію. Через змінний характер вітру, частота і напруга на виході генератора також нестабільна, тому неможливо організувати живлення споживачів безпосередньо від ВЕУ.

У аеродинаміці широко застосовується ефект виникнення підйомної сили при дії потоку повітря на жорсткий профіль довільного перерізу. Цей ефект використовують вітроустановки і вітроенергетичні системи. За рахунок спеціальної форми перерізу лопатей і вибору оптимального кута атаки, досягається коефіцієнт використання вітру до 0,48.

У малих ВЕУ, на відміну від великих, не використовується система зміни кута атаки лопатей, тому їх ефективність змінюється в залежності від швидкості вітру.

Схема роботи вітроустановки

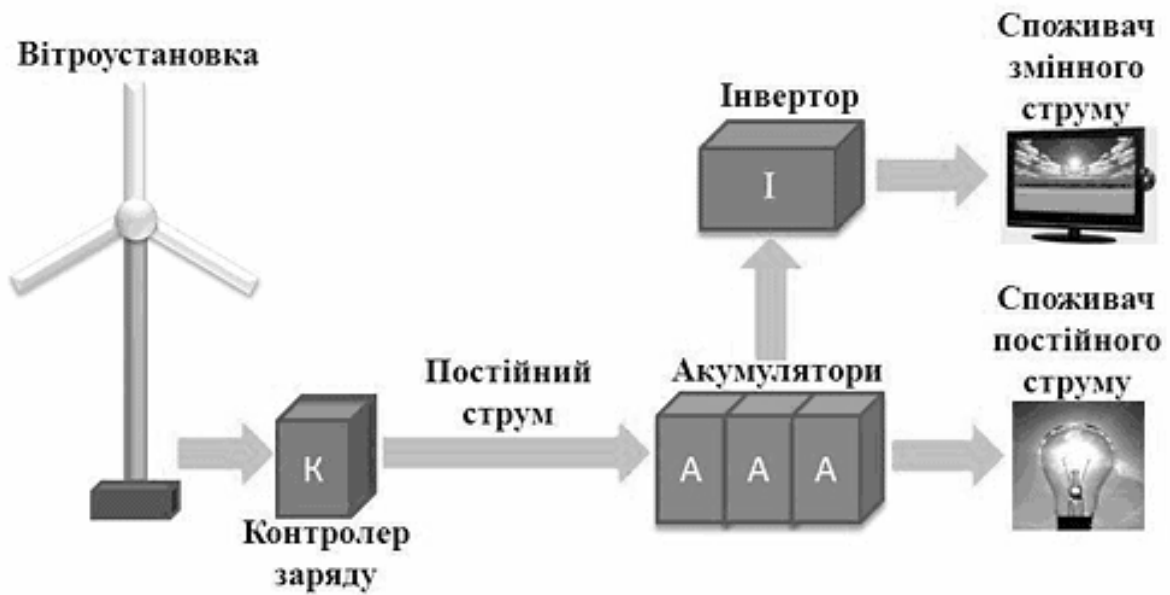


Рисунок 4.7 – Схема роботи вітроустановки

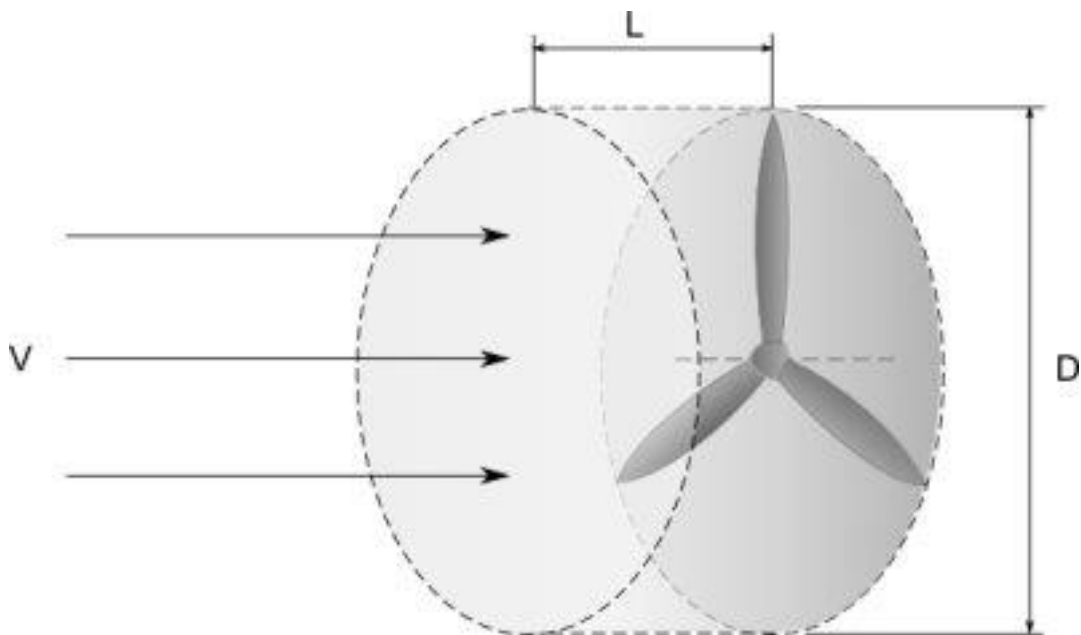


Рисунок 4.8 – Основні параметри вітроколеса

Основними параметрами, які впливають на потужність вітрового потоку є швидкість вітру (в 3-му степені) і діаметр вітроколеса (в квадраті). Тобто, потужність вітрового потоку збільшується в 8 разів при зростанні швидкості вітру в 2 рази. Швидкість вітру розподілена нерівномірно по висоті потоку. Як правило дані про швидкість вітру наведені на висоті флюгера (3 м), а вітроустановки

розташовують на вежах висотою 10...12 м. Розподіл швидкостей вітру по висоті визначається співвідношенням: $(h_1/h_2)^m = (V_1/V_2)$, де $m \approx 0.2$ - коефіцієнт зростання швидкості вітру в приземному шарі.

Конструкція вітроустановки:

- 1) вітроколесо;
- 2) лопаті;
- 3) гондола з генератором;
- 4) ротор;
- 5) вежа;
- 6) троси.

4.5 Особливості розташування вітроелектростанцій

Відомо, що потужність вітрового потоку зростає пропорційно кубу швидкості. Тому вибір майданчика з точки зору максимальної швидкості вітру має критичне значення для подальшої ефективної роботи ВЕС. Відомо також, що в Україні найбільш придатні для вітроенергетики гірські регіони, берегова лінія і мілководні ділянки Азовського і Чорного морів, а також інші регіони.

Однак і в цих, в цілому сприятливих для розвитку вітроенергетики районах, швидкість вітру залежить від різних факторів – навколишнього рельєфу, дрібномасштабної структури поверхні Землі і наявності на поверхні природних і антропогенних об'єктів.

Існують сучасні засоби обліку цього впливу. Це, наприклад, англійська програма WindFarm, розроблена компанією ReSoft і вже згадуваний пакет програмного забезпечення WASP датської лабораторії. І та, і інша програма дозволяють розрахувати параметри вітрового потоку і ефективність роботи ВЕУ для конкретного місця на земній поверхні, скориставшись інформацією про швидкість і напрям вітру в регіоні і даними про місцевий рельєф.

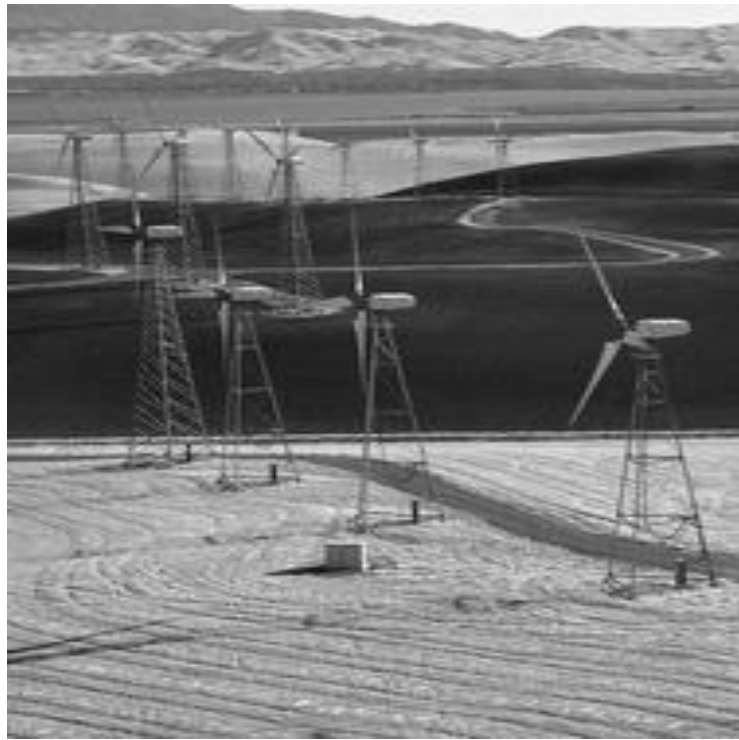


Рисунок 4.9 – Вітроелектростанція у Аламонт Пасс, США.

Однак програма WASP в процесі виконання проекту так і не була освоєна з ряду причин, починаючи з відсутності фінансування на вивчення програми і підготовки фахівців, закінчуючи відсутністю необхідних метеоданих і сучасної інформації про рельєф місцевості.

Перші українські ВЕС проектувалися різними організаціями, що мали досвід роботи тільки в традиційній енергетиці. Вибір місця для всіх існуючих в даний момент ВЕС диктувався наявністю загальних, часто недостатніх, метеоданих для регіонів і, в більшості випадків, практичними обставинами.

Величина ВЕС впливає на її економічні показники. Частка інфраструктури в загальній вартості ВЕС, а також складова експлуатаційних витрат у вартості електроенергії зменшуються зі збільшенням розміру ВЕС. Економічний аналіз, проведений міжгалузеву координаційною радою показав, що будівництво ВЕС, встановлена потужність яких не перевищує 20...30 МВт, недоцільно. Практично всі плановані й проєктовані ВЕС мають потужність понад 50 МВт

Однак складність освоєння таких програм, як WindFarm і WASP не є єдиною проблемою. Достовірність результатів роботи програм залежить від

повноти та достовірності вхідних даних. Для коректної роботи програм потрібні цифрові великомасштабні карти місцевості, які зараз доводиться готувати практично вручну.

Крім того, для ефективного використання програм WindFarm і WASP необхідна інформація про швидкість і напрям вітрового потоку, зібрана протягом декількох років (бажано не менше п'яти)

Досвід показав, що дані про середньорічну швидкість вітру, отримані метеостанціями України, непридатні для прогнозу виробництва електроенергії за допомогою ВЕС через те, що їх похибка часто складає 40...70% [42].

4.6 Екологічні наслідки розвитку вітроенергетики

Розглянемо деякі з екологічних наслідків.

Під потужні промислові ВЕС необхідна площа з розрахунку від 5 до 15 МВт/км² в залежності від рози вітрів та місцевого рельєфу району. Для ВЕС потужністю 1000 МВт потрібно площа від 70 до 200 км². Виділення таких площ у промислових регіонах пов'язане з великими труднощами, незважаючи на те, що частково ці землі можуть використовуватися і під господарські потреби. Наприклад, в Каліфорнії в 50 км від м. Сан-Франциско на перевалі Алтамонт-Пасс земля, відведена під парк потужної ВЕС, одночасно служить для сільськогосподарських цілей.

Проблема використання території спрощується при розміщенні ВЕС на акваторіях. Наприклад, пропозиції по створенню потужних ВЕС на дрібно-водних акваторіях Фінської затоки і Ладозького озера, не пов'язані з вилученням великих територій з господарського користування. З відведеної площі акваторії для ВЕС безпосередньо під спорудження для ВЕУ предається лише близько 2%. У Данії дамба, на якій встановлено парк ВЕУ, одночасно є пірсом для риболовних суден. Використання території, зайнятої вітровим парком, під інші цілі залежить від шумових ефектів і ступеня ризику при поломці ВЕУ. У великих ВЕУ лопать при відриві може бути відкинута на 400-800 м [56].

Найбільш важливий фактор впливу ВЕС на навколишнє середовище – це

акустичний вплив. У зарубіжній практиці виконано достатньо досліджень і замірів рівня і частоти шуму для різних ВЕУ з вітроколесами, несхожими за 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, в свою чергу, можуть бути низькочастотними (менше 16...20 Гц) і високочастотними (від 20 Гц до декількох кГц). Вони викликані обертанням робочого колеса і визначаються наступними явищами: простором розрідження повітря за ротором або вітроколесом, з напрямком потоків повітря в деяку точку збігу турбулентних потоків; пульсаціями підйомної сили на профілі лопаті; взаємодією турбулентного пограничного шару з задньою кромкою лопаті.

Віддалення ВЕС від населених пунктів і місць відпочинку вирішує проблему шумового ефекту для людей. Однак шум може вплинути на фауну, в тому числі на морську фауну в районі екваторіальних ВЕС. За закордонними даними, ймовірність травмування 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 її можна не брати до уваги. Це пояснюється тим, що ВЕУ використовують невеликий приземний шар повітряних мас (близько 100...150 м) і при цьому не більше 50% їхньої кінетичної енергії. Однак потужні ВЕС можуть вплинути на навколишнє середовище: наприклад, зменшити вентиляцію повітря в районі розміщення вітрового парку. Екрануюча дія вітрового парку може виявитися еквівалентною дії повітряних потоків при розміщенні такої ж площі на висоті близько 100...150 м.

Перешкоди, викликані відбиттям електромагнітних хвиль лопатями вітрових турбін, можуть позначатися на якості телевізійних і мікрохвильових радіопередач, а також різних навігаційних систем у 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 важкорозв'язних, і в кожному конкретному випадку може бути знайдено конкретне, позитивне вирішення проблем, пов'язаних із розміщенням парку ВЕС.

4.7 Типовий розрахунок вітроенергетичної установки

Задача

Розрахувати потужність, яку виробляє вітроустановка з вертикальною віссю обертання, що розміщена в залізорудної шахти «Родіна» на глибині $H=1315\text{м}$, якщо швидкість вентиляційного потоку, на шляху поширення якого розміщена вітроустановка, дорівнює $v=12\text{м/с}$, а температура повітря дорівнює $t=27^\circ\text{C}$ при атмосферному тиску на даному горизонті $p=870\text{мм. рт. ст.}$, якщо висота лопаті вітроколеса $h=3,0$, радіус вітроколеса $R=0,9\text{м}$. Коефіцієнт використання вітру $\xi=0,4$.

Визначити кутову швидкість обертання вітрового колеса, потужність електрогенератора вітроенергетичної установки, якщо $\eta_{\text{м}}=0,85$, $\eta_{\text{г}}=0,85$.

Розв'язання

1. Обчислимо густину рудничного повітря за формулою:

$$\rho = \frac{0,465 \cdot p}{273,1^\circ\text{C} + t^\circ\text{C}},$$
$$\rho = \frac{0,465 \cdot 870}{273,1 + 27} \approx 1,35 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}.$$

2. Знаходимо описану площу лопатями вітроколеса за формулою:

$$S = 2 \cdot \pi \cdot R \cdot h,$$
$$S = 2 \cdot \pi \cdot 0,9 \cdot 3,0 \approx 17 \text{ м}^2.$$

3. Обчислимо потужність, вироблену вітроколесом на горизонті шахти «Родіна» за формулою:

$$N = \frac{\rho \cdot S \cdot v^3 \cdot \xi}{2},$$

$$N = \frac{1,35 \cdot 17 \cdot 12^3 \cdot 0,4}{2} \approx 7,9 \text{ кВт.}$$

4. Кутову швидкість обертання вітроколеса обчислемо за формулою:

$$\omega = \frac{v}{R},$$

$$\omega = \frac{12}{0,9} \approx 13,3 \text{ с}^{-1}.$$

5. Тоді кількість обертання вітроколеса за одну хвилину, обчислимо за формулою:

$$n = \frac{\omega \cdot 60}{2 \cdot \pi},$$

$$n = \frac{13,3 \cdot 60}{2 \cdot \pi} \approx 127 \frac{\text{об}}{\text{хв}}.$$

6. Частота обертання вітроколеса вітроустановки обчислимо за формулою:

$$\nu = \frac{\omega}{2 \cdot \pi},$$

$$\nu = \frac{13,3}{2 \cdot \pi} \approx 2,12 \text{ Гц.}$$

7. Розрахункова потужність генератора вітроустановки обчислюємо за формулою:

$$N_2 = N \cdot \eta_2 \cdot \eta_m,$$

$$N_2 = 7,9 \cdot 10^3 \cdot 0,98 \cdot 0,85 = 6,58 \text{ кВт.}$$

Як акцент вище викладеного підсумуємо:

1. Вітроенергетика вже сьогодні могла б вийти на значний рівень вироблення електроенергії в країні при умові достатнього її фінансування та відповідної державної політики. Для активації цього напрямку необхідно провести технологічне оновлення ВЕС за рахунок більш потужних вітроенергетичних установок (до 1МВт) та вирішити організаційні питання, зокрема, розділення управління розробкою і виробництвом вітчизняних ВЕУ та виробленням і продажем електроенергії одержаної шляхом застосування ВЕС.

2. Розвиток вітроенергетики в Україні зумовлений наявністю великого,

технічно доступного потенціалу енергії вітру. Для розміщення ВЕУ можуть використовуватися площі, які не були задіяні в народному господарстві, пасовиська та безлісні ділянки гір, мілководні акваторії штучних та природних водоймищ, озер, лиманів, заток і морів. Наприклад, у затоці Азовського моря, Сиваші, що має площу акваторії близько 2700 км², є потенційна можливість розмістити до 135 тис. МВт загальної потужності вітроенергетичних станцій (ВЕС). Для спорудження ВЕС може бути використано, практично всю площу Азовського моря, а в Чорному морі лише на Одеській затоці є можливість розмістити ВЕС із визначеною потужністю до 20 тис. МВт.

Контрольні питання до розділу 4

1. Поясніть суть та значення Кіотського протоколу.
2. Назвіть відомі вам країни, які підписали Кіотський протокол, але не ратифікували його, країни, які його взагалі не підписали.
3. Перелічіть та охарактеризуйте недоліки вітрових установок.
4. В яких межах знаходиться рівень шуму від працюючої вітрової енергетичної установки та яка повинна бути мінімальна відстань від неї до житлових будинків?
5. Назвіть та охарактеризуйте категорії вітрогенераторів.
6. Як класифікуються вітроелектроустановки?
7. Назвіть відомі вам потужні вітроелектростанції в Україні.

Розділ 5 Геотермальна енергетика

5.1 Геотермальна енергетика: теоретичні положення впровадження, загальні відомості, основні поняття, визначення

Вираз "геотермальна енергія" буквально означає, що це енергія тепла землі (гео – земля, термальна – теплова). Основним джерелом цієї енергії є постійний потік тепла з розжарених надр, направлений до поверхні землі. Цього тепла достатньо, щоб розплавляти гірські породи під земною корою, перетворюючи їх на магму. Велика частина магми залишається під землею і, подібно до печі, нагріває породу навколо. Коли підземні води стикаються із цим теплом, вони теж дуже нагріваються – іноді до температури 371°C. У деяких місцях, особливо по краях тектонічних плит материків, а також у так званих "гарячих точках" теплота підходить так близько до поверхні, що її можливо добувати за допомогою геотермальних свердловин.

Електричну енергію вперше було отримано з використанням геотермального резервуару сухої пари 1904 року італійцем П. Джинсші Конті. Перший резервуар гарячої води, використаний для виробництва електричної енергії, був створений у Новій Зеландії в 50-ті роки. Перша комерційна геотермальна електростанція в США почала виробляти енергію 1960 року, яка сьогодні є другою в світі, щодо можливості та обсягу використання відновлюваного джерела енергії. 1995 року потужність усіх геотермальних електростанцій світу становила 6000 МВт і 11300 МВт – теплових станцій для прямого використання теплоти (1 МВт достатньо для забезпечення побутових потреб 1000 жителів).

Геотермальна енергія, акумульована в перших десятих кілометрах Земної кори, досягає 137 трлн. т у.п., що в 10 разів перевищує геологічні ресурси усіх видів палива разом узятих [43, 48].

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

Гідрогеотермальні ресурси, які використовуються на сьогодні практично, складають лише 1% від загального теплового запасу надр. Досвід показав, що перспективними в цьому відношенні варто вважати райони, в яких зростання температури з глибиною відбувається досить інтенсивно, колекторські властивості гірських порід дозволяють одержувати з тріщин значні кількості нагрітої води чи пари, а склад мінеральної частини термальних вод не створює додаткових труднощів по боротьбі із солевідкладеннями і кородуванням устаткування.

Аналіз економічної доцільності широкого використання термальних вод показує, що їх варто застосовувати для опалення і гарячого водопостачання комунально-побутових, сільськогосподарських і промислових підприємств, для технологічних цілей, добування цінних хімічних компонентів і ін. Гідрогеотермальні ресурси, придатні для одержання електроенергії, становлять 4% від загальних прогнозних запасів, тому їхнє використання в майбутньому доцільно застосовувати для теплопостачання і теплофікації місцевих об'єктів.



Рисунок 5.1 – Потік геотермальних вод

Поверхня Землі складається із 12 окремих тектонічних плит, величезних платформ земної кори, які постійно дуже повільно рухаються.

Джерела геотермальної енергії можливо виявити в трьох основних зонах – там, де стикаються дві тектонічні плити, при цьому одна з них рухається під

другою [65, 66, 69]:

- субдукційна зола (наприклад, Японські острови та Анди в Південній Америці);

- зони, де магма виходить на нижній горизонт ґрунту чи просто на поверхню (Каліфорнійська затока, рифові долини в Африці, Середньо-атлантичний хребет);

- "гарячі точки", в яких магма постійно витікає на поверхню Землі (Гавайські острови).

Геотермальний резервуар є насправді масою породи, що розтріскалася в земній корі й насичена гарячою водою або паром, при цьому перший тип є найбільш поширеним (рис. 5.1). Щоб вивести воду або пар на поверхню, в резервуарі бурять свердловини. Розміри резервуарів – від кількох тисяч кубічних метрів до кількох кубічних кілометрів. Якщо вода достатньо гаряча, вона підіймається на поверхню природним шляхом, при більш низькій температурі може знадобитися насос.

Розрізняють чотири основні типи геотермальної енергії [31, 33, 34]:

- нормальне поверхове тепло землі, яке використовується геотермальними тепловими насосами;
- гідротермальні системи, тобто резервуари пари, гарячої чи теплої води біля самої поверхні землі (нині для вироблення електроенергії використовуються саме ці ресурси);
- глибока теплота земної кори, яка утримується під поверхнею землі, але може не мати води;
- енергія магми, теплота, що накопичена під вулканами та кальдерами; іноді магма частково буває в розплавленому стані.

Якби можна було використовувати всього 1% геотермальної енергії земної кори (глибина до 10 км), ми мали б у своєму розпорядженні кількість енергії, яка в 500 разів перевищувала б усі світові запаси нафти та газу.

Існує два види геотермальних станцій: перші для генерування струму використовують пар, другі – перегріті геотермальні води. У перших суха пара зі

свердловини надходить у турбіну або генератор для вироблення електроенергії. На станціях іншого типу використовуються геотермальні води температурою понад 190°C. Вода природним чином підіймається вгору свердловиною, подається в сепаратор, де внаслідок зменшення тиску частина її кипить і перетворюється на пару. Пара спрямовується в генератор або турбіну і виробляє електрику. Це найбільш поширений тип геотермальної електростанції.

Значні масштаби розвитку геотермальної енергетики в майбутньому можливі лише в разі одержання теплової енергії безпосередньо з гірських порід. У цьому випадку в місцях, де знайдено сухі гарячі скельні породи, бурять паралельні свердловини між якими утворюють систему тріщин. Тобто фактично формується штучний геотермальний резервуар, в який подається холодна вода з наступним отриманням пари або пароводяної суміші.

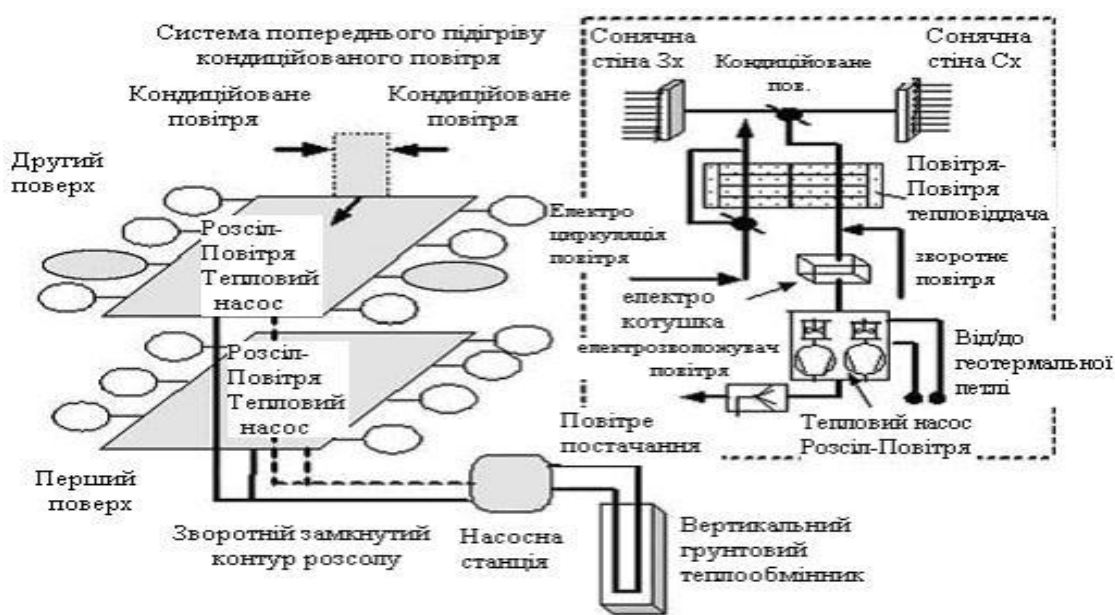


Рисунок 5.2 – Схема геотермальної теплонасосної системи з вертикальним ґрунтовим контуром

Середня температура Землі на глибині 3...5 м впродовж року становить 10...13°C і вище. Цим можна скористатися для опалення й охолодження будинків, виробничих приміщень, тваринницьких ферм за допомогою теплообмінників і теплонасосних установок, що дає змогу заощаджувати до 50...70% теплоти, яка використовується для створення оптимального температурного режиму в

приміщеннях. Для цього в землі за певною схемою прокладають канали для руху повітря або заривають труби, у які подається вода (чи інший теплоносій). Незалежно від того, що циркулює в такій системі, за рахунок теплообміну з землею такий тепловий насос може поглинати тепло землі й передавати його в будинок у холодну пору року або переміщувати тепло з будинку в землю в спекотну пору [45, 46, 47].

В деяких випадках використання теплової геотермальної помпи дозволяє економити до 2/3 енергії, що використовується для опалення.

Тепловий насос складається з таких складових (рис. 6.3):

1. Теплообмінник передачі тепла землі внутрішньому контуру.
2. Компресор.
3. Теплообмінник передачі тепла внутрішнього контуру системі опалення.
4. Дросельний пристрій для зниження тиску.
5. Контур розсолу і земляний зонд.
6. Контур опалення та гарячого водопостачання.

Первинний контур-поліетиленова труба U-подібної форми, занурена в свердловину. По трубі циркулює незамерзаюча рідина. У результаті циркуляції до другого контуру теплового насоса надходить рідина з температурою 8°C (температура землі).

Рідина передає свою температуру (8°C) другому контуру. У другому контурі циркулює фреон (відмінна особливість фреону полягає в тому, що при температурі вище 3°C він з рідкого стану переходить в газоподібний). Рідкий фреон, отримуючи від первинного контуру температуру 8°C переходить в газоподібний стан. Далі, газоподібний фреон надходить в компресор, де газ стискається з 4 до 26 атмосфер. При такому стисненні він нагрівається з 8° С до 75° С.

Це найважливіший етап роботи теплового насоса. Саме на цьому етапі відбувається перетворення енергії великого об'єму газу з температурою 8° С в малий обсяг газу з температурою 75° С. При цьому загальна енергія газу до і після

компресора залишається незмінною. Просто він сконцентрувався в згусток енергії, якому нікуди подітися. Тому і відбувається нагрівання газу до 75°C .

Енергія газу (фреон), розігрітого до 75°C , передається в третій контур – систему опалення та гарячого водопостачання будинку. У процесі передачі енергії газу третьому контуру після втрат ($10\dots15^{\circ}\text{C}$), опалювальний контур нагрівається до температури $60\dots65^{\circ}\text{C}$.

Газ (фреон), віддавши свою енергію опалювального контуру, охолоджується до $30\dots40^{\circ}\text{C}$. При цьому він як і раніше знаходиться під тиском у 26 атмосфер. Потім відбувається зниження тиску до 4 атмосфер (так званий ефект дроселювання). У результаті падіння тиску відбувається значне охолодження газу (ефект, зворотнього підвищення температури при збільшенні тиску). Він охолоджується до $0\dots3^{\circ}\text{C}$ і стає рідиною. Температура фреону $0\dots3^{\circ}\text{C}$ передається теплоносію первинного контуру, який відносить її вглиб землі. Проходячи по свердловині, теплоносій нагрівається і виходить на поверхню землі з температурою 8°C , яка знову подається на другий контур.

А в цей час відбувається процес завершення циклу в другому контурі. Рідкий фреон з температурою $0\dots3^{\circ}\text{C}$ знову стикається з первинним контуром, що приносить із землі 8°C . Процес повторюється.

До переваг геотермальної енергії відносять [61, 63, 65]:

1. Геотермальну енергію отримують від джерел тепла з великими температурами.
2. Температура теплоносія значно менша за температуру при спалюванні палива.
3. Найкращий спосіб використання геотермальної енергії – комбінований (видобуток електроенергії та обігрів).

До недоліків геотермальної енергії відносять [61, 65, 68]:

1. Низька термодинамічна якість.
2. Необхідність використання тепла біля місця видобування.
3. Вартість спорудження свердловин виростає зі збільшенням глибини.

Це джерело енергії характеризується різноплановим впливом на природне середовище. Так в атмосферу надходить додаткова кількість розчинених в підземних водах сполук сірки, бору, миш'яка, аміаку, ртуті; викидається водяна пара, збільшуючи вологість; супроводжується акустичним ефектом; опускання земної поверхні; засолення земель.

5.2 Джерела геотермального тепла

У геологічному розумінні геотермальна теплота – це теплота при температурах, вищих за температури навколишнього середовища. Запаси цієї теплоти перевищують річне споживання енергії в усьому світі в 35 млрд. разів. Однак сьогодні дуже незначна кількість цих запасів може бути використана. Обмеження зумовлені в основному економічними причинами. На глибині більш ніж 5 км від поверхні Землі зміна температурного градієнта становить 30...35°C на кожний кілометр. Різні регіони земної кулі відрізняються один від одного широким спектром зміни зазначеного градієнта. У деяких місцях Землі температурний градієнт перевищує згадане значення в 10 разів; при цьому зміна температури на глибині 5 км досягає 500°C [41].

Теплові потоки в надрах Землі, які проходять крізь тверді породи, мають відносно незначні параметри (вони в декілька тисяч разів менші за сонячну радіацію). Отже, теплота земних надр у вигляді теплових потоків, які передаються шляхом теплопровідності, не має суттєвого практичного значення.

Проявом геотермальної теплоти, що має практичне значення, є запаси гарячої води в підземних резервуарах та гейзерах, що виходять на поверхню.

Геотермальною вважається енергія, перенесена із глибин Землі за допомогою різних видів теплообміну (теплопровідністю та конвекцією). Припускається, що тепло магми переноситься теплопровідністю крізь структурні шари Землі.

Усю природну теплоту, яка міститься в земній корі, можна розглядати як геотермальні ресурси двох видів:

– пара, вода, газ;

– розігріті гірські породи.

Гідротермальні джерела енергії поділяються на термальні води, пароводяні суміші і природну пару.

Для отримання теплоти, акумульованої в надрах землі, її спочатку треба підняти на поверхню. Геотермальні води – екологічно чисте джерело енергії, що постійно відновлюється. Воно суттєво відрізняється від інших альтернативних джерел енергії тим, що його можна використовувати незалежно від кліматичних умов і пори року.

Геотермальна енергія сьогодні використовується для теплопостачання (виробничі технологічні процеси харчової та обробної промисловості, опалення тощо) та вироблення електроенергії.

Експлуатація геотермальних джерел базується на попередньому геологічному дослідженні, щоб уникнути значного фінансового ризику за умов подальших капітальних витрат.

Отже, для того, щоб визначити, чи має певна місцевість потенціал постачання геотермальної теплоти для промислових та побутових потреб, необхідно провести попередній пошук, що є ризикованим, але необхідним. Ця особливість є однією з головних відмінностей геотермальної енергії від інших поновлюваних джерел енергії.

5.3 Методи та способи використання геотермального тепла для отримання тепло- та електроенергії

Підземні геотермальні резервуари поділяються на [43]:

- заповнені в основному парою (перегрітою чи насиченою);
- заповнені в основному гарячою водою (з невеликим вмістом насиченої пари).

Схему геотермальної електростанції з паровою турбіною наведено на рис. 5.3, при цьому використовується резервуар сухої пари, яка зі свердловин подається в турбіну для вироблення електроенергії.

На станціях іншого типу використовуються геотермальні води з температурою, вищою за 190°C. Вода, яка природним чином підіймається вгору

по свердловині, подається в сепаратор, де частина її кипить та перетворюється на пару. Пара використовується для одержання електроенергії.

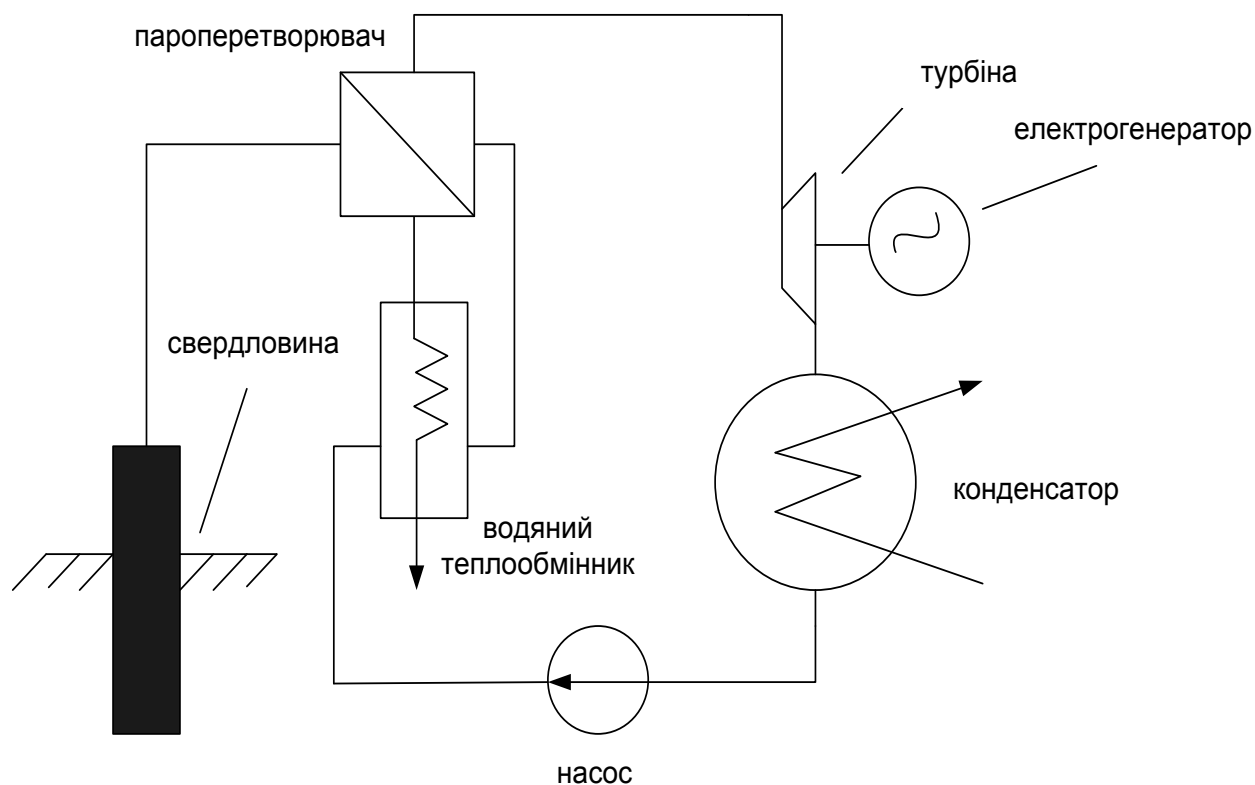


Рисунок 5.3 – Схема геотермальної електростанції

Електростанція з бінарним циклом ґрунтується на двох замкнених циклах – один для геотермальної води, другий – для робочої рідини чи газу з низькою температурою кипіння (наприклад, ізобутан).

Робоча рідина, нагріта геотермальною водою, перетворюється на пару, яка надходить у теплообмінник та використовується для обертання турбіни. Оскільки обидва контури замкнені, немає практично ніяких викидів, що робить систему екологічно чистою. Робоча рідина випаровується при більш низькій температурі, ніж вода, тому бінарні станції працюють при значно нижчих температурах, ніж інші типи геотермальних станцій (100...190°C). А оскільки джерела геотермальної води з температурою нижчою за 190°C найбільш поширені, то в майбутньому ці станції матимуть перевагу.

Геотермальні води, які використовуються для теплопостачання, можна умовно поділити на 3 групи [51]:

- води, які можуть безпосередньо використовуватися споживачами і

підігріватися без будь-яких негативних наслідків, тобто води найбільш вигідної якості;

- води, які можуть безпосередньо використовуватися споживачами для опалення, але не можуть підлягати підігріву через їхні агресивні властивості;
- води підвищеної мінералізації та агресивності, які неможливо використовувати безпосередньо.

Схема системи геотермального теплопостачання, розроблена Інститутом механічної теплофізики НАН України, подана на рис. 5.4.

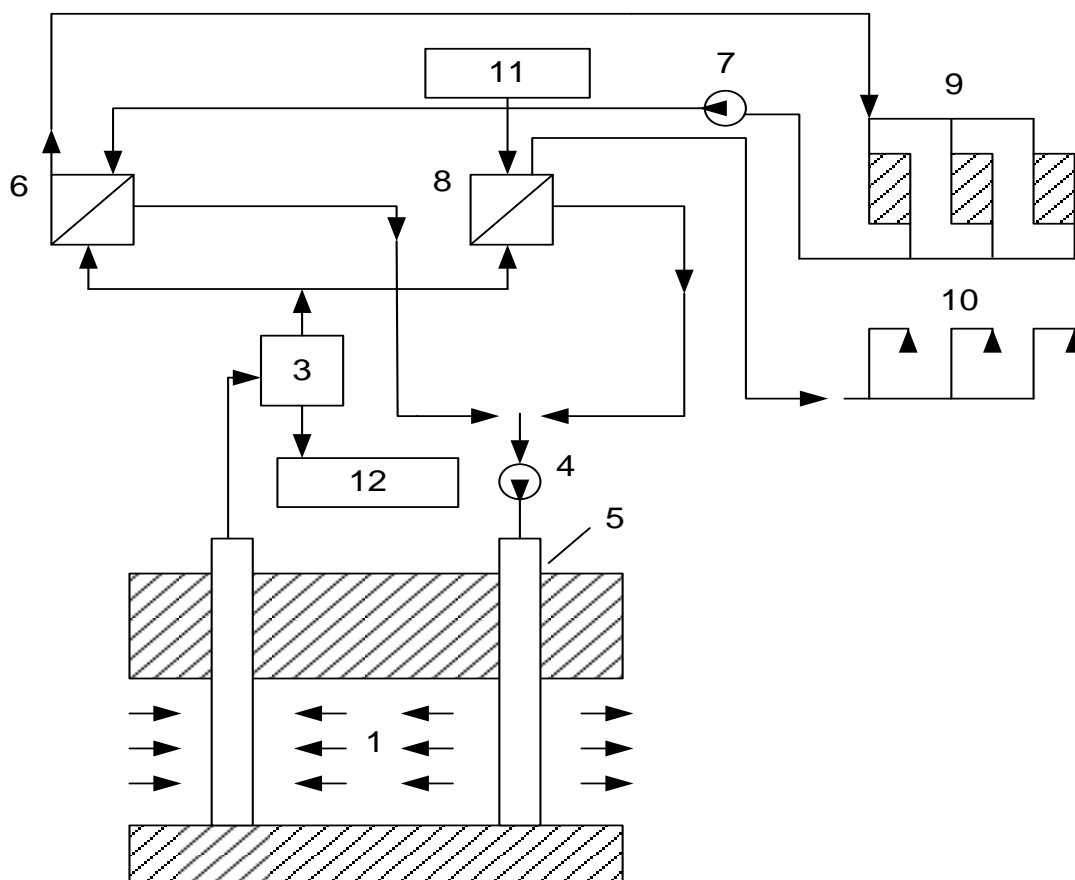


Рисунок 5.4 – Схема системи геотермального постачання:

- 1 – підземний колектор; 2 – свердловина; 3 – газошламовідкремлювач; 4 – нагнітальний насос; 5 – нагнітальна свердловина; 6 – теплообмінник опальної системи; 7 – насос опалювальної системи; 8 – теплообмінник гарячого водопостачання; 9 – опалювальна система; 10 – система гарячого водопостачання; 11 – джерело води для гарячого водопостачання; 12 – система утилізації газів і шламів.

5.4 Приклади використання геотермальної енергії

Концепція розвитку геотермальної електроенергетики України передбачає наявність трьох тимчасових етапів.

На першому етапі, в період 1991-1995 рр., проведено широкомасштабні дослідження та пошукові геологорозвідувальні роботи в різних районах України (в Криму, на Тарханкутському півострові і в Прикарпатті, в районі м. Мостиська) з метою отримання інформації про геологічні об'єкти, придатні для отримання теплової енергії для геоТЕС. Проведено обробку технологій видобутку геотермальної теплоти та її перетворення на електроенергію, а також щодо можливості створення блочних міні-геоТЕС.

На другому етапі, протягом 1996-2000 рр., проведено дослідження на експериментальних геоТЕС, розширено пошукові геологорозвідувальні роботи, створена Кримська дослідно-промислова геоТЕС з потужністю 25 МВт і Мостиська дослідно-промислова геоТЕС із потужністю до 10 МВт. Крім того, має бути розгорнуто будівництво серії міні-геоТЕС з потужністю 50...5000 кВт. Сумарна потужність передбачених для будівництва геоТЕС із впровадженням до 2014 р. становитиме 60 МВт.

На третьому етапі, в період 2010-2015 рр., передбачається завершити створення дослідно-промислової Тарханкутської геоТЕС на Кримському півострові з потужністю 100 МВт і Мостиської геоТЕС з потужністю 50 МВт. Одночасно передбачається завершити експериментальні дослідження на 3-4 майданчиках нових промислових геоТЕС із з'ясуванням та затвердженням запасів геотермальної теплоти [34].

Геотермальна енергія з успіхом використовується в Росії, Грузії, Ісландії, США.

Перше місце по виробленню електроенергії з гарячих гідротермальних джерел займає США. У долині Великих Гейзерів (штат Каліфорнія) на площі 52 км² діє 15 установок, потужністю понад 900 МВт.

«Країна льодовиків», так називають Ісландію, ефективно використовує гідротермальну енергію своїх надр. Тут відомо понад 700 термальних джерел, які

виходять на земну поверхню. Близько 60% населення користується геотермальними водами для обігріву житлових приміщень, а в найближчому майбутньому планується довести це число до 80%. При середній температурі води 87°C річне споживання енергії гарячої води становить 15 млн. ГДж, що рівноцінно економії 500 тис. т кам'яного вугілля на рік. Крім того, ісландські теплиці, в яких вирощують овочі, фрукти, квіти і навіть банани, використовують щорічно до 150 тис. м³ гарячої води, тобто понад 1,5 млн. ГДж теплової енергії.

Середній потік геотермальної енергії через земну поверхню становить приблизно 0,06 Вт/м² при температурному градієнті меншому ніж 30 °С/км. Однак є райони зі збільшеними градієнтами температури, де потоки складають приблизно 10...20 Вт/м², це дозволяє реалізовувати геотермальні станції (ГеоТЕС) тепловою потужністю 100 МВт/км² та тривалістю експлуатації до 20 років [56].

Якість геотермальної енергії невелика і краще її використовувати для опалення будівель та попереднього підігріву робочих вузлів звичайних високотемпературних установок. Також використовують це тепло для ферм з розведення риби та для теплиць. Якщо тепло з надр виходить при температурі більше 150 °С, то можна говорити про виробництво електроенергії. Побудовано ГеоТЕС на Філіппінах потужністю більше 900 тис. кВт.

Масштаб використання геотермальної енергії визначають декілька факторів: капітальні витрати на спорудження свердловин, ціна яких зростає зі збільшенням глибини. Оптимальна глибина свердловин 5 км. Геотермальні води використовують двома способами: фонтанним (теплоносій викидається в навколишнє середовище) та циркуляційним (теплоносій закачується назад в продуктивну товщу). Перший спосіб дешевше, але екологічно небезпечний, другий дорожчий, але забезпечує збереження навколишнього середовища.

Можна здійснювати одночасно з добуванням тепла і добування хімічних елементів та сполук з розсолів, як на дослідному заводі в Дагестані, де добувають сполуки магнію, літію та бромю.

До категорії гідротермальних конвективних систем відносяться підземні басейни пари чи гарячої води, які виходять на поверхню з землі,

утворюючи гейзери, фумароли, озера багнюки тощо. Їх використовують для виробництва електроенергії за допомогою методу, що ґрунтується на використанні пари, яка утворюється при випаровуванні гарячої води на поверхні.

Іншим методом виробництва електроенергії на базі високо- та середньотемпературних геотермальних вод є використання процесу із застосуванням двоконтурного (бінарного) циклу. В цьому процесі вода, отримана з басейну, використовується для нагрівання теплоносія другого контуру (фреону чи ізобутану), який має меншу температуру кипіння. Установки, що використовують фреон як теплоносій другого контуру, зараз підготовлені для діапазону температур 75...150°C і при одиничній потужності 10...100 кВт.

Також є розробки по отриманню теплової енергії зі штучно утворених тріщин в гарячих сухих породах.

Геотермальні системи, де в зонах зі збільшеним значенням теплового потоку, розташовуються глибокозалягаючий осадовий басейн (Угорський басейн), температура води якого 100 °С.

Підземні геотермальні води зі значеннями температур, що не перевищують 100°C, як правило, економічно вигідно використовувати для потреб тепlopостачання, гарячого водопостачання і для інших цілей у відповідності з рекомендаціями.

5.5 Екологічні наслідки розвитку геотермальної енергетики

Геотермальні електростанції, порівняно з тепловими станціями на викопному паливі, викидають дуже мало сірки і зовсім не викидають оксидів азоту. Викиди CO₂ на 1 МВт·год виробленої енергії на сучасних геотермальних станціях мінімальні або їх немає взагалі. Типова геотермальна станція виробляє близько 0,45 кг CO₂ на 1 МВт·год, електростанція на природному газі – 464 кг, електростанція на нафті – 720 кг, а вугільна – 819 кг.

Під геотермальні установки потрібні зовсім невеликі ділянки землі, набагато менші, ніж під енергетичні установки інших типів, їх можна встановлювати, практично на будь-яких землях, зокрема й на

сільськогосподарських угіддях. До того ж буріння геотермальних свердловин набагато менше впливає на навколишнє середовище, ніж розробка будь-яких інших джерел енергії. Ландшафт навколо геотермальної установки не псується ні шахти, ні тунелі, ні гори відходів.

Технологія безпечного використання геотермальних вод високорозвинена й надійно перевірена часом. Стічну воду з електростанції подають назад у резервуар, що дозволяє зберегти в ньому тиск, під дією якого гаряча вода подається з виробничої свердловини. Технологічна геотермальна вода постійно ізолювана від підземних вод трубопроводом, вбудованим у свердловину.

5.6 Типовий розрахунок геотермальної енергетичної установки

Задача

Обчислити глибину скважини H виготовлену в сухій скелястій породі густиною $\rho_{с.п.}=2100 \text{ кг/м}^3$, питомою теплоємністю $c_{с.п.}=850 \text{ Дж/кг}\cdot^\circ\text{C}$, градієнтом температури $G=50^\circ\text{C/км}$, з мінімально допустимою температурою, яка не перевищує $\Delta t_n=150^\circ\text{C}$, а також розрахувати корисну теплоту, яка припадає на один квадратний кілометр (1 км^2) сухої породи. Знайти сталу часу видобування тепла з використанням теплоносія – води, густиною $\rho_v=1000 \text{ кг/м}^3$, питомою теплоємністю $c_v=4190 \text{ Дж/кг}\cdot^\circ\text{C}$, та її витратою $V=0,8 \text{ м}^3/\text{с}$. Яка швидкість видобування тепла на початковому етапі, через 10 та 20 років.

Розв'язання

1. Знаходимо глибину скважини H через Δt і G :

$$\Delta t_n = t_n - t_o; t_n = t_o + GH; \Delta t_n = (t_o + GH) - t_o = GH, \quad \text{тоді} \quad \Delta t_n = GH, \quad \text{звідси}$$

маємо:

$$H = \frac{\Delta t_n}{G}, \quad H = \frac{150}{50} = 3 \text{ км} = 3 \cdot 10^3 \text{ м},$$

2. Обчислюємо енергетичний запас на глибині 3 км за формулою:

$$E = \frac{E_o}{S} = \rho_{с.п.} \cdot c_{с.п.} \cdot (H - H_0) \cdot \frac{t_n - t_o}{2},$$

$$E = 2100 \cdot 850 \cdot (3 \cdot 10^3 - 0) \cdot \frac{150}{2} \approx 4,02 \cdot 10^{17} \frac{\text{Дж}}{\text{км}^2}.$$

3. Знаходимо час використання теплоти джерела за формулою:

$$\tau = \frac{\rho_{c.n.} \cdot c_{c.n.} \cdot S \cdot (H - H_0)}{V \cdot \rho_{\epsilon} \cdot c_{\epsilon}},$$

$$\tau = \frac{2,1 \cdot 10^3 \cdot 8,5 \cdot 10^2 \cdot 10^6 \cdot 3 \cdot 10^3}{8 \cdot 10^{-1} \cdot 10^3 \cdot 4,19 \cdot 10^3} = 50,66 \text{ років} = 50 \text{ років } 240 \text{ днів } 5 \text{ годин.}$$

4. Обчислюємо потужність теплового потоку, яка видобувається на кожному з етапів: а) на початку, б) через 10 років, в) через 20 років:

а) на початковому етапі розрахунок теплового потоку із скважини обчислюємо за співвідношенням:

$$\left(\frac{dE}{d\tau} \right)_{\tau=0} = \frac{E}{\tau_{вих}},$$

$$\left(\frac{dE}{d\tau} \right)_{\tau=0} = \frac{4,02 \cdot 10^{17}}{1,6 \cdot 10^9} \approx 2,514 \cdot 10^8 \frac{\text{Дж}}{\text{с} \cdot \text{км}^2} \approx 251,4 \cdot 10^6 \frac{\text{Вт}}{\text{км}^2} \approx 251,4 \frac{\text{МВт}}{\text{км}^2},$$

б) через 10 років тепловий потік із скважини глибиною 3 км обчислюємо за формулою:

$$\left(\frac{dE}{d\tau} \right)_{\tau=10} = E_0 \cdot \exp\left(-\frac{\tau_{10}}{\tau_{вих}}\right) = E_0 \cdot e^{-\frac{\tau_{10}}{\tau_{вих}}},$$

$$\left(\frac{dE}{d\tau} \right)_{\tau=10} = 251,4 \cdot e^{-\frac{10}{50,66}} \approx 206,4 \frac{\text{МВт}}{\text{км}^2},$$

в) через 20 років тепловий потік із скважини глибиною 3 км обчислюємо за формулою:

$$\left(\frac{dE}{d\tau} \right)_{\tau=20} = E_0 \cdot e^{-\frac{\tau_{20}}{\tau_{вих}}},$$

$$\left(\frac{dE}{d\tau} \right)_{\tau=20} = 251,4 \cdot e^{-\frac{20}{50,66}} \approx 169,4 \frac{\text{МВт}}{\text{км}^2}.$$

Таким чином можна зробити із вищевикладеного наступні висновки:

1. Геотермальні електростанції, порівняно з тепловими станціями на викопному паливі, викидають дуже мало сірки і зовсім не викидають оксидів

азоту.

2. Під геотермальні установки потрібні зовсім невеликі ділянки землі, набагато менші, ніж під енергетичні установки інших типів, їх можна встановлювати, практично на будь-яких землях, зокрема й на сільськогосподарських угіддях. До того ж буріння геотермальних свердловин набагато менше впливає на навколишнє середовище, ніж розробка будь-яких інших джерел енергії. Ландшафт навколо геотермальної установки не псується ні шахти, ні тунелі, ні гори відходів.

3. Технологія безпечного використання геотермальних вод високорозвинена й надійно перевірена часом. Стічну воду з електростанції подають назад у резервуар, що дозволяє зберегти в ньому тиск, під дією якого гаряча вода подається з виробничої свердловини. Технологічна геотермальна вода постійно ізолювана від підземних вод трубопроводом, вмонтованим у свердловину.

4. Територія України, в окремих регіонах, може бути використана для розвитку геотермальної енергетики, як для опалення будівель так і для вироблення електричної енергії.

Контрольні питання до розділу 5

1. Дайте визначення поняттю «геотермальна енергетика».
2. Які переваги та недоліки є у геотермальної енергетики?
3. Що являє собою геотермальна енергетика?
4. Яка специфіка геотермальна енергетика?
5. Які основні пристроїв геотермальної енергетики?
6. Який принцип дії геотермальних станцій?
7. Назвіть фізичних принцип роботи геотермальних станцій.
8. Наведіть приклади використання геотермальної енергетики в Україні та у світі.
9. Чи є перспективи розвитку геотермальної енергетики в Україні?

Розділ 6 Мала гідроенергетика

6.1 Мала гідроенергетика: теоретичні положення впровадження, загальні відомості, основні поняття, визначення

Мала гідроенергетика, яка є найбільш освоєною з нетрадиційних відновлювальних джерел електроенергії, дозволяє використати значний гідроенергетичний потенціал малих рік і приток, систем водопостачання, іригації з видачею електроенергії в енергосистему, а в багатьох випадках забезпечити локальне електропостачання віддалених районів або населених пунктів, особливо в недостатньо розвинених країнах і в країнах, що розвиваються, з обмеженою системою централізованого електропостачання. До переваг малих ГЕС відносяться порівняно невеликий об'єм інвестицій і короткий термін будівництва, що дозволяє прискорити отримання прибутку, забезпечити мінімальну дію на довкілля, надійність і близькість до споживача. До об'єктів малої гідроенергетики відносяться малі ГЕС згідно міжнародної класифікації потужністю до 30 МВт (в Швейцарії, Україні не більше 10 МВт), міні-ГЕС – від 0,1 до 1,0 МВт, мікро-ГЕС – не більше 0,1 МВт.

У більшості розвинених країн досягнутий високий рівень освоєння ресурсів малої гідроенергетики. Так, потужність малих ГЕС, що експлуатуються (2007 р.), складає: в Австрії – 1,1 млн. кВт, Франції – 2,1 млн. кВт, Німеччині – 1,6 млн. кВт, Норвегії – 1,4 млн. кВт, Іспанії – 1,8 млн. кВт, Швейцарії – 0,8 млн. кВт, Японії – 3,5 млн. кВт, Канаді – 2 млн. кВт [37].

Їх широке освоєння відбувається в країнах, що розвиваються. Світовим лідером у використанні малої гідроенергетики є Китай, де потужність малих ГЕС складає біля 35 млн. кВт з виробленням 110 млрд. кВт·год (2007 р.) і ведеться їх розгорнуте будівництво [37, 38].

В Індії, де потенціал малої гідроенергетики оцінюється в 15 млн. кВт, експлуатуються 420 малих ГЕС сумарною потужністю більше 0,5 млн. кВт і планується будівництво більше 4000 малих ГЕС.

У Бразилії потужність малих ГЕС – більше 1,9 млн. кВт, будуються – потужністю 1,0 млн. кВт і планується будівництво малих ГЕС потужністю 6,9 млн. кВт.

В Україні загальна потужність малих ГЕС, що експлуатуються, складає більше 100 МВт, більше 100 малих і міні-ГЕС вимагають відновлення та реконструкції.



Рисунок 6.1 – Дністровська ГАЕС

Загальний економічно ефективний потенціал малих ГЕС України оцінюється в більш ніж 3,0 млрд. кВт·год. Більша частина неосвоєного потенціалу знаходиться у Карпатському регіоні, де передбачається будівництво малих ГЕС з водосховищами комплексного призначення. Будується каскад малих ГЕС на р. Тересві потужністю 16 МВт.

Згідно стратегії розвитку малої гідроенергетики планується довести потужність малих ГЕС у 2020 р. до 700 МВт, а в 2030 р. – до 1040 МВт. Прийняті законодавчі акти створюють сприятливий інвестиційний клімат для будівництва малих ГЕС.

Гідроакумулююча електростанція (ГАЕС) – гідроелектрична станція, принцип дії якої полягає в перетворенні електричної енергії, що отримується від інших електростанцій, в потенційну енергію води, при зворотному перетворенні накопичена енергія віддається в енергосистему головним чином для покриття піків навантаження.

Гідротехнічні споруди ГАЕС складаються з двох басейнів, розташованих на різних рівнях, і сполучних водоводами. Гідроагрегати, встановлені в будівлі ГАЕС в нижній частині водоводу, можуть бути трьохмашинними, такими, що складаються із сполучених на одному валу оборотної електричної машини (двигун-генератор), гідротурбіни і насоса, або двухмашинними – оборотна електромашина і оборотна гідромашина, яка залежно від напрямку обертання може працювати як насос або як турбіна.

Електроенергія, що виробляється недовантаженими електростанціями енергосистеми (в основному вночі), використовується ГАЕС для перекачування насосами води з нижнього водоймища у верхнє. У періоди піків навантаження вода з верхнього басейну по трубопроводу підводиться до гідроагрегатів ГАЕС, включеним на роботу в турбінному режимі, вироблена при цьому електроенергія віддається в мережу енергосистеми, а вода накопичується в нижньому водоймищі. Кількість акумульованої електроенергії визначається ємкістю басейнів і робочим тиском води ГАЕС. Верхній басейн ГАЕС може бути штучним або природним (наприклад озеро), нижнім басейном часто служить водоймище, що утворилося унаслідок перекриття річки греблею. Однією з переваг ГАЕС є те, що вони не залежать від дії сезонних коливань стоку води. Гідроагрегати ГАЕС, залежно від напору тиску, що діє на лопаті гідротурбіни, обладнуються поворотно-лопатевиими, діагональними, радіально-осьовими чи ковшовими гідротурбінами. Час пуску і зміни режимів роботи ГАЕС вимірюється декількома хвилинами, що зумовлює їх високу експлуатаційну маневреність. Регульовальний діапазон ГАЕС, з самого принципу її роботи, близький двократній встановленій потужності, що є однією з основних її переваг.



Рисунок 6.2 – Залив Фанді під час припливу і відпливу.

Здатність ГАЕС покривати піки навантаження і підвищувати споживання електроенергії вночі, робить їх дієвим засобом для вирівнювання режиму роботи енергосистеми. Загальний ккд (коефіцієнт корисної дії) ГАЕС в оптимальних розрахункових умовах роботи наближається до 0,75, у реальних умовах середнє значення ккд з урахуванням втрат в електричній мережі не перевищує 0,66.

Приплив і відплив – періодичні вертикальні коливання рівня океану або моря, що є результатом зміни положень Місяця і Сонця відносно Землі разом з ефектами обертання Землі навколо своєї вісі та особливостями даного рельєфу місцевості, проявляється в періодичному горизонтальному зсуві водних мас. Припливи і відпливи викликають зміни в висоті рівня моря, а також періодичні течії, відомі як приливні течії, що передбачають прогнозування припливів важливою інформацією для організації функціонування прибережної навігації.

Інтенсивність цих явищ залежить від багатьох факторів, один з найбільш важливим з них, є ступінь зв'язку водойм зі світовим океаном. Чим більш замкнута водойма, тим менше ступінь прояву приливо-відливних явищ.

Турбіна – ротаційний двигун з безперервним робочим процесом і обертальним рухом робочого органа (ротора), перетворюючий кінетичну енергію і внутрішню енергію робочого тіла (пари, газу, води) в механічну роботу. Струмінь робочого тіла діє на лопатки, закріплені по коловій поверхні ротора, і приводить їх в рух.

Застосовується в якості приводу електричного генератора на теплових, атомних і гідро електростанціях, як складова частина приводів на морському, наземному і повітряному транспорті, а також гідродинамічної передачі, гідронасоси. Моря та океани займають 71% поверхні Землі і мають енергію таких видів [53, 56]:

- енергія хвиль та припливів;
- енергія хімічних зв'язків газів, солей, мінералів тощо;
- прихована енергія течій у різних частинах морів та океанів;
- невичерпна енергія, яку можна виробляти, використовуючи різницю температур води на поверхні та в глибині, а також перетворюючи її на традиційні види.

6.2 Енергетичні установки по використанню енергії океана

Приливна електростанція (ПЕС) – особливий вид гідроелектростанції, що використовує енергію припливів, а фактично кінетичну енергію обертання Землі. Припливні електростанції будують на берегах морів, де гравітаційні сили Місяця і Сонця двічі на добу змінюють рівень води. Коливання рівня води біля берега можуть досягати 13 метрів.

Для вироблення електроенергії електростанції такого типу використовують припливну енергію води. Перша така електростанція (Паужетская) потужністю 5 МВт була побудована на Камчатці. Для пристрою найпростішої приливної електростанції потрібно басейн – перекритий греблею затоку або гирло річки. У греблі є водопропускні отвори і встановлені гідротурбіни, які обертають генератор. Гідротурбіна – це лопаткова машина, що приводиться в обертання потоком рідини, зазвичай річкової води. За принципом дії гідравлічні турбіни

підрозділяють на активні (вільноструйні) і реактивні (напороструйні); за конструкцією – на вертикальні і горизонтальні.

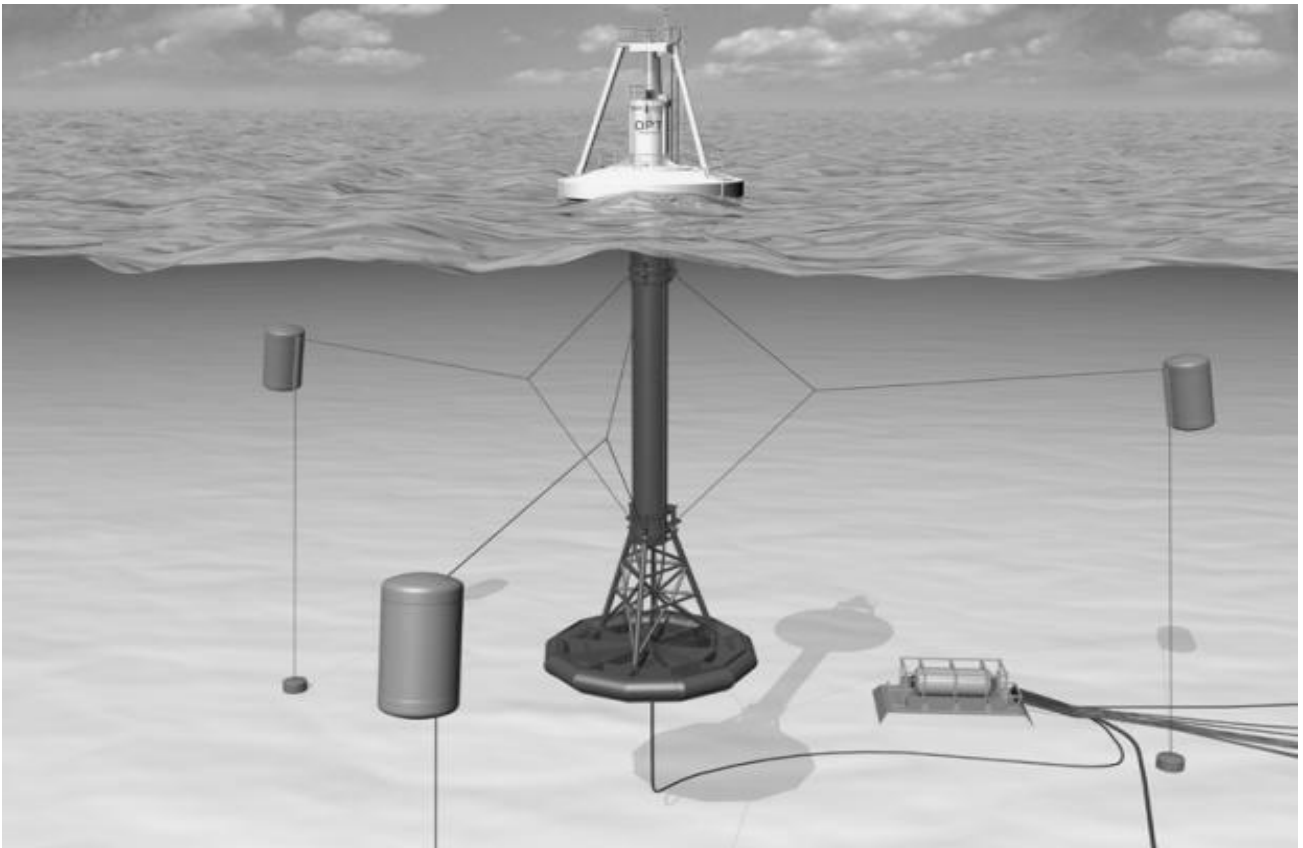


Рисунок 6.3 – Припливна електростанція в США

В залежності від розташування осі обертання розрізняють вертикальні і горизонтальні гідрогенератори; за частотою обертання – тихохідні (до 100 об/хв) і швидкохідні (понад 100 об/хв). Потужність гідрогенераторів від декількох десятків до декількох сотень МВт.

Під час припливу вода надходить у басейн. Коли рівні води в басейні і море зрівняються, затвори водопропускних отворів закриваються. З настанням відливу рівень води в морі знижується, і, коли тиск стає достатнім, турбіни та з'єднані з ним електрогенератори починають працювати, а вода з басейну поступово вимиває в море.



Рисунок 6.4 – Кислогубська ПЕС на Баренцевому морі

Вважається економічно доцільним будівництво припливних електростанцій у районах з приливними коливаннями рівня моря не менше 4 м. Проектна потужність припливної електростанції залежить від характеру припливу в районі будівництва станції, від об'єму і площі приливної басейну, від числа турбін, встановлених в тілі греблі.

Найбільш поширеним способом використання енергії морів та океанів є спорудження припливних електростанцій (ПЕС). З 1967 р. у гирлі річки Ране у Франції працює ПЕС потужністю 240 МВт. На черзі спорудження ПЕС у затоці Фанді в Канаді з рекордним 18-метровим рівнем припливу, у гирлі річки Северен в Англії із 14,5-метровим приливом та в інших регіонах із великими припливами води [66, 70].

Цікавим напрямком океанської енергетики виявилось вирощування із плотів в океані гігантських водоростей – келпів, які швидко ростуть і легко перероблюються на метан. За зарубіжними оцінками, для повного забезпечення енергією кожної людини-споживача достатньо 1 га плантацій келпів.

На велику увагу заслуговує "океанотермічна енергоконверсія", іншими

словами отримання електроенергії за допомогою різниці температур між поверхневими та глибинними океанськими водами, що засмоктуються водним насосом, наприклад, при використанні в замкнутому циклі турбіни таких рідин, які легко випаровуються (пропан, фреон чи амоній).

Перша у світі та найбільша на сьогодні ПЕС міститься у Франції на березі Ла-Маншу в гирлі річки Ране. Приплив у цьому місці переміщує 189 тис. м³ води за секунду. Різниця рівнів становить 13 м, а швидкість течії між містами Брестом і Сен-Мало часто досягає 90 км/год. У середині дамби дуже великого накопичувального резервуара містяться 24 турбо-альтернатори-турбогенератори зі зворотними лопатками ротора турбіни. Кожен з них може функціонувати і як турбіна, і як насос, який працює і в бік моря, і в зворотному напрямку. В дамбу вмонтовані навігаційні замки і спускні шлюзи.

До недоліків ПЕС слід віднести труднощі, пов'язані із захистом дамб та устаткування від ударів льодяних торсів, особливо у північних районах. Поблизу дамб морська флора й фауна дуже потерпає внаслідок, хоча й незначного, підвищення температури та зменшення вмісту кисню у воді. Крім того, дамби перешкоджають міграції риб.

"Пірнало" Солтера нагадує поплавок, який, піднімаючись і опускаючись одночасно з хвилями, приводить в дію насос, що подає воду під тиском в турбогенератор.

Пліт Кокерела складається з трьох шарнірно з'єднаних понтонів, які перебувають на плаву і відтворюють коливання хвиль, їхнє підняття й опускання приводить в дію гідравлічні тарани, які з'єднують понтони. Стискання і розтягування таранів передається робочій рідині, яка діє на гідравлічний генератор, що виробляє електричний струм.

Випрямлювач Расела регулює рух води таким чином, що вона надходить у турбіну тільки в одному напрямку.

Колівальна водяна колонка (резервуар) відрізняється від попередніх проектів. Вона перетворює енергію хвиль на потенціальну енергію стиснутого повітря, яке потім віддає енергію повітряній турбіні.

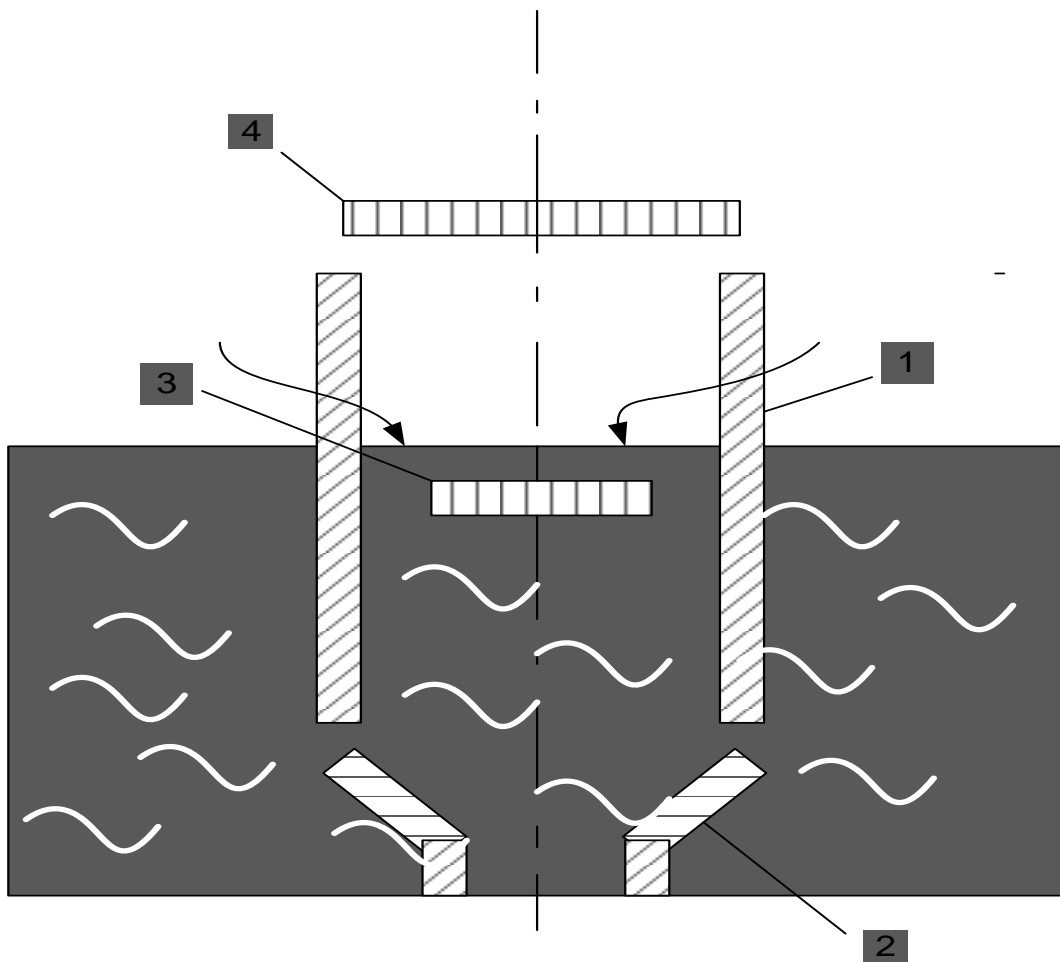


Рисунок 6.5 – Схема плавучої установки

Ідея колонки належить японському морському офіцеру Масуді, який винайшов плаваючий хвилеріз. Він довів, що коли хвилеріз зробити у вигляді перевернутої камери з отворами у верхній частині, то висота хвиль усередині буде значно меншою, ніж ззовні, оскільки хвиля вирівнюватиметься під дією потоків повітря, що проходять крізь отвори. Інтенсивні повітряні потоки постійно надходять у середину камери і виходять з неї внаслідок піднімання та опускання колони.

За цим принципом сьогодні працюють плавучі установки, які використовуються для буїв різного призначення. Схему такої установки показано на рис. 6.5.

В її камері 1, яка має дискову опору 2, міститься турбіна 3. з'єднана з електрогенератором 4. Коли проходить хвиля, камера намагається піднятися разом із нею. Опора перешкоджає цьому й таким чином забезпечує інтенсивне

проникнення води всередину камери. Стовп води витісняє повітря із середини камери крізь сопловий апарат на лопаті турбіни. Після проходження хвилі, вода виходить з камери, а її місце знову займає повітря. Потім цикл повторюється.

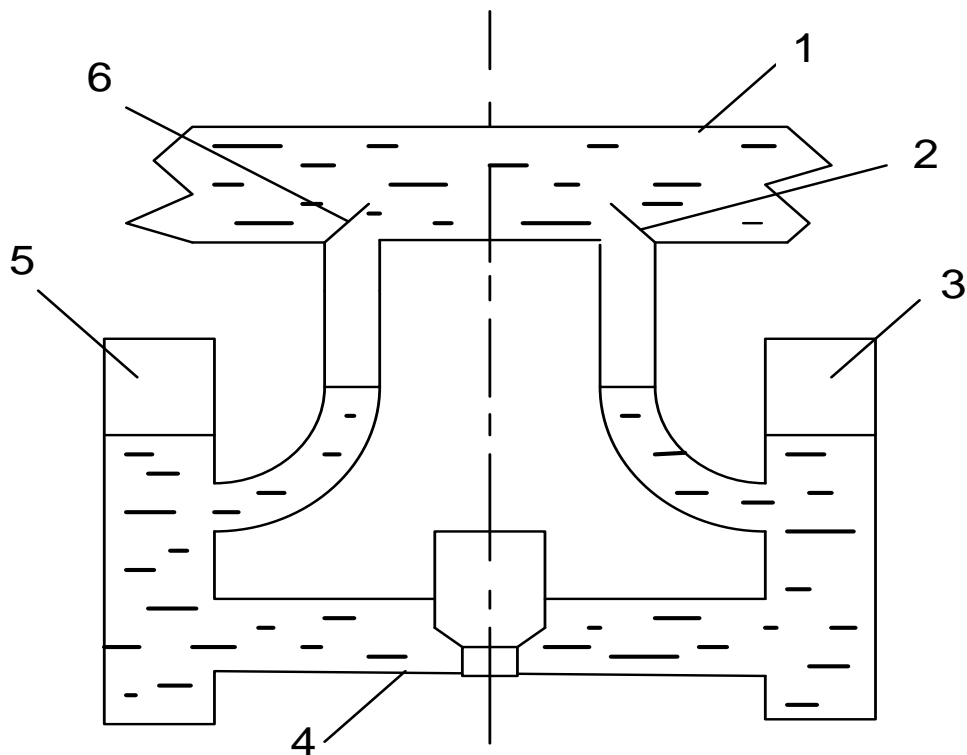


Рисунок 6.6 – Схема установки для використання зміни гідростатичного тиску в товщі води при хвилюванні

Досить оригінальний і простий пристрій запропоновано в Японії для використання змін гідростатичного тиску в товщі води при її хвилюванні. У морі, де ці зміни найбільш помітні, розміщують установку (рис. 6.6), яка складається з трьох камер 1, 3 і 5, з'єднаних між собою через клапани 2, 6 і робочий канал 4. У верхній частині камер 3 і 5 міститься газ, решту простору заповнено струмопровідною рідиною. Якщо канал 4 з'єднати, наприклад, з магнітогідродинамічним генератором, то при зміні тиску навколишнього середовища в каналі почне переміщуватися магнітопровідна рідина, що призведе до появи різниці потенціалів на електродах. Така установка може бути дуже зручною для вимірювання тиску та отримання енергії невеликої потужності [39].

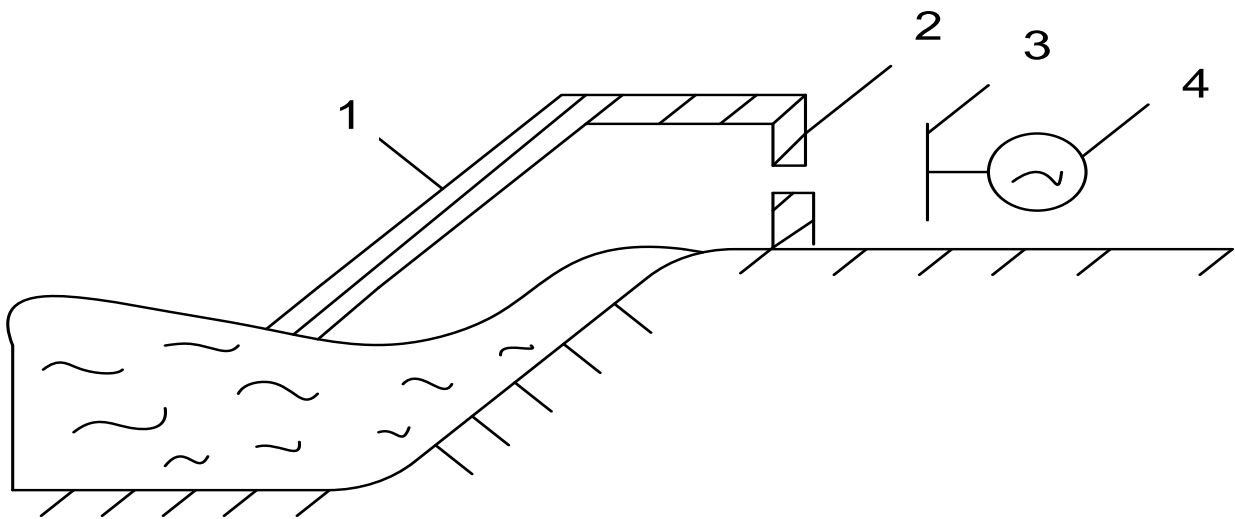


Рисунок 6.7 – Схема прибіної електростанції

На рис. 6.7 показана схема побудованої в Японії прибіної електростанції потужністю 50 кВт. Принцип її роботи приваблює своєю простотою і майже повною відсутністю рухомих частин. Хвиля, яка падає під козирок 1, стискає повітря й жене його крізь сопловий канал 2 до турбіни 3, яка приводить в дію електрогенератор 4.

Усім цим умовам відповідає багатоступінчастий хвилевий насос, схему якого наведено на рис. 6.9. Одна його ступінь вміщує гофрований патрубок 1, вихідний клапан 2, демпфугачий резервуар 3, вихідний клапан 4 і тонкий гнучкий лист 5, який вертикально входить у воду. За допомогою хвелевого насоса здійснюється перетворення кінетичної та потенціальної енергії на направлений рух рідини. Подальше перетворення кінетичної енергії рідини, що рухається, на електроенергію відбувається за допомогою гідравлічних турбін, які обертають електрогенератор [40].

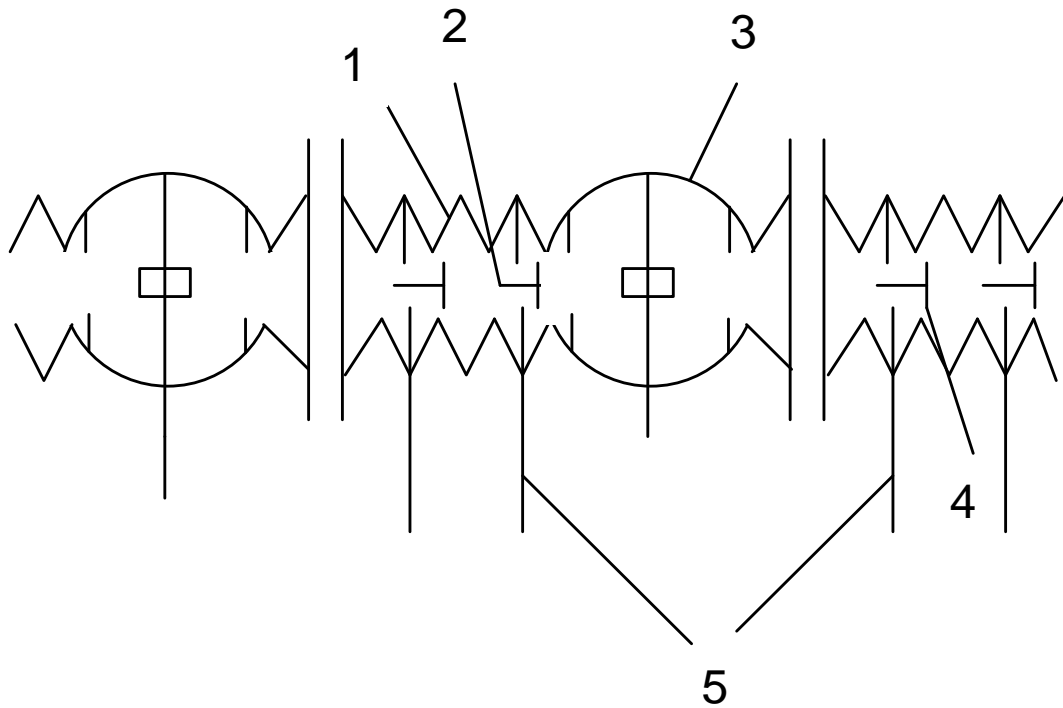


Рисунок 6.8 – Схема багатоступінчатого хвильового насоса

У Данії, Норвегії та Швеції станції розташовано на плотах, з'єднаних з насосом, який починає працювати, коли хвилі діють на пліт. Тут використано великий насос, що міститься на дні моря. Поршень насоса з'єднується з плотом за допомогою еластичного дроту. Коли хвилі підіймають пліт, поршень піднімається, вода проходить крізь заповнений блок генератора турбіни, виробляючи електроенергію. Коли хвиля спадає, поршень опускається, витискаючи своєю вагою воду через клапани.

6.2.1 Енергія хвиль та припливів

Світовий технічний потенціал енергії хвиль оцінюється на рівні 11 400 терраватт-год на рік. Його відновлюваний потенціал на 1700 терраватт-годин на рік становить приблизно 10% світових потреб в електроенергії. Існують різні концепції генерації електрики з енергії хвиль, більшість з яких можуть бути класифіковані в три основні типи.

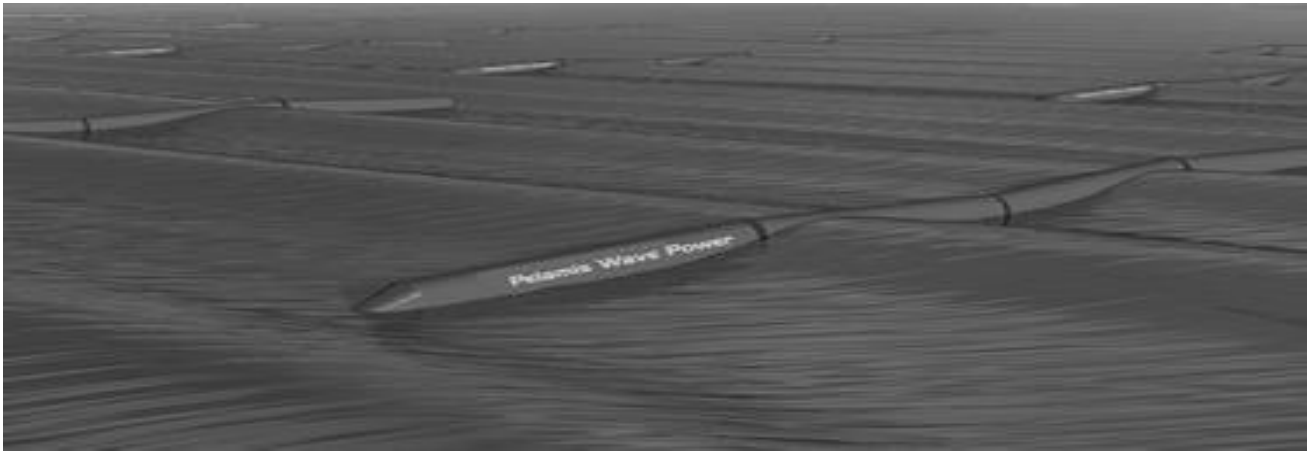


Рисунок 6.9 – Використання енергії хвиль

Принцип «осцилювання водяного стовпа» – дія хвилі змушує воду рухатися вгору і вниз в заповненій повітрям камері. Повітря витісняється через турбіну, яка генерує електрику. Перші пілотні хвильові електростанції такого типу були встановлені нещодавно в Португалії, Шотландії та Японії.

Принцип «коливного тіла» – хвильові електростанції цього типу використовують рух океанських хвиль для генерації електрики. У них використовуються напівзанурені генератори, на яких буйок рухається вгору-вниз або з боку в бік. Інші системи такого типу складаються з рухомих компонентів, що рухаються відносно один одного, створюючи гідравлічний тиск в маслі. Олія, у свою чергу, приводить в рух турбіну. Система 'Pelamis', перша в світі хвильова електростанція, була встановлена в 2008 році поблизу узбережжя Португалії і з'єднана з електролінією підводним кабелем. Подібні станції плануються до будівництва в Іспанії та Португалії.

Принцип «переливу» – як в дамбі, такі пристрої оснащені резервуаром, який заповнюється набігаючими хвилями до рівня вище рівня моря. Енергія падаючої води назад в океан використовується, щоб приводити в рух турбіну. Прототипи і плавучих, і стоячих систем такого типу вже були встановлені в Данії і Норвегії.

Дещо більшим від ресурсів гідроенергії є Світовий ресурс енергії морських хвиль та припливів.



Рисунок 6.10 – Використання енергії припливів

Електростанції, що працюють на енергії припливу, працюють за схожим принципом з гідроелектростанціями, відмінність в тому, що водяні маси не течуть вниз, але рухаються туди і назад з припливами і відливами. На відміну від інших форм морської енергії, енергія припливу вже використовується в комерційних цілях протягом деякого часу. Електростанція La Rance почала працювати в 1966р. в Сент Мало на Атлантичному узбережжя північної Франції, де річка LaRance впадає в море. При припливі вода спрямовується через великі турбіни електростанції, а при відливі тече назад. Електростанція, розрахована на 240 МВт, має потужність, подібну з газовою електростанцією. За останні 20 років типові станції були встановлені в Канаді, Китаї, Росії, незважаючи на значно менший розмір. У Великобританії планується будівництво великої електростанції на енергії приливу на річці Северн між Англією і Уельсом. Така станція може забезпечити до 7% потреб усієї Великобританії в електроенергії. Проте критики побоюються, що будівництво таких гребель може зруйнувати природні ресурси і середовище існування. Екологічна шкода може бути дуже значною. А тому на свіж рівнях обговорюються альтернативні концепції і райони розміщення.

Для України промислове використання цих ресурсів є проблематичним через замерзання Азовського і Чорного морів і відсутність територій для

побудови ГЕС. А стосовно припливів – через вкрай низький потенціал: припливна хвиля на Чорному морі не перевищує 10 см, а необхідна висота становить, як мінімум, 5 м.

Найбільша частка загальної енергії, що надходить у берегову зону, пов'язана з вітровими поверхневими хвилями. Енергія хвилі складається із двох видів – кінетичної (гідродинамічної) і потенціальної (гідростатичної). Кінетична (гідростатична) енергія хвиль складається з енергії частинок, що рухаються по орбітах (по колу). Потенціальна (гідростатична) – енергія маси води, піднятої над рівнем моря (океану), що залежить від перевищення гребеня хвилі над середнім рівнем моря. Теорія засвідчує, що ці два види енергії рівні, а разом пропорційні квадрату висоти і довжини хвилі, тобто приблизно кубу її лінійних розмірів. Формула складається із числового коефіцієнта, питомої ваги води і прискорення сили тяжіння.

Хвиля висотою 3 м переносить приблизно 100 кВт енергії на 1 м лінії гребеня. Розрахунки загального потоку хвильової енергії до берегів Світового океану, виконані В.П. Зенковичем (1980), засвідчують, що мінімальна його величина становить близько 3,1109 кВт. За обчисленнями Г.О. Саф'янова (1996) ця величина становить 4,7109 кВт. Другим за значенням джерелом енергії для гідродинамічних процесів, а також для переміщення наносів є припливні хвилі. Розсіювання їхньої енергії відбувається здебільшого в межах мілководдя. Розрахунки потоків припливної енергії біля океанічних берегів дають величину 2,7109 кВт. Постійні океанічні течії розсіюють на мілководді близько 0,2...109 кВт енергії. Інші джерела енергії виконують порівняно незначну роль у прибережних водах. Навіть найефективніші хвилі цунамі малозначимі, оскільки потужні цунамі з енергією в 51015 Дж трапляються 5 разів упродовж століття. Значно очевиднішою останніми роками стала роль краєвих та інфрагравітаційних хвиль, хоча можливість їхньої оцінки відсутня. Загальна оцінка розсіювання механічної енергії на мілководдя океану, на думку Г.О. Саф'янова (1996), становить 6109 кВт. Наведені наближені цифри яскраво засвідчують великі енергетичні ресурси берегової зони, яку сьогодні майже не використовують.

Перша у світі припливна турбіна комерційного масштабу SeaGen потужністю 1,2 МВт, що належить компанії Marine Current Turbines, розташована у Північній Ірландії. Припливна електростанція SeaGen нещодавно перетнула рубіж 2 мільйонів КВт·год електроенергії, які вона виробила та поставила до енергомережі Великобританії.

Припливна електростанція генерує стільки ж електроенергії як і морська вітрова турбіна із вдвічі більшою потужністю, однак виробництво електроенергії припливною електростанцією можна в повній мірі передбачити.

6.2.2 Енергія хімічних зв'язків газів, солей, мінералів тощо

У океані існує чудове середовище для підтримки життя, до складу якого входять живильні речовини, солі і інші мінерали. У цьому середовищі розчинений у воді кисень живить всіх морських тварин від самих маленьких до найбільших, від амеби до акули. Розчинений вуглекислий газ так само підтримує життя всіх морських рослин від одноклітинних діатомових водоростей до тих, що досягають висоти 200...300 футів (60...90 метрів) бурих водоростей. Морському біологу потрібно зробити лише крок вперед, щоб перейти від сприйняття океану як природної системи підтримки життя до спроби почати на науковій основі одержувати з цієї системи енергію.

За підтримкою військово-морського флоту США у середині 70-х років група фахівців у області дослідження океану, морських інженерів і водолазів створила першу в світі океанську енергетичну ферму на глибині 40 футів (12 метрів) під залитою сонцем поверхнею Тихого океану поблизу міста Сан-Клемент. Ферма була невелика. По суті своїй, все це було лише експериментом. На фермі вирощувалися гігантські каліфорнійські бурі водорості.

На думку директора проекту доктора Говарда А. Уїллокса, співробітника Центру дослідження морських і океанських систем в Сан-Дієго (Каліфорнія), до 50 % енергії цих водоростей може бути перетворено на паливо – в природний газ метан. Океанські ферми майбутнього, що вирощують бурі водорості на площі приблизно 100000 акрів (40000 га), зможуть давати енергію, якої вистачить, щоб

повністю задовольнити потреби американського міста з населенням в 50000 чоловік [65].

В океані розчинено величезну кількість солей. Чи може солоність бути використана, як джерело енергії? Може. Велика концентрація солі в океані націлило ряд дослідників Ськріппського океанографічного інституту в Ла-Колла (Каліфорнія) і інших центрів на думку про створення таких установок.

Вони вважають, що для отримання великої кількості енергії є можливість сконструювати батареї, в яких відбувалися б реакції між солоною і несолоною водою.

Літаки і легкові автомобілі, автобуси і вантажівки можуть приводитися в рух газом, який можна добувати з води. Цей газ – водень, і він може використовуватися як пальне. Водень – один з найбільш поширених елементів у Всесвіті. У океані він міститься в кожній краплі води. Формула води означає, що молекула води складається з двох атомів водню і одного атома кисню. Одержаний з води водень можна спалювати як паливо і використовувати не тільки для того, щоб приводити в рух різні транспортні засоби, але і для отримання електроенергії.

Все більше число хіміків і інженерів з ентузіазмом відноситься до "водневої енергетики" майбутнього, оскільки одержаний водень достатньо зручно зберігати: у вигляді стиснутого газу в танкерах або в зрідженому вигляді в криогенних контейнерах при температурі - 423 °F (-252,8 °C).

Його можна зберігати і в твердому вигляді після з'єднання з залізо-титановим сплавом або з магнієм для утворення металевих гідридів.

Після цього їх можна легко транспортувати і використовувати в міру необхідності.

Ще в 1847 році французький письменник Жюль Верн, що випередив свій час, передбачав виникнення такої водневої економіки. У своїй книзі "Таємничий острів" він передбачав, що в майбутньому люди будуть використовувати воду як джерело для отримання палива. "Вода, – писав він, – забезпечить нескінченні запаси тепла і світла".

У 60-і роки фахівцям США з НАСА вдалося так успішно здійснити процес

електролізу води і забезпечити ефективне збирання та зберігання водню, що вивільняється, а потім одержаний таким чином водень успішно використовувався під час польотів за програмою "Аполон".

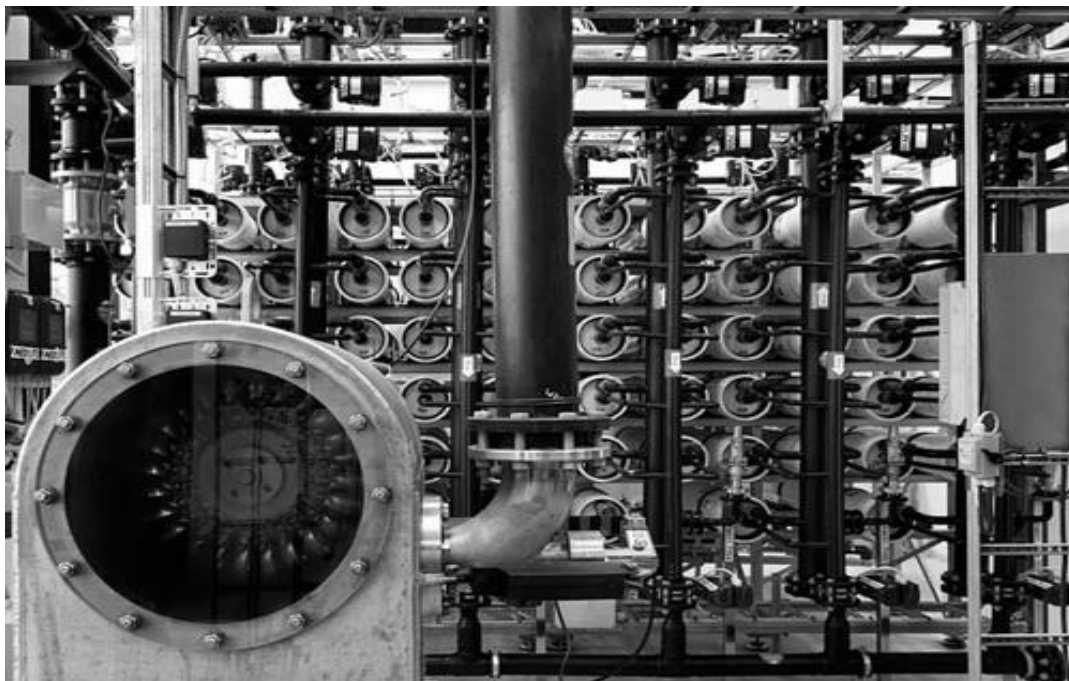


Рисунок 6.11 – Осмотична електростанція

Осмотична електростанція – зовсім новий вид генерації енергії. В ній використовується осмотичний тиск, який виникає між солоною і прісною водою, при його зростанні, в подвійній камері, яка розділяється спеціальною напівпроникною мембраною. Технологія застосування осмотичних електростанцій все ще перебуває на самому початку свого розвитку. У 2009р. члени норвезького синдикату побудували першу в світі осмотичну електростанцію в Осло. Завод був спроектований і побудований спеціально, щоб розвивати цю технологію, в даний час він генерує всього декілька кіловат електроенергії. Але значний потенціал світового виробництва електроенергії з осмотичного процесу в майбутньому може забезпечити вироблення до 2000 терават-годин в рік електричної енергії.

6.2.3 Прихована енергія течій у різних частинах морів та океанів

Величезні кількості енергії можна отримати від морських хвиль. Ідея

отримання електроенергії від морських хвиль була викладена ще в 1935 р. радянським ученим К.Е. Ціолковським. В основі роботи хвильових енергетичних станцій лежить вплив хвиль на робочі органи, виконані у вигляді поплавків, маятників, лопаток, оболонки і т.п. Механічна енергія забезпечить переміщення робочих органів хвильової електростанції, яке приведе в рух електрогенератор за його допомогою перетворюється механічна енергія на електричну.

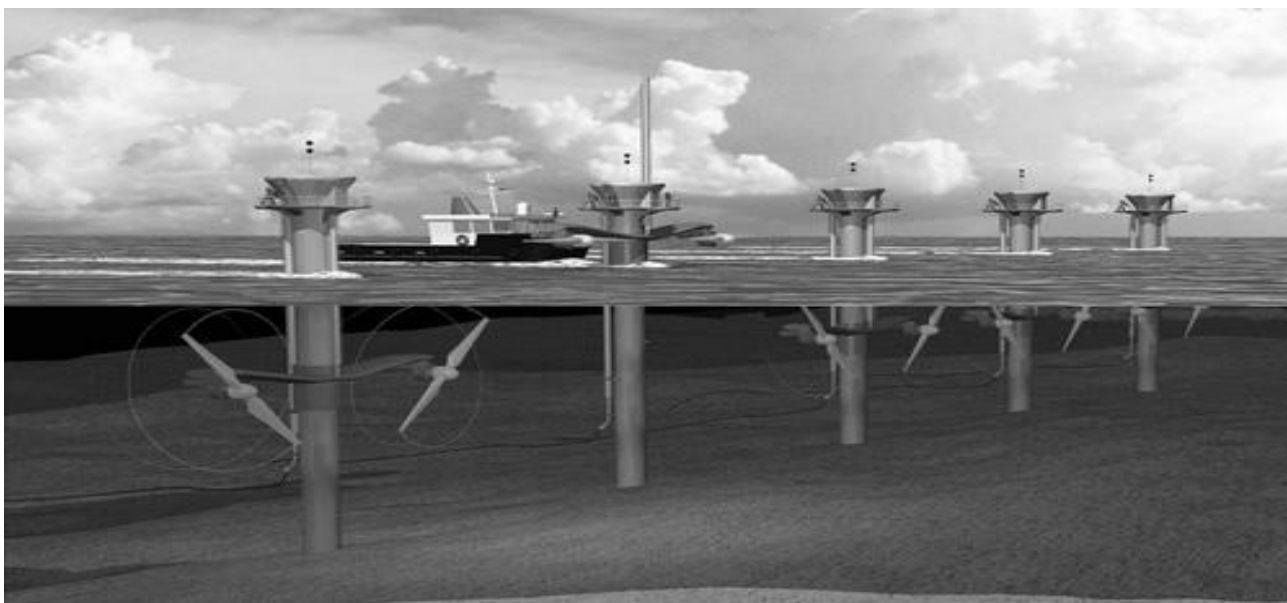


Рисунок 6.12 – Використання енергії течій

У цьому класі перетворювачів енергії зупинимося, в першу чергу, на розробці професора Едінбурзького університету Стефана Солтера, названої на честь творця, "качки Солтера". Технічна назва такого перетворювача – нестійке крило. Форма перетворювача забезпечує максимальне вилучення потужності.

Хвилі, що надходять зліва, змушують "качку Солтера" коливатися. Циліндрична форма протилежної поверхні забезпечує відсутність поширення хвилі направо при коливаннях "качки Солтера" навколо осі. Потужність може бути знята з осі коливальної системи з таким розрахунком, щоб забезпечити мінімум відтворення енергії. Відтворюючи і пропускаючи лише незначну частину енергії хвиль (приблизно 5%), цей пристрій має досить високу ефективність перетворення в широкому діапазоні частот збуджувальних коливань.

Інший варіант хвильового перетворювача з хитним елементом – контурний

пліт Коккерелла. Його модель також в 1/10 величини випробовувалася в тому ж, що і "качка Солтер", в протоці Солент поблизу м. Саутгемптона. Контурний пліт – це багатоланкова система з шарнірно з'єднаних секцій. Як і "качка", він встановлюється перпендикулярно до фронту хвилі і відстежує її профіль. Детальні лабораторні випробування моделі плоту в масштабі 1/100 показали, що його ефективність становить близько 45%. Це нижче, ніж у "качки Солтера" (але пліт має іншу перевагу: близькість конструкції плоту до традиційних суднобудівних конструкцій). Виготовлення таких плотів не передбачає створення нових промислових підприємств але дозволить збільшити зайнятість населення в суднобудівній промисловості.

Крім того, існують перетворювачі, що використовують енергію коливного водяного стовпа. 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 напрямку, або може бути використана турбіна Уеллса. Вже відомі, принаймні, два приклади комерційного використання пристроїв на цьому принципі – сигнальні буї, впроваджені в Японії в порті Масуд і у Великобританії співробітниками Королівського університету Белфаста. Більш великий і вперше включений в електромережу пристрій побудований в Тофтестоллені (Норвегія) фірмою Kvaerner Brug A / S. Головна перевага пристроїв на принципі водяного коливного стовпа 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 безпосереднього впливу солоної морської води. Переваги підводних пристроїв полягають у тому, що ці пристрої дозволяють уникнути штормового впливу на перетворювачі.

В даний час хвильові установки використовуються для енергоживлення автономних буїв, маяків, наукових приладів. Попутно великі хвильові станції

можуть бути використані для хвилезахистних морських бурових платформ, відкритих рейдів, морекультурних господарств. Почалося промислове використання хвильової енергії. У світі вже близько 400 маяків і навігаційних буїв отримують живлення від хвильових установок. В Індії від хвильової енергії працює плавучий маяк порту Мадрас. У Норвегії з 1985 р. діє перша у світі промислова хвильова станція потужністю 850 кВт. Датська компанія Wave Star Energy змонтувала експериментальну установку в Північному морі біля мису Ханстхольм на північному заході країни. Клімат тут суворий, сильні вітри і високі хвилі – явище цілорічне і, практично, постійне. Сама установка являє собою довгасту металеву конструкцію на чотирьох опорах, з одного боку платформи виступають два важелі, до кінців яких прикріплені величезні округлі поплавці діаметром 5 метрів. Поплавці виготовлені зі скловолокна. У робочому положенні вони опущені на воду і розгойдуються хвилями, що змушує важелі переміщатися вгору-вниз. Кожен з важелів з'єднаний з гідравлічним циліндром, і через гідроциліндри рух поплавців передається, в кінцевому рахунку, на вал електрогенератора. Кожен з поплавців здатний виробляти від 25 до 50 кВт електроенергії – в залежності від висоти хвиль. Створення хвильових електростанцій визначається оптимальним вибором акваторії океану зі стійким запасом хвильової енергії, ефективною конструкцією станції, в яку вбудовані пристрої згладжування нерівномірного режиму хвилювання води. Вважається, що ефективно хвильові станції можуть працювати при використанні потужності близько 80 кВт/м. Досвід експлуатації існуючих установок показав, що електроенергія, яка виробляється, поки що в 2-3 рази дорожче традиційної, але в майбутньому очікується значне зниження її вартості.

Невичерпні запаси кінетичної енергії морських течій, накопичені в океанах і морях, можна перетворювати на механічну і електричну енергію за допомогою турбін, занурених у воду (подібно вітрякам, "зануреним" в атмосферу). Важливою перевагою океанських течій в якості джерел енергії, в порівнянні з вітровими потоками, є відсутність різких змін швидкості (порівняйте зі змінами швидкості при поривах вітру, при ураганах і т.п.). При достатньому заглибленні в товщу

води турбіни ОГЕС надійно захищені від хвиль і штормів на поверхні. Сучасний рівень техніки дозволяє одержувати енергію течій при швидкості потоку більше 1 м / с. При цьому потужність від 1 кв. м поперечного перерізу потоку становить близько 1 кВт.

Для ефективного використання течій в енергетиці необхідно, щоб вони мали певні характеристики. Зокрема, потрібні досить високі швидкості потоків, стійкість по швидкості і напрямку, зручна для будівництва та обслуговування географія дна і узбережжя. Відстань від узбережжя впливає на подорожчання транспортування енергії та обслуговування цих станцій, як, втім, і будь-яких інших. Великі глибини вимагають збільшення витрат на спорудження та обслуговування якірних систем, які можуть створювати перешкоди судноплавству. Саме географічні чинники не дозволяють зараз говорити про будівництво ОГЕС у відкритому океані, де несуть свої води найбільш потужні течії. При середніх і малих глибинах, особливо в місцях утворення припливних течій, важливу роль відіграє топографія дна.

Як недоліки перетворювачів енергії океанських течій можна назвати наступні: 1) необхідність створювати і обслуговувати гігантські конструкції в морській воді, 2) схильність цих конструкцій обростанню і корозії, 3) труднощі в передачі енергії на материк.

Перспективним може бути використання таких потужних течій, як Гольфстрім і Куросіо, що несуть відповідно 83 і 55 млн. куб. м/с води зі швидкістю до 2 м/с, і Флоридської течії (30 млн. куб. м/с, швидкість до 1,8 м/с). Значний науковий інтерес направлений на вивчення течії в протоках Гібралтарській, Ла-Манш, Курильських островах. В даний час у ряді країн, в першу чергу в Англії, ведуться інтенсивні роботи по використанню енергії морських хвиль. Британські острови мають дуже довгу берегову лінію, у багатьох місцях море залишається бурхливим протягом тривалого часу. За оцінками вчених, за рахунок енергії морських хвиль в англійських територіальних водах можна було б отримати потужність до 120 ГВт, що удвічі перевищує потужність усіх електростанцій, що належать Британському Центральному

електроенергетичному управлінню. Один з проєктів використання морських хвиль заснований на принципі коливного водяного стовпа. У гігантських "коробах" без дна і з отворами вгорі під впливом хвиль рівень води то піднімається, то опускається. Стовп води діє на зразок поршня: засмоктує повітря і нагнітає його в лопатки турбін. Головну складність тут викликає узгодження інерції робочих коліс турбін з кількістю повітря в коробах, так щоб за рахунок інерції зберігалася постійною швидкість обертання турбінних валів в широкому діапазоні умов на поверхні моря. Але створення океанських електростанцій на енергії течій пов'язано поки з рядом технічних труднощів, насамперед із створенням енергетичних установок великих розмірів, що становлять загрозу судноплавству [49].

Як джерело енергії, розглядаються і підводні океанічні течії, однак їх занадто низька швидкість не дозволяла будувати турбінні станції, які виробляли б достатню кількість енергії. Але якщо відійти від ідеї стандартної обертової турбіни, з'являється новий цікавий спосіб використовувати енергію течій, а саме, замінити енергію обертання на енергію коливань. Ідея прийшла в голову професору Майклу Бернітасу, під час досліджень можливості зменшення енергії течій, коливання від якої можна зруйнувати мости, пошкодити корабельні доки, розгойдувати нафтовидобувні платформи. Концепція VIVACE дозволяє використовувати будь-які, навіть самі повільні течії. Швидкість, необхідна звичайним станціям для ефективного вироблення енергії, дорівнює 9 км/год, VIVACE ж достатньо 3 км/год або 2 морських вузла, а це швидкість більшості підводних течій нашої планети. Якщо помістити в потік навіть слабкої течії циліндричний предмет, вода, обтікаючи його, буде утворювати вихори. Через незначні нерівномірності потоку, вихори з різних сторін не будуть однакові а це змусить предмет коливатися. За аналогічним принципом плаває більшість існуючих риб. Вони згинають своє тіло так, щоб утворювалися вихрові потоки по обидві сторони, щоб вони не врівноважували один одного, а різницю утвореного тиску використовують для руху вперед. Неможливо було б добитися такої швидкості руху, якби вони використовували лише силу своїх м'язів. Робоча

частина приладу являє собою циліндр, приєднаний до пружини. Під дією течії води (мінімальна швидкість, на якій відбуваються коливання – 2,7 км / год) циліндр відхиляється то в одну сторону, то в іншу, і ці механічні коливання перетворюються в електрику. З таких циліндрів може бути складена сукупність циліндрів, регулюючи розміри яких можна регулювати кількість виробленої енергії. У наступній версії планується максимально скористатися тим, що вже дала природа, і зробити прилад більш схожим на рибу – він буде мати щось на зразок хвоста і потовщени в середині основну його частину. Це дозволить йому створювати більш часті коливання і, як наслідок, виробляти більше енергії.

Перспективи електростанції VIVACE досить перспективні. Бернітсас підрахував, що вартість виробленої за допомогою його станції електрики не перевищить 0,05 цента за кВт · год (для порівняння: вартість енергії, яку отримують з вітряків – 0,069 кВт·год, а з сонячних батарей – від 0,16 кВт·год до 0,48 кВт·год, в залежності від їх розташування). Така станція повністю розташована під водою, тому не займає корисну площу на суші. Вона абсолютно екологічна, оскільки не виробляє викидів у воду, а через порівняно низьку швидкість коливань не зможе заподіяти шкоди ні риbam, ні навіть плавцям [51].

6.2.4 Різниця температур води на поверхні та в глибині, а також перетворення її на традиційні види енергії

Температура води океану в різних місцях різна. Між тропіком Рака і тропіком Козерога поверхня води нагрівається до 82 градусів за Фаренгейтом (27,8 °C). На глибині в 2000 футів (600 метрів) температура падає до 35, 36, 37 або 38 градусів за Фаренгейтом (1,7...3.3 °C). Виникає питання: чи є можливість використовувати різницю температур для отримання енергії? Могла б теплова енергоустановка, пливуча під водою, виробляти електрику? Так, і це можливо.

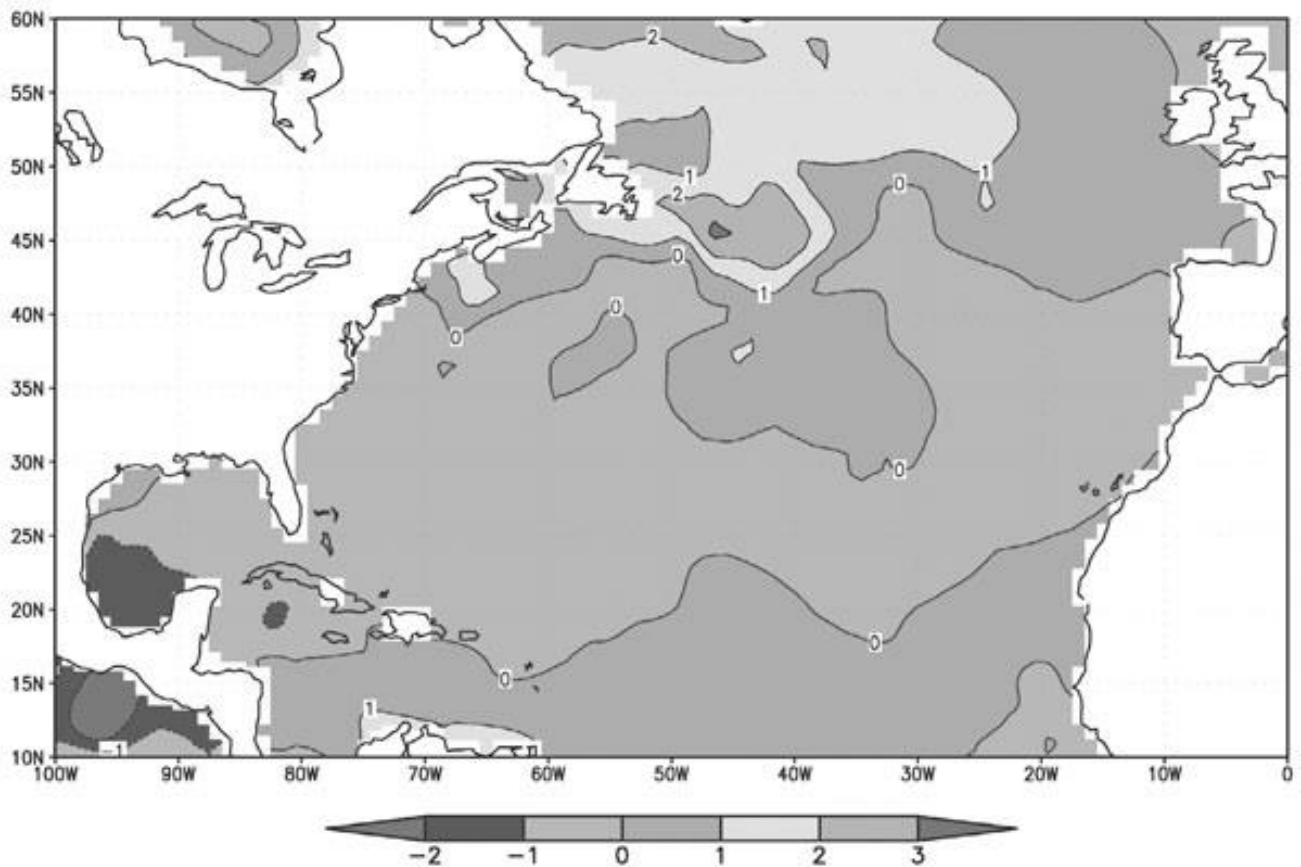


Рисунок 6.13 – Карта різниці температур води на поверхні океану

У далекі 20-ті роки нашого століття Жорж Клод, обдарований, рішучий і дуже наполегливий французький фізик, вирішив дослідити таку можливість.

Вибравши ділянку океану поблизу берегів Куби, він зумів-таки після серії невдалих спроб, створити установку потужністю 22 кВт. Це стало великим науковим досягненням і було підтримано багатьма вченими [67].

Використовуючи теплу воду на поверхні океану і холодну на його глибині та створивши відповідну технологію вироблення електричної енергії, людство одержати все необхідне для виробництва електроенергії, запевняли прихильники використання теплової енергії океану. "Згідно з нашими оцінками, в цих поверхневих водах є запаси енергії, які в 10 000 разів перевищують загальносвітову потребу в ній".

Зараз набувала великої уваги "океанотермічна енергоконверсія" (ОТЕК), тобто отримання електроенергії за рахунок різниці температур між поверхневими і глибинними океанськими водами, наприклад при використанні в замкнутому

циклі турбіни таких легкокипарованими рідинами як пропан, фреон або амоній.

Останні десятиліття характеризуються певними успіхами у використанні теплової енергії океану. Так, створені установки міні-ОТЕС і ОТЕС-1 (ОТЕС початкові букви англійських слів Ocean Thermal Energy Conversion, тобто перетворення теплової енергії океану). У серпні 1979 р. поблизу Гавайських островів почала працювати теплоенергетична установка міні-ОТЕС. Пробна експлуатація установки протягом трьох з половиною місяців показала її достатню надійність. Її повна потужність складала в середньому 48,7 кВт, максимальна – 53 кВт; в той же час 12 кВт (максимум 15) установка віддавала в зовнішню мережу на корисне навантаження, а саме, на зарядку акумуляторів. Решта потужності, що виробляється, витрачалася на власні потреби установки. В їх число входять витрати енергії на роботу трьох насосів, втрати в двох теплообмінниках, турбіні і в генераторі електричної енергії.

Три насоси були потрібні з наступного розрахунку: один – для подачі теплої води з океану, другий – для підкачки холодної води з глибини близько 700 м, третій – для перекачування вторинної робочої рідини усередині самої системи, тобто з конденсатора у випарник. В якості вторинної робочої рідини застосовується аміак.

Установка міні-ОТЕС змонтована на баржі. Під її днищем поміщений довгий трубопровід для забору холодної води. Трубопроводом служить поліетиленова труба довжиною 700 м з внутрішнім діаметром 50 см. Трубопровід прикріплений до днища судна за допомогою особливого затвору, що дозволяє у випадку необхідності його швидко від'єднання. Поліетиленова труба одночасно використовується і для зякорювання системи «труба-судно». Оригінальність подібного рішення не викликає сумнівів, оскільки якірні установки для розроблюваних нині більш потужних систем ОТЕС є досить серйозною проблемою.

Вперше в історії техніки установка міні-ОТЕС змогла віддати в зовнішнє навантаження корисну потужність, одночасно перекинувши її власні потреби. Досвід, отриманий при експлуатації міні-ОТЕС, дозволив швидко побудувати

більш потужну теплоенергетичну установку ОТЕС-1 і приступити до проектування більш потужних систем подібного типу.

Нові станції ОТЕС на потужність у багато десятків і сотень мегават проектуються без судна. Це являє собою одну величезну трубу, у верхній частині якої знаходиться круглий машинний зал, де розміщені всі необхідні пристрої для перетворення енергії. Верхній кінець трубопроводу холодної води розташовується в океані на глибині 25...50 м. Машинний зал проектується навколо труби на глибині близько 100 м. Там будуть встановлені турбоагрегати, що працюють на парах аміаку, а також все інше обладнання. Маса всієї споруди перевищує 300 тис. т. Труба-монстр, яка опускається, майже на кілометр в холодну глибину океану, а в її верхній частині розміщена конструкція на зразок маленького острівця. А отже непотрібно ніякого додаткового судна, крім, спеціальних суден, необхідних для обслуговування станції і для зв'язку з берегом.

Наукове та конструктивне обґрунтування запропонованих океанських енергетичних установок можуть бути реалізовані найближчим часом, і стати рентабельними при використанні.

6.3 Екологічні наслідки розвитку малої гідроенергетики

При перетворенні будь-яких видів океанічної енергії неминучі певні зміни природного стану порушених екосистем.

До негативних наслідків роботи установок, що використовують термальну енергію океану, можна віднести можливі витіки в океан аміаку, пропану або фреону, а також речовин, що застосовуються для промивання теплообмінників (хлор і ін). Можливе значне виділення вуглекислого газу, що піднімається на поверхню холодних глибинних вод через 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, які використовують органічне паливо. Охолодження вод океану викликає збільшення вмісту поживних речовин в поверхневому шарі і значний ріст фітопланктону. При підйомі до поверхні океану, глибинні

мікроорганізми будуть забруднювати океан і доведеться застосовувати спеціальні заходи для його очищення.

Будівництво ПЕС може несприятливо впливати на стан прибережних земель, самого узбережжя вздовж берегових смуг: змінюються умови підтоплення, засолення, розмиву берегів, формування пляжів і т. д. Зміна руху ґрунтових вод значно впливає на динаміку засолення прибережних земель.

На ПЕС в КНР вивчені закономірності відкладення на поверхні дна залишкових предметів і речовин (наносів) як у водосховище ПЕС так і за її греблею, а також заходи по боротьбі з ними. Експлуатації ПЕС «Ране» у Франції показала, що прийнята в її проекті однобасейнова схема двосторонньої дії, максимально зберігає стан навколишнього середовища при різних циклах коливань басейну і гарантує тим самим екологічну безпеку припливної енергії [51, 55].

Використання енергії хвиль на глибоководних місцях у відкритому океані позначається на процесах в акваторії океану. Перетворювачі енергії хвиль, розміщені далеко від берега, і практично не проявляють негативної дії на стійкість узбережжя океану.

При розміщенні перетворювачів енергії хвиль поблизу узбережжя, виникають проблеми естетичного характеру, так як їх видно з берега. Ланцюжок пристроїв типу пірнаючих «качок Солтера» довжиною в кілька кілометрів виглядає естетично менш привабливо, ніж група обґрунтовано розміщених перетворювачів енергії. Крім того, безперервна лінія перетворювачів енергії, на відміну від окремо розташованих установок, може стати перешкодою для навігації й виявитися небезпечною для суден під час сильних штормів.

Одним з важливих питань впливу на навколишнє середовище від перетворення енергії хвиль в прибережній зоні, є вирішення мінімізації їх впливу на процеси в її межах. Необхідно передбачити умови для стабілізації берегової смуги, тобто балансу між ерозією і відкладеннями.

Несприятливі екологічні наслідки гідротермальної енергетики:

– 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 збурень;
- зміна клімату.

Несприятливі екологічні наслідки припливної енергетики:

- періодичне затоплення прибережних територій, зміна землі користування в районі ПЕС, флори і фауни акваторії;
- будівельне замуління води, поверхневі скиди забруднених вод.

Несприятливі екологічні наслідки хвильової енергетики:

- ерозія узбережжя, зміна руху прибережних пісків;
- значна матеріаломісткість;
- зміна сформованих судноплавних шляхів вздовж берегів;
- забруднення води в процесі будівництва, поверхневі скиди.

6.4 Типовий розрахунок турбіни Пельтона

Задача

Визначити ефективну потужність турбіни Пельтона, діаметр та кутову швидкість обертання колеса турбіни, швидкість потоку, нехтуючи тертям, якщо на турбіну падає потік води з напором $H=15\text{м}$ і витратою води $V=0,03\text{м}^3/\text{с}$, а коефіцієнт корисної дії турбіни $\eta=0,9$, густина води $\rho_v=1000\text{кг}/\text{м}^3$, прискорення вільного падіння $g=9,80665\text{м}/\text{с}^2$, коефіцієнт швидкохідності колеса турбіни $\xi=0,2$.

Розв'язання

1. Обчислимо швидкість потоку води за формулою:

$$v_i = \sqrt{2gH},$$

$$v_{ii} = \sqrt{2 \cdot 9,80665 \cdot 15} \approx 17,2 \frac{\text{м}}{\text{с}}.$$

2. Розрахуємо ефективну потужність турбіни Пельтона за формулою:

$$N_{\text{еф}} = g \cdot \rho_v \cdot V_{\text{min}} \cdot H \cdot \eta,$$

$$N_{\text{эф}} = 9,80665 \cdot 10^3 \cdot 3 \cdot 10^{-2} \cdot 15 \cdot 0,9 \approx 3,97 \text{ кВт} \approx 4 \text{ кВт}.$$

3. Кутову швидкість обертання колеса турбоіни обчислимо за формулою:

$$\omega = \frac{\xi \cdot \rho_g \cdot (g \cdot H)^{1,25}}{N_{\text{эф}}^{0,5}},$$

$$\omega = \frac{0,2 \cdot \sqrt{1000} \cdot (9,80665 \cdot 15)^{1,25}}{\sqrt{3,97 \cdot 10^3}} \approx 51,4 \text{ с}^{-1}.$$

4. Обчислимо діаметру колеса турбіни за формулою:

$$D = \frac{2 \cdot v_n}{\omega},$$

$$D = \frac{2 \cdot 17,2}{51,4} \approx 0,7 \text{ м}.$$

Таким чином акцентуємо наступне:

1. Потенційні ресурси потужних ГЕС становлять до 4700 МВт. Потенційні ресурси (сумарні) малих річок України становлять близько 2400 МВт.
2. Оцінивши потенційні запаси малих та середніх річок України, розрахували можливість побудови понад 2300 малих і середніх ГЕС, які можуть виробити за середньо-водний рік близько 4 млрд. кВт·год електроенергії. Понад три чверті цих запасів припадає на річки Карпат.

Контрольні питання до розділу 6

1. Дайте визначення поняттю «мала гідроенергетика».
2. Які переваги та недоліки є у малої гідроенергетики?
3. Що являє собою мала гідроенергетика?
4. Яка специфіка малої гідроенергетики?
5. Який принцип дії пристроїв малої гідроенергетики?
6. Назвіть фізичних принцип роботи пристроїв малої гідроенергетики.
7. Наведіть приклади використання малої гідроенергетики в Україні.
8. Наведіть приклади використання малої гідроенергетики у світі.
9. Чи є перспективи розвитку малої гідроенергетики в Україні?

Розділ 7 Комплексне використання відновлювальних джерел і акумуляторів енергії

7.1 Загальні відомості, теоретичні положення впровадження, основні поняття, визначення

Альтернативна енергія від різних джерел, енергії Сонця, вітру, морської хвилі, припливів і відпливів, енергії річок та інших джерел, може бути об'єднана за допомогою гібридних систем альтернативної енергетики і працювати на загальне навантаження.

Ідея додавання, полягає в тому, що енергія від різних джерел, перетвориться в енергію стисненого повітря. Після чого, стиснене повітря, отримане від різних установок, надходить в загальну магістраль. На виході магістралі стиснутого повітря устанолюються пневмодвигуни, які перетворюють енергію стисненого повітря в механічну енергію.

На виході пневмодвигунів можна буде отримати як зворотньо-поступальний, так і обертальний рух. Використання гібридних систем, дозволить значно скоротити собівартість, вироблюваної енергії, а також скоротити вартість самих установок.

Одержувана таким способом механічна енергія, може бути використана, наприклад, для отримання тепла за допомогою гідродинамічних тепло генераторів, для роботи холодильних компресорів, з метою отримання холоду, для роботи електрогенераторів і для багатьох інших цілей.

Само по собі стиснене повітря, може бути використане для роботи верстатів та інструментів, для роботи гідронасосів, а також для роботи різних агрегатів.

Припустимо, нам потрібна установка, яка зможе об'єднувати енергію вітру і енергію морської хвилі, після чого цю сумарну енергію потрібно буде перетворити в електричну.

Для вирішення цього завдання, слід зібрати гібридну установку, до складу якої увійдуть вітрокомпресор (компресор, на валу якого встановлено вітроколесо) і пневмонасоси, які приводяться в рух за рахунок коливань морської хвилі.

Стиснуте повітря від вітрокомпресора і від пневмонасосів, через відповідні клапани подаватиметься в загальну магістраль, на виході якої встановлений пневмодвигун і електрогенератор.

При відсутності вітру, така установка буде працювати на енергії морської хвилі, а за відсутності морської хвилі установка працюватиме на енергії вітру.

Наведена в якості прикладу установка, крім енергії вітру і морської хвилі, може отримувати і об'єднувати енергію і від інших джерел. Наприклад, від енергії Сонця, енергії річки, геотермальної та інших видів енергії.

Тобто джерел енергії може бути багато, а установка всього одна. Основна ідея створення гібридних систем альтернативної енергетики і полягає якраз у тому, щоб сконцентрувати в собі якнайбільше різних джерел енергії.

Зрозуміло, дешевше зробити один агрегат на всі види енергії, ніж створювати на кожен вид енергії окрему установку. Тоді питання про вартість виробленої енергії, стає зайвим.

Для більшої переконливості доцільності використання вищевикладеного розглянемо, наприклад, енергію океану.

Морська хвиля має свою висоту і рухається з деякою швидкістю. Тобто, мається вже два види енергії, потенціальна енергія висоти хвилі і кінетична енергія її швидкості.

Для узбережжя Європи, ця сумарна енергія становить 50...90 кВт на 1 м фронту води, а на півдні Австралії доходить і до 100 кВт. Якщо ж хвилі немає, то є приливи і відливи, а це теж близько 13,5 кВт з кожного квадратного метра [44].

Можна використовувати як джерело енергії і глибоководні морські течії, і різницю температури між верхніми і нижніми шарами морської води. Робити на кожен вид енергії окремий агрегат, звичайно ж можна, тільки питається навіщо?

Тим більше, коли всі ці джерела енергії знаходяться практично в одному місці, чи не простіше всю цю енергію зібрати в одній гібридній установці.

7.2 Класифікація комбінованих джерел і акумуляторів енергії, основні характеристики

На рисунку 7.1 представлена класифікація комбінованих джерел енергії.

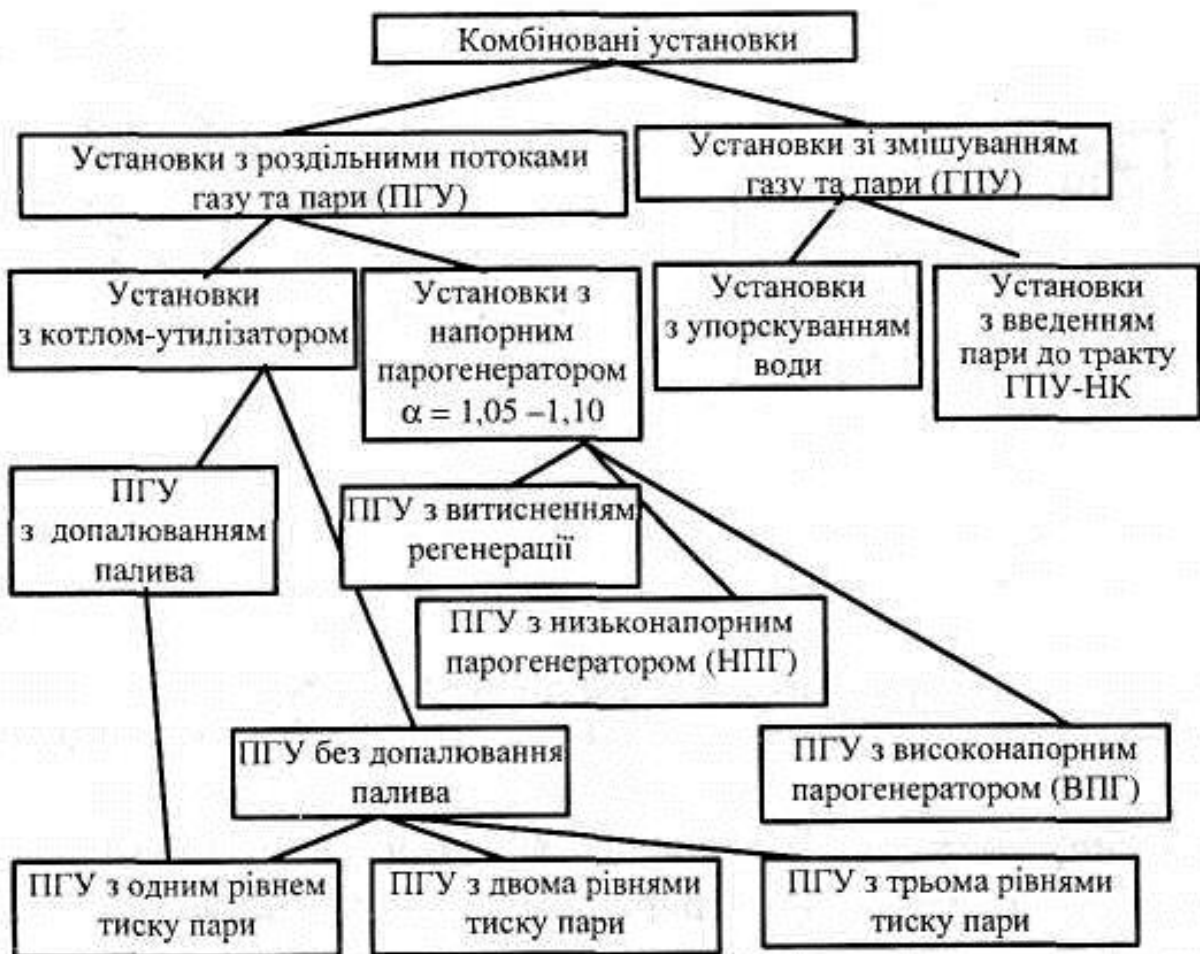


Рисунок 7.1 – Схема комбінованих установок

Використання одного з видів відновлювальних джерел енергії може бути пов'язане із нерівномірністю постачання енергії, що має природну основу (геліоенергетика, вітроенергетика). В деяких випадках рівень енергії відновлювального джерела недостатній для його прямого використання (вітроенергетика, геотермальна енергетика, фотоенергетика). В таких випадках доцільне комбіноване використання відновлювальних джерел, а також їх робота з акумуляторами енергії.

Таким чином, можливі варіанти комбінованих використань відновлювальних джерел і акумуляторів енергії, які можуть бути такими [33]:

- комбінація відновлювального джерела з традиційним джерелом енергії;
- комбінація відновлювального джерела енергії з акумулятором енергії;
- комбінація одночасного використання двох або трьох відновлювальних джерел енергії;
- комплексне використання відновлювальних джерел енергії декількох видів і різного роду акумуляторів енергії.

7.3 Комбінація нетрадиційних джерел з традиційними джерелами енергії.

Існує науково-практичний інтерес сполучення вітрової електростанції з гідроакumuлюючою. В даному випадку в години максимуму навантаження енергосистеми, обидві електричні станції віддають електроенергію в мережу. В інші години доби електрична енергія вітрової електростанції використовується для живлення насосів, що перекачують воду у верхній водозбірник. В останньому випадку забезпечується місцеве вироблення і споживання електричної енергії, що робить мінімальними втрати електричної енергії в мережах живлення. До того ж, вітрову електростанцію можна розташовувати по лінії водоймища, що пов'язано з більш інтенсивними потоками вітру в цьому місці, ніж на рівнинній поверхні.

Вітрові електростанції доцільно сполучати і з гідроелектростанціями, що утворюють штучні водосховища. В кожному водосховищі має місце мілководна частина, в якій доцільно було б розташовувати вітрову електростанцію, не використовуючи ділянки земельних угідь. До плюсів такої комбінації можна віднести можливість використання підвищувальної підстанції гідравлічної електростанції і ліній електричних мереж, що відходять від підстанції. Збільшення потужності існуючої підстанції і пропускної здатності мереж електропостачання значно дешевше, ніж споруда нової підстанції і ліній електропередач.

Оскільки робота ВЕС має ймовірний характер вироблення електроенергії, їх потрібно використовувати паралельно з певним акумулятором енергії або з іншим джерелом електроенергії (ГЕС, ТЕС, дизельна електростанція) для економії

палива, що приведе до поліпшення екологічної обстановки.

Спільну роботу вітроенергетичних установок і малих ГЕС можна застосувати як для одночасного вироблення електричної енергії, так і для використання енергії вітроустановки для підйому води у водосховищі. В останньому випадку використання енергії вітру буде нижче за рахунок втрат у насосах і турбінах ГЕС, але в даному випадку буде мати місце регулювання процесом вироблення електричної енергії.

В місцевостях, де відсутнє централізоване електропостачання (окремі фермерські господарства, лісгоспи, мисливські господарства тощо) доцільно використовувати комбінацію ВЕУ з дизель-генераторною установкою.

Для економічних розрахунків береться регіон із середньорічною швидкістю вітру 6 м/с, потужність дизель-генератора – 8 кВт, ВЕУ з установленою потужністю 8 кВт при розрахунковій швидкості вітру – 7,8 м/с. Під час роботи дизеля протягом року при номінальній потужності витрата дизельного палива становить приблизно 23 т, а при сумісній роботі з ВЕУ – 8 т. При вартості зекономленого палива приблизно 4 тис. дол. США і вартості ВЕУ 20...24 тис. дол. США тільки за рахунок економії палива термін окупності ВЕУ дорівнюватиме 5-6 років [12, 34].

Для більш глибокої економічної оцінки враховуємо всі експлуатаційні витрати за час експлуатації 25 років.

Вартість ВЕУ – приблизно 20 тис. дол. США, річні витрати на обслуговування ВЕУ полягатимуть у заміні масла в мультиплікаторі двічі на рік, при вартості однієї заміни приблизно 10 дол. США з врахуванням вартості масла. До того ж, за 25 років ймовірно доведеться змінити комплект лопатей вітроколеса, що коштує близько 5 тис. дол. США. При врахуванні додаткових витрат у розмірі 3 % вартості ВЕУ повні сумарні витрати по ВЕУ за 25 років становитимуть 26100 дол.США.

Вартість дизель-генераторної установки – 5600 дол. США, кількість робочих годин за 25 років – 150000 тис. год, ресурс дизеля до капітального ремонту – 16000 год. Таким чином, за 25 років треба провести не менше 8

капітальних ремонтів. Умовно вважається, що після капітального ремонту ресурс дизеля повністю відновлюється; вартість капітального ремонту – приблизно 3000 дол. США. Двигуни внутрішнього згоряння витримують не більше 3-4 капітальних ремонтів, тому за 25 років потрібна повна заміна дизель-генератора. При експлуатації через кожні 50 год роботи потрібна зупинка дизеля, заміна масла і змащення вузлів; річне обслуговування становитиме близько 1200 дол. США [60, 63].

Економія коштів при експлуатації ВЕУ сумісно з дизель-генератором досягається за рахунок економії палива і збільшення терміну служби дизеля. Загальний час роботи дизель-генератора становитиме 45 % загального часу роботи, з них тільки 15 % на повній потужності; тому в придбанні другої установки немає потреби.

Таким чином, рентабельність ВЕУ з розрахунковою швидкістю 7,8 м/с і дизель-генераторною установкою вже буде при середньорічній швидкості вітру вище 3,5 м/с. До недоліків цього способу комбінування можна віднести обмеження використання вітрового потенціалу ВЕУ при швидкостях вітру більше 8 м/с. Тому в цьому випадку, можливо, доцільнішою буде комбінація ВЕУ з акумуляторними батареями.

На рис. 7.2 зображено блок-схему автономної вітро-дизельної електричної установки. До складу силових елементів установки входить безредукторний вітроелектричний агрегат із синхронним магнітоелектричним генератором і дизельний агрегат із синхронним двигуном.

Установка працює таким чином. Електрична енергія, що виробляється вітроагрегатом (ВА), потрапляє на комутатор (К) і випрямляючу установку (ВУ), що забезпечує заряд акумуляторної батареї (АБ) і живлення інвертора (І). Інвертор формує трифазну напругу 230...400 В частотою 50 Гц, яка через блок переключення фідерів (БПФ) надходить на розподільвальний пристрій (РП) і далі до споживачів енергії (П). Якщо вироблення електроенергії від синхронного генератора (СГ) вітроагрегата стане нижче рівня споживання, включається дизельна станція (Д), режим якої регулюється датчиком напруги (ДН) і блоком

автоматики (БА).

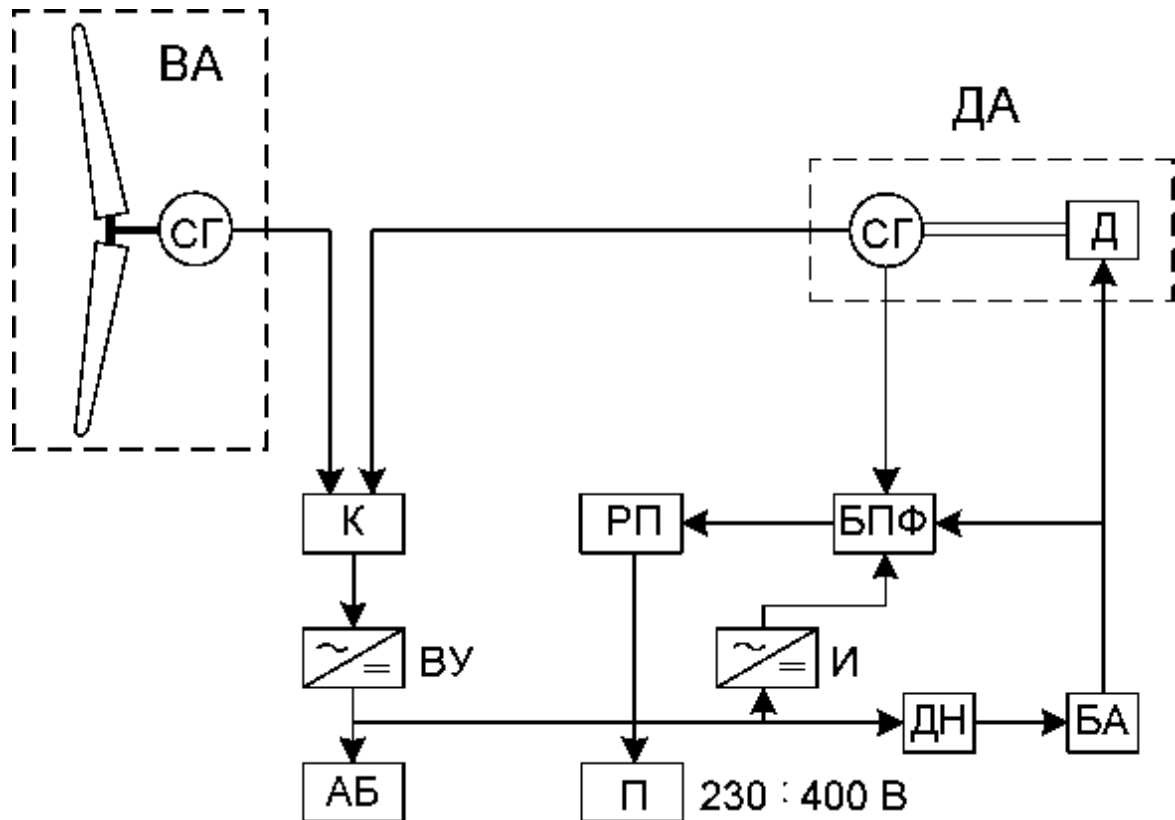


Рисунок 7.2 – Блок-схема автономної вітродизельної установки

Інтерес становлять гібридні фотоелектричні системи, в яких комбінуються фотоелектричні панелі та інші системи виробництва енергії, наприклад, генератор із двигуном внутрішнього згорання або газовою турбіною. Високу ефективність різних способів виробництва енергії у гібридних системах забезпечують більш складні, ніж в автономних системах, схеми керування. Завдяки додатковому джерелу енергії, фотоелектрична панель у гібридній системі може бути меншою, ніж в аналогічній автономній системі. Тому в деяких випадках гібридна система може коштувати менше.

7.4 Комбінація нетрадиційних джерел з акумуляторами енергії

В більшості випадків при використанні локальних відновлювальних джерел енергії для вироблення електричної і теплової енергії вони потребують наявності акумуляторів енергії.

Як сонячні батареї, так і вітрові агрегати мають добові коливання

вироблення електричної енергії, тому їх використання для локального вироблення електричної енергії здебільшого використовуються разом з електрохімічними акумуляторами.

Для акумулювання теплоти при використанні сонячних колекторів використовуються акумулятори фізичної теплоти, при цьому можуть використовуватися як добові, так і сезонні акумулятори.

Має великий інтерес вітроводнева станція, основними елементами якої є вітроелектричний агрегат та система акумулювання на основі водню. Система акумулювання має у своєму складі електролізну установку, обладнання для зберігання водню і кисню, а також обладнання для перетворення водню в електричну та теплову енергію. Як перетворювачі енергії водню в електричну енергію можуть використовуватися паливні водне-кисневі елементи та мотор-генератор. Для отримання теплової енергії водень спалюють. При застосуванні теплового акумулятора утилізується теплота електролізного процесу, що значно підвищує ККД системи акумулювання (приблизно на 30 %).

7.5 Комбінація одночасного використання декількох нетрадиційних джерел енергії

Значного поширення набуло одночасне використання вітроенергетичних і сонячних установок, при цьому розрізняються комбінація для вироблення електричної енергії і комбінація для отримання теплової енергії.

Одну із схем одночасного перетворення вітрової і сонячної енергії для отримання електричної енергії показано на рис. 7.3. Для вироблення постійного струму (рис. 7.3, а) вітроагрегат використовує генератор постійного струму з паралельним під'єднанням до фотобатарей. При виробленні змінного струму вітроагрегат має генератор змінного струму, а в колі фотобатарей використовується інвертор (рис. 7.3, б)

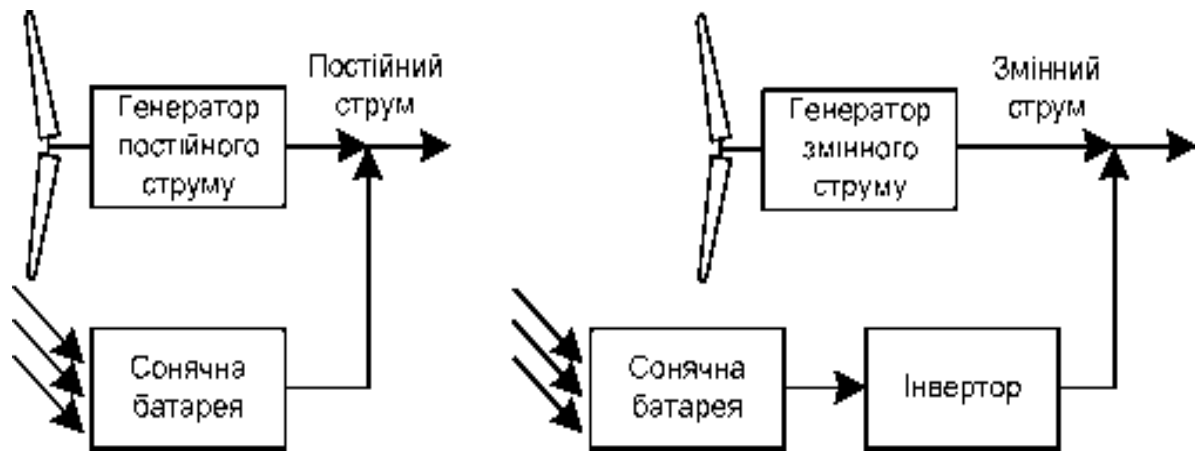


Рисунок 7.3 – Схема комбінованого використання вітроагрегатів і фото батарей для одержання постійного (а) і змінного (б) струму

При комбінованому використанні сонячних колекторів і вітроагрегатів для одержання теплової енергії вітроагрегати виробляють електричну енергію, яка використовується як додаткове джерело енергії для підігрівання води.

При комбінованому використанні вітрової і сонячної енергії для одержання теплової енергії, як джерело сонячної енергії використовуються сонячні колектори. Вітроагрегати використовуються для одержання електричної енергії, яка перетворюється в теплову енергію в додатковому нагрівачі. Одну зі схем такого комбінованого використання відновлювальних джерел для одержання теплової енергії подано на рис. 7.4. На ньому показано схему для опалення приміщень, але цю схему легко пристосувати і для гарячого водопостачання. В даному випадку в теплообмінник (5) треба вмонтувати додатковий трубопровід, по якому за допомогою ще одного насоса холодна вода подається в теплообмінник, нагрівається в ньому і подається на споживання.

Існує значний інтерес до електроенергетичної установки, в якій сонячна енергія підсилює потік повітря, що існує в конструкції, за рахунок різного тиску на поверхні землі та верхньої частини конструкції. Цей потік спрямований від землі під кутом 90° вгору. Конструкція електроенергетичної установки має гіперболоїдну форму, і в місці найбільшого звуження встановлено повітряний двигун, який і виробляє електричний струм. Більша частина конструкції виконана

прозорою для проникнення сонячної енергії всередину конструкції, частина конструкції, що розташована на північній стороні, є теплопоглинаючою. Повітря, яке потрапляє в конструкцію на рівні землі, теж підігрівається у повітряному колекторі, і швидкість його значно зростає.

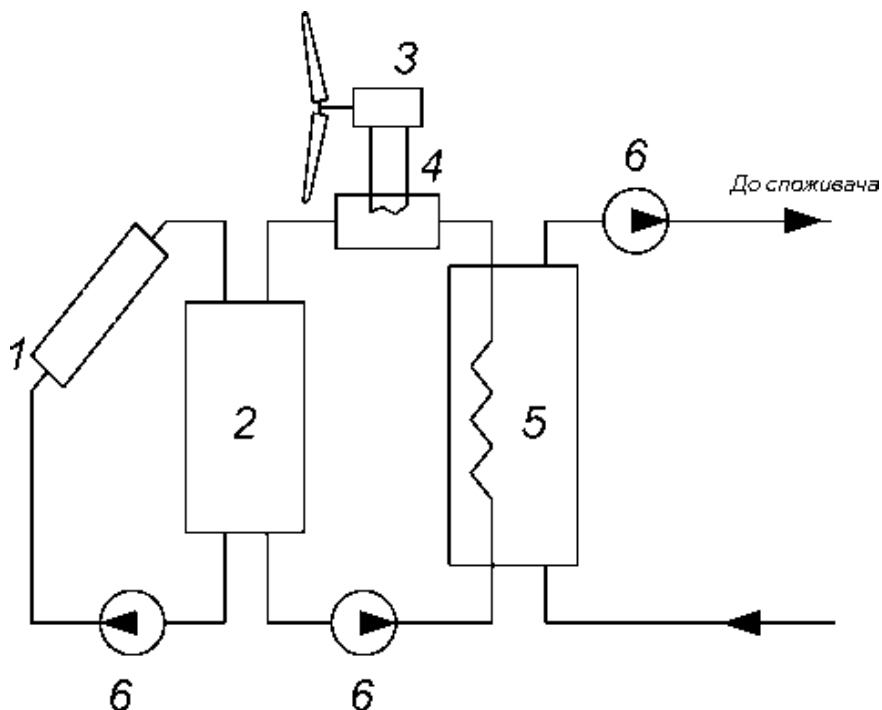


Рисунок 7.4 – Комбіноване використання вітроагрегата і сонячного колектора для отримання теплової енергії: 1 – сонячний колектор; 2 – тепловий акумулятор; 3 – вітровий електрогенератор; 4 – додатковий нагрівач від вітроагрегата; 5 – теплообмінник; 6 – насос

У нічні години, коли відсутня сонячна радіація, для підтримки швидкості вітру можна спалювати в нижній частині установки органічне паливо, яке є в наявності на даній місцевості.

Особливістю установки є те, що вона може використовувати як жорсткі конструкції (стіни житлових багатоповерхових будинків, розташованих із сонячної сторони, водонапірних башт, маяків, мостів, радіо- і телевізійних веж, опор ліній електропередачі).

У зв'язку з тим, що потік вітру в установці створюється за рахунок сонячної енергії та конструктивних особливостей, електроенергетична установка може виробляти енергію в місцях, де відсутній вітер, наприклад, у лісі, пустелі тощо.

7.6 Комплексне використання відновлюваних джерел і акумуляторів

Для стабільного та надійного енергозабезпечення споживачів від відновлюваних джерел енергії запропоновано ряд енергетичних систем із використанням різноманітних комбінацій відновлювальних джерел і комплексним використанням різних типів акумуляторів електричної та теплової енергії. Комплексний підхід до використання відновлювальних джерел та акумуляторів енергії забезпечує найбільш повне використання ресурсу енергетичних установок в альтернативній енергетиці.

Для надійного та стабільного енергопостачання об'єктів, розташованих у віддалених і важко досяжних районах, розроблено комбіновану автономну систему енергоживлення, яка складається з відновлювального джерела та акумуляторної батареї, сполученої зі споживачем блоком автоматичного контролю зарядки й розрядки акумуляторів.

Система акумуляування на основі електрохімічних акумуляторів призначена для енергопостачання автономних об'єктів (житлових будинків, маяків, буїв, житла пастухів, систем зв'язку тощо), але може бути використана й для роботи в загальних енергосистемах. Розрахунок кількості акумуляторів робиться залежно від параметрів енергоджерел і споживачів. Роль акумуляторів полягає в акумуляуванні, головним чином низькопотенціальної та пікової енергії, що виробляється сонячними і вітроустановками, яку неможливо подати в загальну енергомережу. Автоматична система управління забезпечує оптимальні режими зарядження-розрядження акумуляторів і забезпечує їхню роботу у буферному режимі.

Використання вітроелектричних і сонячних установок для електроживлення автономних віддалених споживачів, дозволяє економити органічне паливо, скоротити транспортні витрати на його доставку, зменшує капітальні витрати на будівництво мереж електропередач, зменшує негативні впливи на довкілля.

Забезпечення автономності енергопостачання від відновлювальних джерел енергії потребує комплексного використання різних типів накопичувачів енергії і

надійної системи автоматичного управління режимами роботи джерел енергії, акумуляторів та споживачів енергії.

Автономна енергосистема на основі відновлювальних джерел енергії складається з таких основних вузлів [32]:

- джерел енергії: вітроелектричних установок, сонячних фотоперетворювачів, геліонагрівачів, теплового насоса;
- акумуляторів енергії: теплового бака-акумулятора, котла-акумулятора гарячої води, акумуляторної батареї;
- системи управління: щита ручного управління, приладу автоматичного управління зарядом акумуляторів та автоматизованої системи вимірювання повітряних параметрів.

Вироблювана вітроагрегатами електроенергія надходить через блок управління до споживачів постійного струму чи перетворюється за допомогою теплоелектричних нагрівачів на теплову енергію. Зайва енергія накопичується в електрохімічних і теплових акумуляторах. У період зменшення швидкості вітру, накоплена енергія забезпечує будинок тепловою й електричною енергією. Крім того, акумуляторна батарея використовується як буфер між вітрогенератором і споживачем для вирівнювання коливань струму, зумовлених змінним характером роботи вітроагрегатів. Заряд накопичувачів енергії може вироблятися як від одного джерела енергії, так і від усіх джерел одночасно.

Зарядження акумуляторних батарей від загальної енергомережі передбачено лише в аварійному режимі, тобто при виході з ладу вітроагрегатів.

Комбінована енергетична система на основі сонячних і вітрових установок із комплексним використанням електрохімічних і теплових акумуляторів розроблена для енергозабезпечення електричною та тепловою енергією споживачів населеного пункту чисельністю 500...600 осіб.

7.7 Принципи комбінування різних відновлювальних джерел енергії

Гібридні сонячні колектори являють собою сонячні колектори, що призначені для одночасного виробництва електрики та гарячої води. Гібридні

колектори є новинкою на українському ринку. В них використовується новітнє вирішення проблеми сонячних батарей, а саме зменшення ККД при нагріванні.

Гібридні сонячні колектори в одному корпусі містять: і сонячну батарею для виробництва електроенергії, і сонячний колектор для виробництва теплової енергії. Це новітнє рішення яке дозволяє називати гібридні сонячні колектори майбутнім сонячної енергетики.

У традиційних фотоелектричних модулях при зростанні температури ефективність знижується, а у гібридних колекторах, тепло поглинається і отримується гаряча вода. За рахунок цього виникає постійне охолодження фотоелектричного модуля, його ефективність збільшується, ще й додатково виробляється електроенергії до 50%. Сонячне тепло, що при цьому акумулюється, виробляє теплову енергію.

На сьогоднішній день є доступними такі моделі гібридних колекторів POWER VOLT W175/500 (PV=190W, Thermo=500W) за ціною: 918 Euro, POWER THERM M160/750 (PV=170W, Thermo=750W) за ціною: 986 Euro [3].

Їхня різниця у пріоритетному (більшому) виробництві електричної (POWER VOLT) чи теплової (POWER THERM) енергії.

Принцип дії гібридного PV-T колектора є наступним.

PV-T колектор накопичує сонячну радіацію і виробляє з неї електричну та теплову енергію.

Високоєфективний мідний накопичувач забирає теплову енергію з фронтальної поверхні PV-T колектора та за допомогою теплоносія переносить тепло з колектора в накопичувальний бак (теплоаккумулятор).

Електрична енергія, що генерується у монокристалах, через інвертор прямує на потреби споживача або передається безпосередньо у загальну мережу. Загалом принцип дії електричної частини PV-T колектора, практично, нічим не відрізняється від роботи класичних фотомодулів (сонячних батарей).

Температура регулюється температурним датчиком контролера. Теплоносій за допомогою насоса переносить теплову енергію до теплообмінника, який і нагріває воду в накопичувальному баці. А далі гаряча вода використовується, за

потребою споживача, або на опалення, чи для гарячого водопостачання (ГВП).

PV-T колектори є універсальними. Вони спроектовані так, щоб ефективно працювати з існуючим на ринку обладнанням.

Встановлення гібридного колектора обходиться значно дешевше, ніж встановлення фотоелектричної системи у комплексі з геліосистемою.

Розміщення гібридної системи потребує набагато менше місця, ніж фотоелектрична система з геліосистемою. Досить часто ця перевага є найвагомішою при виборі системи для споруджуваного об'єкта.

Гібридні системи швидше окуповуються.

Термін дії фотоелементів гібридної системи більший, ніж у традиційних сонячних батарей.

Досить часто, вітрогенератор доповнюють сонячними панелями і в результаті одержують гібридну вітро-сонячну систему. Це робиться для зниження залежності від одного джерела енергії та погодних умов, тому що бувають періоди відсутності вітру при яскравому сонячному світлі і, навпаки, в похмуру погоду дме сильний вітер.

Виникає цілком закономірне питання, що ж робити в ситуації коли немає ні вітру ні досить яскравого сонячного світла?

На початковому етапі в проект майбутньої вітро-сонячної установки закладається потужність, на 20...30% більше заявленої замовником. Це дозволяє "накопичувати" електроенергію навіть під час споживання.

Ємність акумуляторної батареї проектується з запасом і розраховується виходячи з необхідного часу роботи в періоди безвітря і похмурої погоди. У системі використовуються герметичні необслуговувані AGM акумулятори, які не потребують періодичного доливання електроліту і не виділяють шкідливих газів. Термін служби батарей даного типу становить від 3-х до 5-ти років, в залежності від режиму експлуатації.

Інвертор (перетворювач напруги) видає на виході системи необхідну напругу – 220 В (1 фаза) або 380 В (3 фази). Потужність інвертора підбирається виходячи з типу підключеного навантаження – активного або реактивного. При

наявності реактивного навантаження, потужність інвертора розраховується з урахуванням п'ятикратного перевантаження. Це робиться через високий пусковий струм електричних двигунів [3].

Варто так само відзначити, що іноді більш доцільно будувати вітро-сонячну систему з використанням декількох менш потужних вітрогенераторів, ніж на основі одного з великою потужністю. У результаті спрощується процес монтажу електростанції і підвищується її надійність, оскільки при виході з ладу одного вузла, інші частини системи продовжують функціонувати.

Гібридна енергосистема передбачає використання ВЕУ спільно з іншими джерелами енергії (дизель-генератор, сонячні модулі, мікроГЕС і т.п.). Ці джерела енергії доповнюють ВЕУ з метою забезпечення безперебійного електропостачання споживача в безвітряну погоду.

Вітро-дизельна система складається з ВЕУ і дизель-електричної системи (ДЕС), з оптимально підібраними потужностями. Зазвичай, дизель-генератор використовується в поєднанні з ВЕУ у випадку, коли метою використання останньої є економія дизельного палива, вартість якого з урахуванням витрат на доставку, може бути досить високою. Співвідношення потужності компонентів системи залежить від схеми генерування навантаження й ресурсів вітру.

Режим одночасної паралельної роботи ВЕУ і ДЕС оцінюється як недостатньо ефективний спосіб використання ВЕУ, так як частка участі вітроагрегата в системі за потужністю не повинна перевищувати 15...20% від потужності дизель-генератора. Такі режими можна використовувати для економії палива в гібридних установках великої потужності.

Використання режиму роздільної роботи ВЕУ і ДЕС дозволяє підняти частку участі вітроустановки до 50...60% і більше. Але, в цьому випадку неминуче ускладнення системи за рахунок необхідності введення системи управління, інверторного устаткування і АБ, які акумулюють енергію, вироблювану вітроагрегатом при робочих швидкостях вітру для живлення навантаження в безвітряну погоду або при невеликих швидкостях вітру. Кожного разу, коли це можливо, енергія генерується ВЕУ, а АБ безперервно заряджається.

У періоди вітрового затишшя, коли заряд АБ падає нижче певного рівня, для забезпечення споживачів енергією автоматично (або вручну) запускається дизель-генератор. Такий режим значно знижує кількість запусків дизель-генератора і, отже, веде до скорочення витрат на обслуговування і паливо. Вітро-дизельні системи розглянутого типу в даний час використовуються в Архангельській і Мурманській областях Росії.

Гібридні вітро-дизельні системи потужністю від 2 до 500 кВт різних конструкцій і призначення в даний час випробовуються, розробляються або плануються до реалізації в рамках Федеральної програми "Енергопостачання віддалених територій Крайньої Півночі РФ". Як правило, ці гібридні системи призначені для надійного електропостачання автономних споживачів з одночасною економією рідкого палива. Великі гібридні електростанції повинні працювати на локальну мережу північних селищ.

Використання сучасної вітро-дизельної системи, при належній увазі до проведення поточного обслуговування, може бути економічно дуже ефективним при наявності достатніх вітрових ресурсів у місцевості, де встановлений вітроагрегат.

Електрична енергія може бути одержана за рахунок перетворення сонячного випромінювання фотоелектричними батареями (ФБ). Незважаючи на досить високу, в даний час, вартість ФБ, їхнє використання спільно з ВЕУ в деяких випадках може бути ефективним. Оскільки взимку існує великий потенціал вітру, а влітку в ясні дні максимальний ефект можна отримати, використовуючи ФБ, а отже поєднання цих ресурсів виявляється вигідним для споживача.

ВЕУ можуть використовуватися в комбінації з мікроГЕС, що мають резервуар для води. У таких системах при наявності вітру вітроагрегат живить навантаження, а надлишки енергії використовуються для закачування води з нижнього рівня на верхній. У періоди вітрового затишшя енергія виробляється мікроГЕС. Подібні схеми особливо ефективні при малих ресурсах гідроенергії.

7.8 Типовий розрахунок вітросонячної установки

Задача

Розрахувати загальну розрахункову згенеровану потужність електричної енергії та енергетичні показники для гібридної вітро-сонячної електроустановки, якщо для діаметр вітроколеса вітроустановки $D=7\text{м}$, середня розрахункова швидкість повітряного потоку $v=8\text{м/с}$, яка змінюється в інтенвалі від 5м/с до 12м/с на висоті $H=12\text{м}$, коефіцієнт використання вітру $c=0,41$, коефіцієнт корисної дії генератора $\eta_r=0,91$, коефіцієнт корисної дії мультиплікатора $\eta_m=0,86$, густина повітря $\rho_n=1,21\text{кг/м}^3$. А для фотоелектричної батареї – пікова потужність $P_{\text{пik}}=41\text{Вт}$, кількість фотоелементів $n=30$, середньоперіодична сумарна енергетична освітленність в площині фотоелектричної установки $E_c=1294\text{кВт/м}^2$, пікова потужність сонячної інсоляції за стандартних умов $P_{c,\text{пik}}=1000\text{Вт/м}^2$, а коефіцієнт перетворення сонячної енергії $k_p=0,55$.

Розв'язання

1. Обчислимо оптимальну площу вітроколеса з горизонтальною віссю обертання за формулою:

$$S = \frac{\pi \cdot D^2}{4},$$

$$S = \frac{\pi \cdot 7^2}{4} \approx 38,5 \text{ м}^2.$$

2. Розрахункову потужність обчислимо за формулою:

$$P_{p.BEV} = 0,5 \cdot \rho_n \cdot S_{BK} \cdot v_p^3 \cdot c \cdot \eta_r \cdot \eta_m,$$

$$P_{p.BEV} = 0,5 \cdot 1,21 \cdot 38,5 \cdot 8^3 \cdot 0,41 \cdot 0,91 \cdot 0,86 \approx 3,8 \text{ кВт}.$$

3. Розрахункова пікова потужність сонячної електроустановки обчислимо за формулою:

$$P_{p.CEV} = \frac{n \cdot P_{\text{пik}}}{1000},$$

$$P_{p.CEV} = \frac{30 \cdot 41}{1000} \approx 1,23 \text{ кВт}.$$

4. Загальна розрахункова потужність вироблена гібридною вітро-сонячною електроустановкою обчислюється за формулою:

$$P_{p.заг} = P_{p.BEV} + P_{p.ФЕУ},$$

$$P_{p.заг} = 3,8 + 1,23 \approx 5,06 \text{ кВт}.$$

Таким чином зробимо акцент з вищевикладеного матеріалу в наступному:

1. Застосування гібридних енергетичних установок дозволяє зменшити витрати на енергоносії, використовуючи та поєднуючи різні види джерел енергії.
2. Україна має достатній потенціал для гібридних енергетичних установок.
3. Територія України, незважаючи на те, що є не самою сприятливою для використання гібридних енергетичних установок, як і відновлюваної енергетики, та має свої особливості їх використання, а отже є придатною для використання гібридних енергетичних установок.

Контрольні питання до розділу 7

1. Що відносять до гібридних енергетичних установок?
2. Які переваги та недоліки є у гібридних енергетичних установок?
3. Що являють собою гібридні енергетичні установоки?
4. Яка специфіка гібридних енергетичних установок?
5. Які особливості поєднання гібридних енергетичних установок?
6. Назвіть найбільш розповсюджені поєднання енергетичних установок у складі гібридних енергетичних установок.
7. Наведіть приклади використання гібридних енергетичних установок в Україні.
8. Наведіть приклади використання гібридних енергетичних установок у світі.
9. Чи є перспективи розвитку гібридних енергетичних установок в Україні?

Розділ 8

Новітні розробки відновлювальної енергетики та приклади їх впровадження в практику використання у різних сферах

8.1 Новітні розробки відновлювальної енергетики світу

Пристрій для використання енергії інфрачервоного випромінювання Землі в зовнішній простір

Фізики Федеріко Капассо, Роберт Л. Уоллес і Вінтон Хейс з Гарвардської Школи Інженерних і Прикладних Наук створили пристрій для використання енергії інфрачервоного випромінювання Землі в зовнішній простір [1].

Наша планета, нагрівається сонцем сильніше, в порівнянні з холодним космічним простором за її межами. Як стверджують вчені, завдяки останнім технологічним досягненням, цей тепловий дисбаланс може бути найближчим часом перетворений в енергію постійного струму, який є потужним і невикористовуваним джерелом енергії, на сьогоднішній день.

Капассо, всесвітньо відомий експерт у фізиці напівпровідників, фотоніки і твердотільної електроніки, став співавтором винаходу квантово-каскадного лазера ІЧ-діапазону в 1994 році, продемонструвавши явище відштовхуючої сили Казимира, за яку одержав золоту медаль SPIE і інші нагороди.

Тепер Капассо і його дослідницька група пропонують щось схоже на фотоелектричні панелі сонячних батарей, але замість використання падаючого на пристрій видимого спектру світлового випромінювання, воно вироблятиме електроенергію, за рахунок випромінювання інфрачервоного світла, таким чином, може бути одержана відновлювана енергія. Такий пристрій можна під'єднати до сонячної батареї для одержання невеликої, але цілком реальної, додаткової потужності в нічний час [2].

Для того, щоб продемонструвати діапазон можливостей даної технології, група Капассо пропонує два різні види емісійних пристроїв: один є аналогом

генератора сонячної теплової електростанції, а другий є аналогом фотоелемента, при умові, що обидва працюватимуть в режимі реверсу.

Перший тип пристрою складатиметься з «гарячої» пластини з температурою повітря на Землі і «холодної», яка повинна бути направлена вгору. Холодна пластина буде зроблена з емісійного матеріалу, який охолоджуючись, випромінює тепло у напрямі космічного простору. Вимірювання показали, що такий пристрій дозволяє генерувати декілька ватів електроенергії на 1 м² площі і вдень і вночі. Цей пристрій ілюструє загальний принцип роботи, а саме, різниця температури дозволяє генерувати електричну енергію.

Другий запропонований пристрій працює за рахунок різниці температур між нанорозмірними (досить малих розмірів) електронними компонентами – діодів і антен, тобто це не та різниця в температурах, яку можна відчуту рукою.

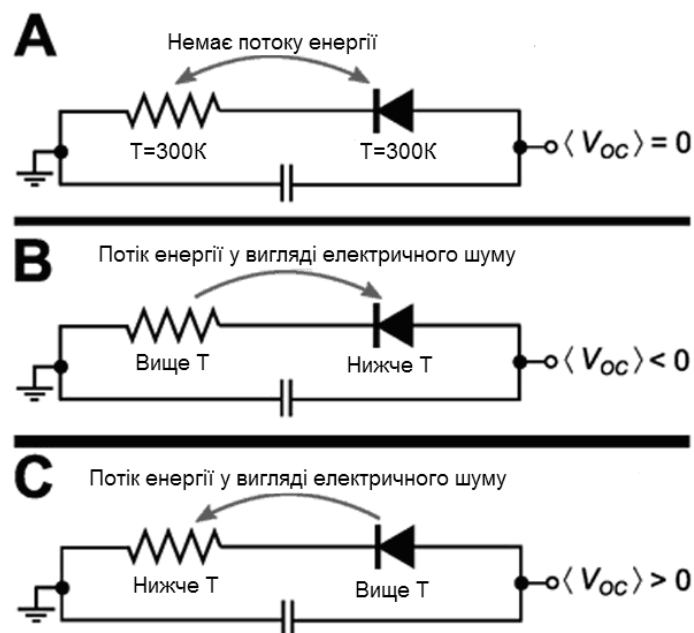


Рисунок 8.1 – Схема принципу дії пристрою для використання енергії інфрачервоного випромінювання

«Якщо у вас є два компоненти з однією і тією ж температурою, очевидно, що не вдасться одержати яку-небудь енергію, але якщо різниця температур існує, то одержання енергії можливо», говорить Капассо, але наукове пояснення можливе лише на рівні поведінки електронів [3].

На рисунку зображений контур з різними температурними умовами. Схема (А) при тепловій рівновазі струм не генерується. Схема (В) передбачає контур, що є звичайним випрямлячем. Схема (С) є ілюстрацією контуру, який пропонує команда Гарвардського університету, в якому можлива наявність електричного струму при додатній напрузі [4].

Простіше кажучи, компоненти в електричному колі можуть мимоволі пропускати електричний струм у будь-якому напрямку, це явище називається електричним шумом. На діаграмі Ганна видно, що коли електричний компонент, такий як діод має вищу температуру, ніж резистор, то електричний струм буде проходити в напрямку від діода до резистора, створюючи позитивну напругу. Група Капассо передбачає, що роль резисторів на мікроскопічному рівні можуть виконувати антени, які дуже ефективно випускають інфрачервоне випромінювання Землі в небо, охолоджуючи тільки необхідну частину електричної схеми.

В результаті можна зробити висновок, що, «електричний струм виникає безпосередньо в процесі випромінювання, без проміжної стадії охолодження макроскопічного об'єкту», говорить Бернс.

Згідно опублікованому документу, одна панель може бути покрита безліччю цих досить малих контурів, антени яких направлені в небо.

Проте, проблеми є навіть при використанні найкращих сучасних інфрачервоних світлодіодів. Інженери і фізики, зокрема Бернс, вже вивчають новий вигляд діодів, які можуть працювати при низьких напругах, наприклад, тунельні і балістичні діоди. Іншим підходом є підвищення опору компонентів схеми, який забезпечить підвищення величини напруги в контурі.

Іншою проблемою є швидкість. Для інфрачервоного сигналу необхідна швидкість включення і виключення сигналу, а це близько 30 трильйонів разів в секунду. Таким чином, до розглянутого контура передбачені вимоги за швидкістю зміни напруги і величини імпедансу (загальний опір в електричному колі змінного струму) [3].

Пристрій для перетворення сили тяжіння і виштовхувальної сили в електроенергію

Бекбембетов Бауржан Бахитжановіч зайнявся конструюванням «Пристрою перетворення сили тяжіння і виштовхувальної сили в електричну енергію» і протягом багатьох років наполегливої роботи винайшов і запатентував KZ28966 2014 рік «Пристрій для перетворення сили тяжіння і виштовхувальної сили в електроенергію». Перетворювач не має аналогів в світі.

Перетворювач складається з ємності, яка заповнена рідиною, наприклад, водою. До дна ємності герметично прикріплені внутрішні циліндри. У верхній частині циліндри відкриті, а в нижній частині є отвори, які забезпечують впускання та вихід атмосферного повітря до внутрішнього циліндра. У порожнині циліндрів розташовані поршні, які в нижній частині сполучені з приводами. Над внутрішніми циліндрами, коаксіально і на різних рівнях розташовані два зовнішні циліндри, які з боків сполучені з тягами, які направляють їхній рух. Таким чином, зовнішні циліндри утворюють дві робочих пари з внутрішніми циліндрами. У верхній частині зовнішні циліндри закриті, а в нижній частині відкриті, причому у верхній частині встановлені клапани впускання повітря, і виливання рідини. Шланг, підключений до клапана впускання повітря, підведений до джерела повітря, а шланг, підключений до клапана виливання рідини, підведений до турбіни, яка сполучена з додатковим електрогенератором. Для спрощення конструкції установки, турбіну з додатковим електрогенератором можна не встановлювати. Зовнішні циліндри сполучені з робочим органом, який підключений до трансмісії та основного електрогенератора. Для автоматизації

роботи пристрою, в перетворювачі встановлений електронний блок управління [4].

Перетворювач працюватиме в результаті того, що сили, які діють у ньому не збалансовані. У першій робочій парі зовнішній циліндр, знаходячись у нижній частині ємності, тобто маючи в порожнині циліндра повітря, тому він буде вести себе подібно до футбольного м'яча, зануреного у воду, витісняється рідиною на її поверхню, в результаті дії на нього виштовхуючої сили Архімеда. А в другій робочій парі зовнішній циліндр з відкритим клапаном для виливання рідини, подібно до корабля з пробоїною в днищі, буде занурюватись на дно ємності, під дією сили тяжіння. У першій робочій парі зовнішній циліндр, спливає на поверхню рідини, не витрачаючи енергії із зовнішнього джерела, а в другій робочій парі зовнішній циліндр, занурюючись в рідину, приводить в рух основний електрогенератор, який виробляє електроенергію. Пристрій має ще ряд переваг. Для роботи перетворювача не потрібне вугілля, газ, нафта, уран, вітер і сонце, а для нього досить лише води і повітря. Перетворювач не виділяє брудних відходів. Його можна використовувати практично у всіх куточках планети. Середня потужність одного пристрою досягає 100 кВт, а комплекс таких установок може забезпечити електричною і тепловою енергією ціле місто [3].

Джерело енергії «Ефект бактерій дива»

Учені знайшли нове відновлюване джерело енергії «Ефект бактерій дива». На доказ того, що добре вивчений процес випаровування звичайної води здатний стати могутнім природним енергетичним джерелом, доктор Озгур Сахин зробив дослідну електрогенераторну установку, що працює за рахунок зміни кількості вологи в повітрі [2].

Дослідним шляхом було встановлено, що ґрунтова бактерія *Bacillus subtilis*, будучи спорою, стає зморщеною і жорсткою, але ледве на неї потрапляє певна кількість вологи, вона надзвичайно швидко відновлює свій початковий розмір і форму.

Покривши невелику і гнучку пластину з кремнію розчином із спорами *Bacillus subtilis*, відомої також як «Сінна паличка», і просто подихаючи на неї, Сахин добився того, що зігнута висохлими бактеріями, пластинка швидко випрямлялася в такт людського дихання [3].

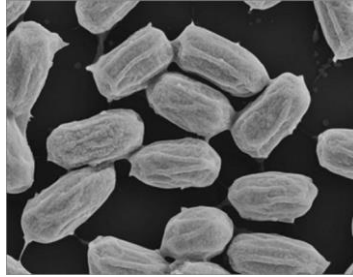


Рисунок 8.2 – Зовнішній збільшений вигляд бактерій *Bacillus subtilis*

При перепаді вологості, відповідному переходу від сухої і ясної погоди до похмурої і туманної, така пластинка здатна виробляти енергію, в 1000 разів перевершують потужність м'язових волокон людини.

Тобто потужність, яка виробляється при зволоженні всього 1 фунта (453 грами) спор цих бактерій, відповідає тій, яка буде необхідною для підйому автомобіля на висоту 3,2 фута (близько 1 метра) над землею [4].

Якщо технічно удосконалити генератор і відповідно збільшити його розміри, то в умовах значних добових коливань вологості такий пристрій дійсно може стати новим джерелом відновлюваної енергії.

Прототип сонячної батареї-наклейки

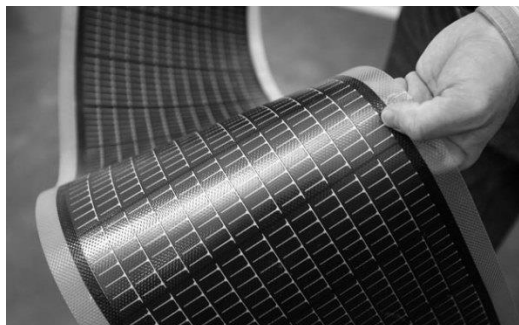


Рисунок 8.3 – Зовнішній вигляд сонячної батареї-наклейки

Американські фахівці, в області фізики, створили перший в світі працюючий прототип сонячної батареї-наклейки, яка зможе кріпитися на будь-які

типи поверхонь, що дозволить використовувати її як портативне джерело живлення для мобільних пристроїв, «розумного» одягу і космічних скафандрів, що опубліковано в журналі «Scientific Reports» [7].

Технологічна новинка виникла в результаті експериментів команди учених з нанометровими плівками з оксиду кремнію і нікелю. Керівник групи фізиків-розробників сонячної батареї-наклейки із Стенфордського університету Сяолін Чжен заявляє, що таке з'єднання тонкоплівкової електроніки і нових сонячних батарей розширює межі створення безліч нового і різноманітного вигляду техніки, від розумного одягу і гаджетів до аерокосмічного спорядження. «Це лише перший етап в розвитку такого роду технології. Порівняно з класичними сонячними батареями, винахід має перевагу не тільки у розмірі, але і в гнучкості моделі. Класичні сонячні батареї максимально ефективно і коректно функціонують лише на рівних поверхнях і спеціальних підкладках, які виготовляються з кремнію або скла. Суть нової методики така: на пластину з суміші чистого кремнію і його оксиду наносять тонке напилення з нікелю товщиною лише в декілька сотень нанометрів. Потім на поверхню цього напилення наноситься активна частина сонячної тонкоплівкової батареї і захищаючий її шар гнучкого полімеру. До одного з країв цієї батареї прикріплюється термоскотч, після чого вся конструкція занурюється в резервуар з теплою водою. А через декілька хвилин, після цього занурення, кінчик скотча акуратно відділяється від батареї, тим самим дозволяючи молекулам води проникнути в шар між пластиною з суміші чистого кремнію, його оксиду і нікелем. Піднімаючи смугу термоскотча, фізики відокремлюють батарею з прикріпленим до неї нікелем і полімерним шаром кремнієвої пластинки. На останньому етапі виготовлення батареї, скотч знімають, а сама конструкція нагрівається до 90 градусів Цельсія протягом двох секунд [5].

Подібні гнучкі сонячні батареї можуть бути наклеєні на будь-які поверхні – папір, скло, тканину і будь-який інший «незвичний» для фотоелектроніки матеріал. Розробники впевнені, що у будь-якому випадку їх батарея не втратить ефективності і генеруватиме стільки електроенергії, скільки і класична

тонкоплівкова батарея. Нові «батареї-наклейки», не ламаються при згинанні і розгинанні, яке часто стає причиною поломки або зниження продуктивності роботи класичних сонячних панелей.

Використання в якості топливного баку балона від акваланга

Австралійський дизайнер-конструктор Дин Бенстед створив унікальну модель мотоцикла, який пересувається за допомогою прогресивного відновлюваного джерела енергії. Мотоцикл майбутнього – O2 Pursuit – рухається по дорогах Австралії за допомогою стислого повітря [2].



Рисунок 8.4 – Модель мотоцикла, який пересувається за допомогою стислого повітря

Стисле повітря, яке зберігається на пілотній моделі в балоні від акваланга, приводить в рух роторний двигун загальною масою одинадцять кілограмів. Він має, подібно до електромоторів, максимальний обертовий момент уже з перших оборотів. Запас ходу такого мотоцикла досягає ста кілометрів, максимальна швидкість руху – сто сорок кілометрів за годину, викидами в атмосферу є повітря.

Виробництва біопаливо з морських водоростей

Фахівці Мичиганського університету удосконалили технологію виробництва біопалива із морських водоростей. Ученим вдалося перетворити 65% маси водоростей на паливо аналогічне нафті, так званий «biocrude», всього за одну хвилину. Багато експертів вважають, що це значним проривом в даній

технології виробництва біопалива, так як новий процес не передбачає періоду в мільйон років для перетворення натуральної сировини в нафту.

Раніше biocrude, як правило, одержували процесом швидкого піролізу з деревного матеріалу, разом з тим одночасно проводилися і експерименти по виробництву біопалива з морських водоростей. Природний матеріал за певний час, від 10 до 90 хвилин, нагрівали до 300 градусів Цельсія, внаслідок чого і відбувалося перетворення. До цього часу, найкращим з досягнутих результатів це 50% об'єму водоростей перетворених на biocrude, який був одержаний при нагріванні біомаси від 10 до 40 хвилин [7].

Американські вчені, в ході експерименту, наповнили роз'ємну сталеву трубу діаметром 1,5 міліметра масою морських водоростей і помістили її в пісок, розігрітий до 600 градусів Цельсія, внаслідок чого, всього за одну хвилину 65% об'єму водоростей перетворився на biocrude. Поки що залишається до кінця не зрозумілим, чому за цей найкоротший за часом нагрів морських водоростей, виявився таким ефективним. За версією вчених, реакції, які утворюють штучну нафту, протікають дуже швидко, а повільний нагрів, уповільнює процес перетворення, побічними реакціями. Виходячи з цієї теорії, зміна часу, який витрачається на протікання реакції, дозволить надалі значно підвищити швидкість виробництва з водоростей нафтопереробного продукту, одночасно зменшить розміри реакторів, що в свою чергу знизить вартість спорудження заводів по виробництву biocrude, прогнозують в новинах альтернативної енергетики. Біопаливо biocrude може успішно використовуватися на сучасних нафтопереробних заводах, за умови попереднього видалення додаткових атомів азоту і кисню, яких багато в живих організмах.

Воднева енергетика

«Спосіб одержання водню, в енергоустановці на основі генератора водню – теплового (енергетичного) насосу, та його застосування», відноситься до способів одержання водню і його використання в стаціонарних і мобільних

енергоустановках. Технічним результатом винаходу є зниження витрат на виробництво водню і зниження шкідливих викидів. Згідно винаходу водень одержують при електролізі, внаслідок обертання робочої речовини в нерухомій робочій камері, розділенням його на збагачене аніонами і катіонами, і далі в розрядних камерах. Робоча камера розміщена в ортогональних електричному і магнітному полях, при цьому магнітне поле направлене паралельно осі обертання, а електричне поле направлене радіально від периферії до центру робочої камери. Перенесення енергії виконується не тільки за рахунок протікання фізичних процесів зріджування-випаровування робочого тіла, як в традиційних компресійних теплових насосах, а і в процесі протікання хімічних реакцій: ендотермічної – електролізу води (робочого тіла – електроліту), і екзотермічної – окислення водню киснем – складових води. Спосіб одержання водню може бути використаний в енергетиці, в енергоустановках на транспортних засобах з двигунами внутрішнього згорання (ДВЗ), ПГТУ і ін., таких, як наземний транспорт, водний і повітряний транспортні засоби, а також для енергозабезпечення будівель і споруд. Очікувана вартість водню – 1,8\$/кг ($162\$/1000\text{м}^3$) [8].

Перехід на водневу енергетику дозволяє вирішити не тільки проблему забруднення навколишнього середовища від продуктів згорання традиційних видів палива (вугілля, нафти, газу, ядерного палива), але і проблему глобального потепління, оскільки дозволяє утилізувати дармову низкопотенціальну теплову енергію навколишнього середовища, перетворюючи її на високопотенційну енергію водневого палива, перехідну при окисненні або згоранні в електричну енергію, або виконує механічну роботу. Таким чином, проблема полягає в пошуку найменш енергетично витратного способу одержання водню. Водень, одержаний електролізом, – заповнюваний ресурс, який дозволяє знайти природним, невідновлюваним ресурсам (вугіллю, нафті, газу) більш гідне застосування, ніж просто спалювання.

Мета винаходу полягає в зниженні витрат високопотенційної енергії на одержання водню, зниження його вартості до економічно прийняттого рівня, що

робить його конкурентоспроможним з такими традиційними енергоносіями, як вугілля, нафта, газ, ядерне паливо, що стане причиною до широкого його використання і, кінець кінцем, переходу до водневої енергетики та водневої економіки, дозволить понизити шкідливі викиди, зменшити небезпеку глобального потіплення, поліпшити екологію навколишнього середовища.

Способи одержання водню і його використання [8].

1. У промислових масштабах водень одержують конверсією метану (ОКМ) або вугілля. На вході природний газ або вугілля і водяна пара, – на виході водень і вуглекислий газ. При ОКМ близько 50% одержуваного водню за рахунок води, при паровій конверсії вугілля – 100%. Вартість водню визначається вартістю використаних копалин, невідновлюваних, високопотенційних енергоносіїв – природного газу або вугілля, запасів яких за різними оцінками вистачить на 40-80 років, а їхня вартість має тенденцію до зростання. Вуглекислий газ також вимагає додаткових енерговитрат для утилізації.

2. Водень одержують також електролізом води. На вході процесу вода – розчин електроліту і електричний струм, на виході водень і кисень. Електроліт не витрачається в ході реакції і виконує роль каталізатора. Вартість електролізного водню набагато вища за конверсійне. Ліва частка його вартості – вартість витраченої електроенергії. Наприклад, під час провалів енергоспоживання, електричний струм АЕС йде на виробництво водню. Це дозволяє не знижувати потужність реактора, що підвищує безпеку експлуатації АЕС. Запас водню витрачають під час піків енергоспоживання. Таким чином водень виконує функцію акумулятора енергії. Паровий електроліз являє собою різновид звичайного електролізу. Частина енергії, необхідної для розщеплювання води, в цьому випадку подається у вигляді високотемпературного тепла для нагрівання пари (до 900°C), роблячи процес ефективнішим. При фотолізі – водень може утворюватися при поглинанні молекулами води енергії 285,57 кДж/моль в ультрафіолетовій області. Розроблені каталізатори, що дозволяють молекулам води поглинати світло у видимій області і розпадатися. Термоліз води, це коли

при нагріванні більше 2500°C вода, розпадається на водень і кисень. Проблема тут полягає в тому, щоб запобігти рекомбінації водню і кисню .

3. Відомі способи одержання водню, які підвищують ефективність, з використанням електромагнітних, акустичних хвиль або електричних імпульсів певної частоти і потужності. Вони дозволяють одержувати газ Брауна (ННО), – гримучу суміш водню і кисню. ННО є нестійким – вимагає негайного використання шляхом окислення або спалювання, наприклад, у пристрої Стенлі Мейера, генераторі Віллі Брауна, генераторі Олега Козакова або генераторі Джона Канзіуса. Додаток газу Брауна до палива в ДВЗ приводить до повнішого його згорання, зниження токсичних викидів.

4. Відомі пристрої, які застосовуються як енергетичні установки на водневому паливі в транспорті, наприклад, в автотранспорті – в автомобілі Honda FCX. Але вони вимагають періодичної заправки балонів на заправних станціях стиснутим воднем, проведеним одним з промислових способів. Така енергетична установка містить блок контролю, балон із стислим воднем, забезпечуючий воднем паливний елемент, електроенергія якого через ультраконденсатор живить електродвигун приводу трансмісії. Також відомі авіаційні транспортні засоби. Експериментальний літак ТУ–155 , який використовує рідкий водень як паливо, який передбачає застосування криогенних технологій для його зберігання на борту літака. Або експериментальний літак фірми Boeing, який містить паливні елементи, які використовують водень, для вироблення електроенергії і в результаті виділяють воду на виході. Електроенергія паливних елементів живить електродвигун, який обертає тяговий гвинт літака.

5. Відомі енергетичні установки, які виробляють електроенергію такі, як теплові електростанції ТЕС, які використовують стиснутий природний газ, мазут або вугільний пил. Продукти їх згорання, незважаючи на передбачені методи очищення, неминуче приводять до забруднення навколишнього середовища, погіршення екології, викидів парникових газів. АЕС прийнято називати екологічно чистими, незважаючи на необхідність утилізації відпрацьованого ядерного палива, не говорячи вже про проблеми, пов'язані з ліквідаціями

наслідків аварій. І ТЕС, і АЕС містять генератор пари, який живить турбогенератор, який виробляє електроенергію. Параметри пари визначають КПД установки. Генератор пари використовує теплоту згорання одного з традиційних видів палива.

6. Відомі енергетичні установки, які виробляють енергію, при цьому не забруднюючи навколишнє середовище шкідливими викидами: міні-ОТЕС і ін. за програмою ОТЕС (Ocean Thermal Energy Conversion). Вони працюють як тепловий двигун, на основі різниці температур між верхніми і нижніми значеннями, а також теплими і холодними шарами морської води. Їх ефективність досить низька тому, що велика частина енергії, яка виробляється, витрачається самою установкою для приводу в дію насосів циркуляції води, тому такі установки є швидше експериментальними, ніж промисловими. До екологічно чистих енергетичних установок відносять також вітрові, геліо-геотермальні, приливні, осмотичні, хвильові, гідроелектростанції, незважаючи на те, що багато які з них мають і свої негативні сторони.

7. Відомі природні процеси фотосинтезу органічних сполук, коли з цукру і крохмалю з вуглекислого газу і води, відбувається виділення кисню в зернах хлорофілу, під дією випромінювання сонця. Енергія, яку одержує людство при спалюванні органічного палива (вугілля, нафта, природний газ, торф) також є виробленою в процесі фотосинтезу. В кінці 90-х років ХХ століття було показано, що в умовах дефіциту сірки, біохімічний процес виробництва кисню, тобто нормальний фотосинтез переходить на виробництво водню.

8. Теоретично, джерелом теплової енергії є будь-яке тіло з температурою, вище абсолютного нуля $t \text{ } ^\circ\text{C} > -273^\circ\text{C}$. Практично, джерелом теплової енергії є тіло, температуру якого можна знизити на декілька градусів, без передачі навколишньому середовищу, витративши на це певну енергію. Відношення одержаної теплової енергії до витраченої називається – coefficient of performance (COP). Відомі системи обігріву і кондиціонування промислових і побутових приміщень, які працюють на теплових насосах, які перекачують теплоту

навколишнього середовища в приміщення або навпаки (кондиціонери). Для сучасних теплових насосів величина COP складає 3...6.

9. Відоме технічне рішення – «електроводневий генератор Студенникова» (ЕВГ) – заявка RU98/00190 від 07.10.1997, патенти RU 2003104497/12 від 17.02.2003, PCT/RU 03/00413 від 18.09.2003, що підвищує ефективність одержання водню. У ЕВГ для електролізу застосовують розділення іонів в електроліті за рахунок відцентрової інерційної сили, яка виникає при обертанні робочої камери з електролітом, тобто шляхом інерційного електролізу.

10. Найбільш близьким технічним рішенням до цього винаходу є «Пристрій для електролітичного одержання водню і кисню» патент RU 2309198 С1 від 27.10.2007. Для підвищення ефективності одержання водню електроліз виконується в електролізері з електропровідними кришками і електродами, які обертається між магнітами електромагнітної системи. Теплота, яка витрачається при цьому, поповнюється з водою, яка поступає в електролізер через теплообмінник.

Запропонований спосіб одержання водню полягає в електролізі шляхом попереднього розділення іонів в електроліті, який обертається, не тільки в полі відцентрової інерційної сили (сили штучної гравітації) за рахунок відмінності їх мас, при цьому, важкі іони переміщуються до периферії, витісняючи легкі іони до центру, – в зону осі обертання. Аналогічний спосіб використовують для розділення ізотопів урану в центрифугах при його збагаченні, для потреб енергетики і озброєння. Розділення іонів відбувається також в ортогональних електричному і магнітному полях, які також ортогональні напрямку руху електроліту (вектору швидкості іонів), зокрема, магнітне поле орієнтоване паралельно осі обертання, а електричне поле направлене радіально від периферії до центру робочої камери. Таким чином, на іони діє ще і сила Лоренця, а розділення відбувається також за рахунок відмінності в знаках зарядів іонів.

Ортогональні поля використовуються, наприклад, в приладах для опріснення морської води, магнітної обробки води; електровакуумних приладах СВЧ – магнетронах, які використовуються в радарях, мікрохвильових печах;

циклотронах, які є прискорювачами елементарних частинок, МГД-генераторах. Таким чином, під дією векторної суми двох сил відбувається магніто-гідродинамічне розділення іонів. Обертання електроліту в робочій камері приводить також до усунення перенапруження, яке виникає внаслідок поляризації електродів, очищенню поверхні електродів від продуктів реакції при електролізі, а, отже, до зниження енерговитрат. Нейтралізація зарядів іонів, після їх розділення, відбувається в робочій і в розрядних камерах, де іони відновлюються до нейтральних атомів і молекул.

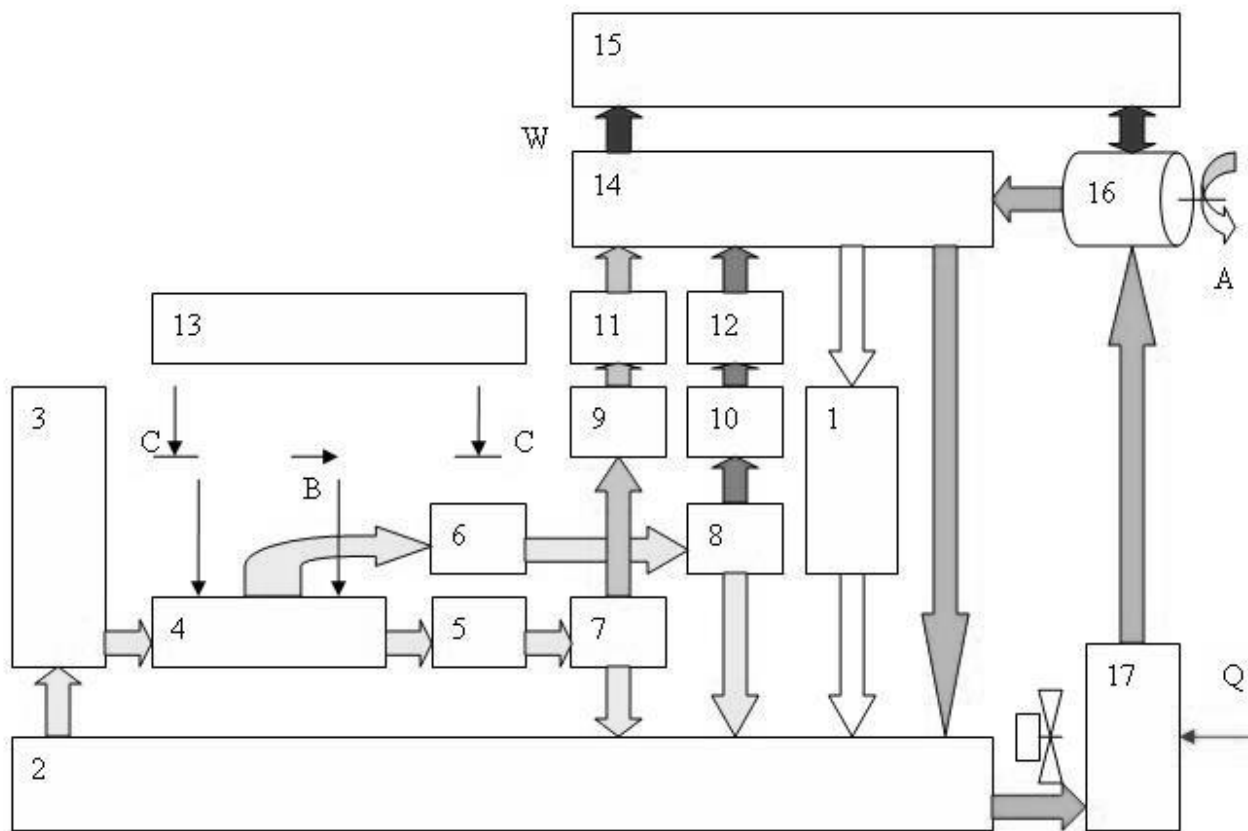


Рисунок 8.5 – Блок-схема енергетичної установки для одержання водню

Спосіб одержання водню демонструє робота енергетичної установки (рис. 8.5), яка є тепловим насосом. Робоча речовина – електроліт, циркулюючи в першому робочому контурі за допомогою насоса 3 з теплообмінника 2, подається в робочу камеру 4, де робоча речовина обертається в магнітному полі В, орієнтованому паралельно осі обертання і в електричному полі, орієнтованому в напрямку від периферії до центру робочої камери – осі обертання. Таким чином,

відбувається розділення іонів під дією відцентрової інерційної сили, завдяки відмінності мас іонів, і сили Лоренца, завдяки відмінності в знаках заряду іонів. Концентрація легких елементів, позитивно заряджених іонів – катіонів, зростає в центрі, біля осі обертання, де відбувається часткова нейтралізація іонів. Далі робоча речовина, збагачена іонами протилежних знаків, потрапляє в розрядні камери 5, 6, де іони електроліту нейтралізуються, втрачаючи свої заряди, поглинаючи при цьому теплоту робочої речовини, і поступають далі, в сепаратори-просушувачі газо-перервники безперервності потоку 7, 8, де газ відділяється від робочої речовини, яка повертається в теплообмінник першого контура 2, а при підвищенні концентрації електроліту або зниженні його рівня, електроліт в теплообміннику 2 поповнюється розчинником – дистильованою водою з бака 1. Гази – водень і кисень, з сепараторів–прошувачів–перевники безперервності потоку 7, 8, через зворотні клапани 9, 10 і датчики газоаналізаторів і об'єму 11, 12 подаються в паливний елемент 14, де водень окислюється до води, яка повертається в перший робочий контур теплообмінника 2 через бак 1 (рекуперація води). Електроенергія W , яка виробляється паливним елементом 14, заряджає буферний ультраконденсатор 15, який живить електродвигун 16, який виробляє механічну енергію A , виконуючи роботу, або в режимі рекуперації, електродвигун 16 працює як генератор, і поповнює електроенергією W ультраконденсатор 15. Процес електролізу води ендотермічний, протікає з поглинанням теплоти робочої речовини, яка компенсується в теплообміннику 2 теплоносієм другого контура, що перекачує теплоту навколишнього середовища Q , за допомогою теплообмінника другого контура 17, а також теплоту яка виділяється електродвигуном 16 і паливним елементом 14 (рекуперація теплової енергії QR) робочій речовині. Режимми роботи (температура, тиск, швидкість, концентрація робочої речовини в контрольних точках, а також параметри споживаного і одержуваного електричного струму) управляються блоком контролю 13, але зв'язки блоку контролю 13 з блоками енергетичної установки (рис. 8.5), для спрощення схеми, умовно не показані. У ряді випадків паливний елемент 14, ультраконденсатор 15 і електродвигун 16

можуть бути замінені тепловим двигуном, тобто традиційним ДВЗ, турбогенератором, дизель-генератором, ПГТУ, або МГД-генератором в поєднанні з ПГТУ. При їх роботі для окислення (згорання) водню може використовуватися також і кисень повітря. Тому блоки енергетичної установки 1–13 і 17 можна умовно об'єднати в один функціональний блок – генератор водню–тепловий насос, який перетворює теплоту навколишнього середовища у високопотенційну енергію водню, який, у свою чергу, може використовуватися довільним претворювачем палива в механічну або електричну енергію, або споживачами водню і кисню для технологічних цілей.

Джерелом енергії є дармова низькопотенціальна теплота навколишнього середовища, – яка являє собою, закумуляовану енергію сонця, а отже теплоту землі, води, повітря, а тепловий насос лише перекачує її в потенційну енергію водню, електричну або механічну (залежно від потреби), а при виконанні корисної роботи, перетворюється на теплоту, яка повертається в навколишнє середовище, згідно закону збереження енергії. Окрім теплоти природного середовища, – сонця, водоймищ, геотермальних джерел, ґрунту, і т.д., також можна утилізувати теплоту технологічних процесів, систем охолодження підприємств, промислових енергогенеруючих станцій, басейнів-охолоджувачів, а також ТЕС, АЕС, ДВЗ, і т.д., які зараз викидають її в атмосферу [7].

Області використання генератора водню і енергоустановки на його основі:

- Енергетика. Газотурбінні установки з котлом-утилізатором (парогенератором, що використовує теплоту вихлопних газів) і додатковою паровою турбіною можуть мати КПД більше 40% (ПГТУ). АЕС, які за нормами безпеки працюють при нижчих температурах і тиску пари, мають дещо менший повний КПД, який становить близько 32%.

- Термічний КПД паротурбінної електростанції тим більший, чим вищі робочі параметри температури і тиску пари. Якщо на початку ХХ ст. ці параметри складали 1,37 МПа і 260°C, то в даний час робочий тиск понад 34 МПа і температурі більше 590°C (АЕС працюють при нижчих температурах і тиску, ніж

великі ТЕС, оскільки нормативами обмежується максимально допустима температура активної зони реактора).

На сучасних паротурбінних електростанціях пара, частково відпрацьована в турбіні, відбирається в її проміжній точці для повторного нагрівання (проміжного перегріву) до початкової температури, причому може бути передбачено два або більше ступенів промперегріву. Пара з інших точок турбіни відводиться для попереднього нагріву живильної води, яка підводиться до парогенератора. Такі заходи набагато підвищують термічний КПД. У вже діючих АЕС на першій стадії, генератор водно-тепловий насос, що утилізував теплоту реактора і що генерує пару для турбогенератора, дозволить значно підвищити КПД завдяки підвищенню температури і тиску пари, а також згладжувати пікові навантаження, пов'язані з добовими і сезонними її коливаннями, що сприяє підвищенню безпеки експлуатації реактора. На другій стадії, після вироблення ресурсу ядерного реактора, дозволить перевести водневу ЕС повністю на утилізацію теплоти навколишнього середовища, з подальшим демонтажем, або консервацією реактора.

Також водно-тепловий насос може забезпечувати паливом стаціонарні і мобільні енергетичні установки з ДВЗ, турбогенераторами, дизель-генераторами, ПГТУ (парогенераторні теплові установки), ТРДД, МГД-генераторами з ПГТУ, що дозволить без істотних переобладнань переводити діючі ТЕС на водневе паливо, знижуючи шкідливі викиди, – покращуючи екологію. Оскільки продуктом згорання водню є водяна пара $t^{\circ}\text{C} \sim 3000^{\circ}\text{C}$, а додавання води в камеру згорання дозволяє знижувати його температуру, підвищувати тиск і приводити параметри пари до вимог турбіни або іншого споживача, а отже необхідно використовувати ПГТУ з температурою перед турбіною $t^{\circ}\text{C} \sim 900-1200^{\circ}\text{C}$ і ккд $\sim 60\%$ і більше.

Міні-ГЕС за принципом водоверті

Австрійський винахідник Франц Цотлетерер (Franz Zotloterer) з містечка Оберграфендорф (Obergrafendorf) придумав незвичайну схему для малих ГЕС. Його

проект називається “Техніка водоверті” (Wasserwirbeltechnik), а Міні-ГЕС – “Гравітаційно-водоворотна станція” [2].

В цілях уникнення негативних екологічних наслідків при споруді дамб Міні-ГЕС винахідник запропонував частину потоку поблизу берега відводити в спеціальний канал, що направляє воду до дамби.

Дамба представляє з себе бетонний циліндр, до якого вода підходить по дотичній, падаючи в центрі і в глибину. Так в центрі циліндра утворюється водоверт, яка і закручує турбіну. Цей тип Міні-ГЕС найбільш оптимальний для електростанцій потужністю до 150 кВт. Хороші показники КПД з'являється починаючи з перепаду висот 0,7 м.

КПД перетворення енергії падаючої води в такій Міні-ГЕС в струм досягає 73%. Експериментальний зразок, встановлений на струмку, виробив понад 50 МВт·год електрики при робочому перепаді висот води 1,3 м і витраті 1 куб.м/сек. Максимальну електричну потужність такої міні-станції досягає 9,5 кВт [4].

При дії такої Міні-ГЕС швидкість обертання турбіни низька і для риби, що потрапила у водоверт, лопаті колеса безпеки не представляють. До того ж лопаті не розтинають воду, а повертаються синхронно з водовертю.

Ще одним екологічним плюсом даного проекту є перемішування у водоверті забруднювачів і хороша аерація води, яка сприяє інтенсивній роботі мікроорганізмів, які очищають її природним чином.

Водоверт, яка утворюється в Міні-ГЕС, сприяє терморегуляції у водоймищі, а збільшена площа контакту води з повітрям забезпечує її охолодження влітку; взимку ГЕС продовжує працювати під льодом, вода більшої густини рухається до центру водоверті, а по краях циліндра утворюється такий лід, який забезпечує утеплення водойми, в результаті дуже сильного охолодження центру.

Вартість пробного зразка Міні-ГЕС склала 75 тис. дол.



Рисунок 8.6 – Міні-ГЕС за принципом водоверті

8.2 Приклади впровадження відновлювальної енергетики в практику використання у різних сферах

Офшорна вітряна енергія

Експерти оцінюють, що тільки морська вітряна енергія може в майбутньому постачати близько 5 000 терават-годин (TWh) електрики в рік по всьому світу, яка, приблизно, дорівнює до третини поточного споживання електроенергії - 15 500 терават-годин (1 терават-година дорівнює 1 трильйон ват-годин). Очікується, що офшорні вітряні електростанції тільки в Європі зможуть поставляти близько 340 терават-годин енергії в рік до 2015 року [7].

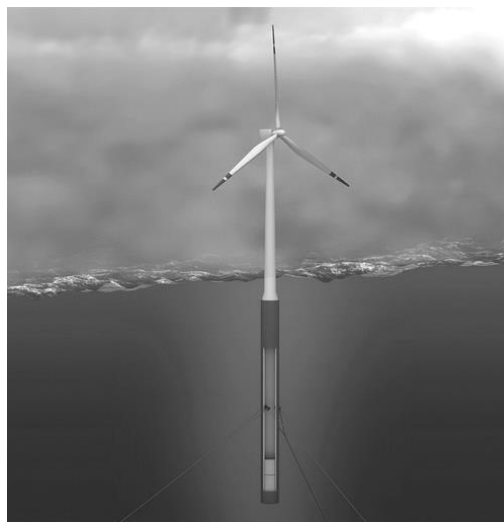


Рисунок 8.7 – Вітроустановка морського базування

На даний момент всього в світі було здійснено близько 40 проектів по морській вітряній енергії, більшість з них знаходиться у Великобританії, Данії, Нідерландах і Швеції. Очевидні дві тенденції. Одна в тому, що установки стають все більше і більше в розмірах, і друга в тому, що установки постійно переміщуються все глибше в морські води, що дозволить будувати такі вітряні електростанції на великих площах. Тоді як на початку цього сторіччя вітряні станції будувалися в прибережних районах на глибині від 2 до 6 м, опори вітряних турбіни зараз кріпляться до океанського дна на глибинах більше 40 м.

Енергія приливу



Рисунок 8.8 – Приливна гідроелектростанція

Енергія океанських течій також може бути використана в генерації електричної енергії, хляхом використання роторів, занурених у воду, які приводяться в рух течіями. Оцінюється, що електростанції на енергії приливів і морських течіях спільно можуть виробити до 100 террават-годин електрики в рік у світовому масштабі.

Вже протягом певного часу проводяться тести на концепціях роторів, таких як система Seaflow, прототип якої почав роботу поблизу побережжя Англії в 2003 році. Його послідовник, SeaGen, зараз працює в Странгфорд Нерроус, поблизу побережжя Ірландії. По цій концепції два ротори встановлюються на корпусі електростанції. Це збільшує вироблення електрики і знижує високу вартість споруди [7].

Такі установки в океанах повинні витримувати дуже суворі умови з підводними течіями і хвилями, набагато сильніше, ніж, наприклад, вітряні

турбіни, і з цієї причини потрібне їх тривале тестування на міцність. Проте, технологія SeaGen дуже близька з моделлю вітряної турбіни. Кут лопаті і швидкість обертання можуть регулюватися, щоб підстроїти режим роботи до параметрів течії. Інші концепції ґрунтуються на фіксованих системах, які не регулюються.

Енергія від різниці температур шарів води

Технологія перетворення теплової енергії океану в електричну використовує різницю температури у воді на поверхні океану і глибоких шарів води для виробництва електроенергії. Щоб запустити цикл на такій електростанції різниця температур повинна бути як мінімум 20 градусів. Отже, ця технологія підходить для тепліших морських районів. Тепла вода використовується, щоб випарувати рідину, яка кипить при низьких температурах, виробляючи пару, яка приводить в рух турбіну, на валу якої знаходиться електрогенератор. Холодна морська вода (4-6 градусів Цельсія) закачується з глибини декількох сотень метрів і використовується для охолодження і конденсації пари, яка взаємодіяла з турбіною, з метою переходу її в рідкий стан [8].

До недавнього часу вартість будівництва електростанцій ОТЕС була дуже високою із-за трубопроводів завдовжки більше 100 м і могутніх насосних систем. Уряд США підтримав розвиток і тестування ОТЕС у середині 1970-х років, але фінансування було припинено в 1980-х роках. Проте, інтерес до цієї технології поновився в недавній час. Американсько-тайваньський консорціум планує будівництво установки потужністю на 10 мегават на Гаваях. Крім того, громадські організації і бізнес у Франції запустили ініціативу IPANEMA, яка направлена на просування як океанських відновлювальних джерел енергії, так і технології ОТЕС. Оцінюється, що ОТЕС має потенціал в декілька тисяч терават-годин електроенергії в рік. На відміну від енергії вітру і хвиль, ця форма виробництва електрики не залежить від зміни погодних умов.

Енергія, яку одержують від різниці змісту солі в прісній і морській воді

Осмотична електростанція це абсолютно новий вид генерації енергії. В його основу покладено використання осмотичного тиску, який виникає між солоною і прісною водою, коли вони закачуються в подвійну камеру і розділяються спеціальною напівпроникною мембраною, ця технологія все ще знаходиться на самому початку свого розвитку. У 2009 році члени норвезького синдикату побудували першу в світі осмотичну електростанцію в Осло-форді. Завод був розроблений спеціально, щоб розвивати цю технологію, в даний час він генерує всього декілька кіловат електрики. Проте значний потенціал світового виробництва електроенергії з осмотичного процесу в майбутньому може виробити до 2000 терават-годин в рік.

В Японії опановують підводні течії

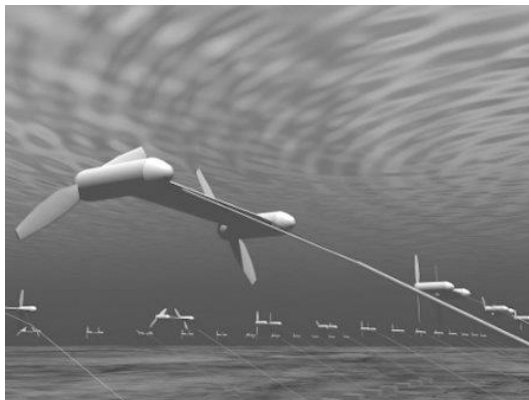


Рисунок 8.9 – Комплекс підводних турбін

Японський концерн Toshiba, спільно з промисловою компанією ІНІ Corporation, оголосили про старт нового енергетичного проекту, про установку і запуск комплексу підводних турбін, схожих на повітряних зміїв, з метою використання океанічної енергії [2].

На сьогодні турбіни, які виробляють енергію під дією підводних течій, набули не такого широкого поширення в світі, як сонячні і вітрові енергоустановки, проте у Японії є вагома перевага в цій сфері. Навколо японського побережжя проходить одна з семи основних і одна з двох найбільших

течій – Куросою, швидкість якого може досягати 3 км/год. Для живлення підводної турбіни такої швидкості більш ніж достатньо. При цьому важливі такі характеристики для течії Куросою, як постійність напрямку руху і швидкості течії протягом року.

ІНІ Corporation, застосовуючи свої багаторічні напрацювання у області будівництва морської техніки і енергетики, розробила пристрій, який складається з двох турбін, які сполучені в одному блоці і обертаються в протилежних напрямках. Дані блоки кріпляться до морського дна, після чого вільно плавають за течією, що робить їх схожими на повітряних зміїв. З свого боку компанія Toshiba розробляє проекти технологій вироблення і передачі електричної енергії з підводних турбін на сушу.

Застосування сонячних фотоелектричних систем

Сучасні орбітальні станції, автоматичні апарати для досліджень Місяця, Марса, Венери та інших небесних тіл неможливо уявити собі без сонячних батарей. Активно працює МКС, створена для проведення наукових досліджень в космосі. Вага станції складе приблизно 400 тон. МКС обертається навколо Землі на висоті близько 340 кілометрів, здійснюючи 16 обертів навколо Землі за добу. Орієнтовно, станція пропрацюватиме на орбіті до 2016-2020 років [6].

Через десять років після початку будівництва МКС стала забезпечуватися електроенергією в повному об'ємі. Всі елементи живлення станції тепер здатні виробляти до 120 кВт електроенергії. Нова пара батарей подвоїла об'єм енергії, яка використовується для виконання наукових експериментів, потужність якої з 15 до 30 кВт. Розгортання пристрою сонячної батареї, з розмахом 73 м, пройшли без ускладнень.

Основний «хребет» станції, до якого кріпляться не тільки сонячні батареї, але, також радіатори та інше устаткування, тепер складає в довжину 102 метри. Сонячні «крила» — останні розробки американського виробництва, призначені для використання на МКС (рис. 8.10) [8].

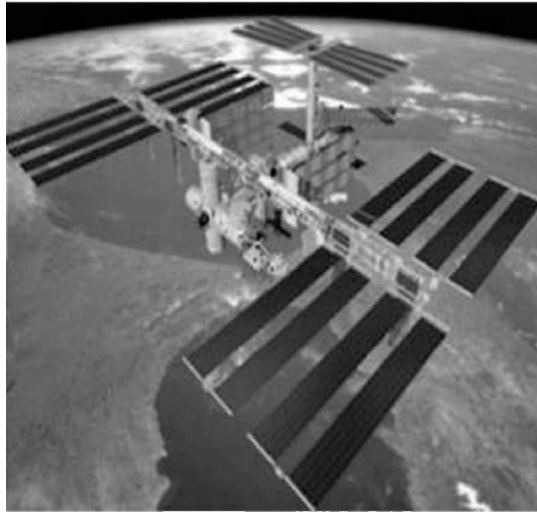


Рисунок 8.10 – Міжнародна космічна станція

Незважаючи на те, що в даний час у всьому світі використовується декілька мільйонів сонячних фотоелектричних систем, але це число – є досить малою часткою потенціалу використання сонячної енергії, який існує для фотоелектрики, як джерела енергії.

Фотоелектричні модулі забезпечують незалежне, надійне джерело електричної енергії в пункті використання, що особливо підходить для віддаленої місцевості. Сонячний модуль все більш і більш використовується в будинках і офісах, щоб замінювати електрику, яка одержується від мережі, або додавати енергію в мережу від сонячних фотоелектричних панелей на дахах.

Широко використовуються пристрої на сонячних батареях в ландшафтному дизайні. Садові ліхтарі, які є бездротовими освітлювальними пристроями на світло діодах, на сьогоднішній день увійшли до повсякденного життя. Ліхтар «Вбивця комарів» привертає комах, які літають, «Сонячне страховище» відлякує кротів, мишей, тхорів, «Плавучий фонтан», який встановлюється у вигляді плаваючої лілії без дротів і шлангів. Сонячний датчик дощу, автоматично вимикає поливальні пристрої. При виявленні дощу пристрій розміром близько 20 см посилає бездротовий сигнал на відстань до 200 м для зупинки таймера розбризкуючих пристроїв [7].



Рисунок 8.11 – Портативний фотоелектричний модуль

Сонячні зарядні пристрої широко використовуються в самих віддалених точках світу для електроживлення в польових умовах, для вирішення різноманітних допоміжних завдань, а також забезпечення енергією сигнальної і регулюючої апаратури, освітлювальних систем, телефонного зв'язку і т.д. (рис. 8.11).

Активно ведуться розробки пристроїв для використання сонячних модулів на транспорті, причому, не тільки для забезпечення енергією самого транспортного засобу.

У Амстердамі продукти доставляють на електровелосипедах, які працюють на сонячній енергії

Компанія Роосіодіса з Амстердама недавно запустила нову місцеву транспортну систему для доставки продуктів харчування в кафе, ресторани і на підприємства громадського харчування, з використанням електричних вантажних триколісних велосипедів, які працюють на сонячній енергії.

Вантажні триколісні електричні велосипеди, оснащені сонячними панелями на даху, доставлятимуть продукти не тільки до міських підприємств громадського харчування, але й до фермерських господарств, які розташовані в межах 100 км від міста.

Ці, повністю автономні, екологічно чисті транспортні засоби, оснащені вантажним контейнером вантажопідйомністю до 300 кг і об'ємом 120x80x140, крім мускульної сили людини використовують доступну додаткову енергію, яка надходить від сонячних батарей, розміщених на даху. Базова ціна для доставки продуктів харчування на відстань до 5 км, з однією зупинкою, на велосипеді Foodlogica складає 15 євро. Поїздки на довші відстані, з численними зупинками, передбачають додаткові грошові витрати для замовників [3].

У Франції відкрили перший в світі гірський готель з автономним забезпеченням електричною енергією

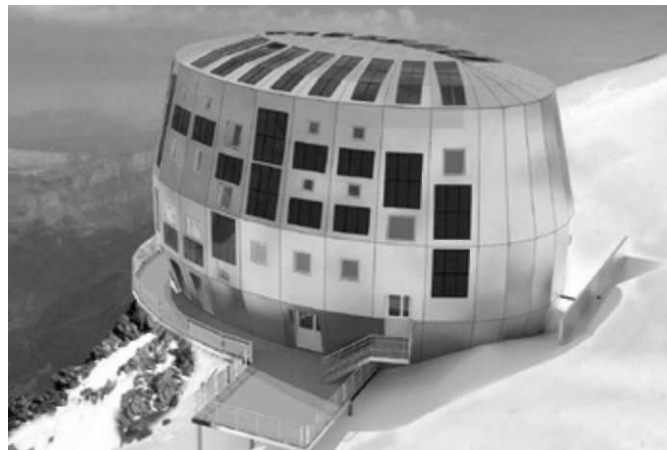


Рисунок 8.12 – Гірський готель з автономним забезпеченням електричною енергією

У Франції пройшла офіційна церемонія відкриття нового гірського готелю Refuge du Gouter, який став самою високогірною будівлею в країні.

Refuge du Gouter – гірський готель для тих, хто штурмує вершину Монблан, розташовану на висоті понад 3800 м над рівнем моря і сертифікований за стандартом HQE (висока екологічна безпека) [6].

Альпійський «притулок» є чотириповерховою будівлею з основними конструкціями із дерева, покритими листами з нержавіючої сталі. Будівля розрахована на розміщення 120 людей, яка повністю електрично незалежна. Електроенергія виробляється за рахунок використання декількох джерел: сонячних батарей, генератора на біомасі і акумуляторів. Проект є унікальним,

завдяки характеристикам самої будівлі і його географічному розташуванню. Учасникам проекту довелося докласти немало зусиль, щоб створити безпечну для відвідувачів, енергоефективну будівлю, при мінімальній дії на навколишнє середовище.



Рисунок 8.13 – Освітлення стадіону в Бразилії

Освітлення стадіону в Бразилії забезпечується енергією, яка виробляється футболістами

У Ріо-де-Жанейро відкрили футбольне поле, яке освітлюється за допомогою кінетичної енергії, яка виробляється бігаючими гравцями.

Технологія освітлення ґрунтується на розміщених під газоном двохсот невеликих плитах, які акумулюють енергію, яка виробляється рухомими по полю гравцями. Вдень енергію, яка акумулюється для освітлення, виробляють сонячні батареї, встановлені навколо поля. Таким чином, у футбол на полі можна грати цілодобово, без витрат коштів на електроенергію [3].

Такі панелі вбудовані в покриття деяких залізничних станцій в Європі, торгових центрах в Австралії і лондонському аеропорту Хитроу, але для будівництва футбольного поля були застосовані вперше.

Електростанція, яка працює на відходах дистиляції шотландського віскі

Helius Energy побудувала першу в світі електростанцію, яка працює від побічних продуктів дистиляції шотландського віскі. Так як при цьому процесі залишається величезна кількість вуглеводних і білкових мас, які можна використовувати для виробництва електричної енергії, спалюючи їх, перетворюючи в різні види енергії. Як партнер в цьому проекті виступив конгломерат виробників Rothes Whisky [4].

Турбіна в кровоносних судинах



Рисунок 8.14 – Турбіна в кровоносних судинах

Учені з університету в швейцарському місті Берн розробили мініатюрні турбіни, які, будучи поміщеними в кровоносні судини людини, даватимуть енергію для роботи його електричного кардіостимулятора [8].

VolcanElectric Mask - хмарочос, який одержуватиме енергію від вулкана

В рамках конкурсу eVolo 2013, групою китайських архітекторів був запропонований проект хмарочоса VolcanElectric Mask, який буде розташований на схилі вулкана. Енергію для функціонування ця будівля одержуватиме з розжареної магми, яка знаходиться близько від поверхні Землі [5].

BIQ house – перша в світі будівля, з енергією одержаною від водоростей



Рисунок 8.15 – Зовнішній вигляд будівлі, що одержує енергію від водоростей

У Гамбурзі відкрилася перша в світі будівля, яка одержує енергію від мікроскопічних зелених водоростей, які знаходяться на стінах і вікнах цієї архітектурної споруди. А кожне вікно цієї будівлі є невеликим біо-реактором, який виробляє електричну енергію за рахунок фотосинтезу [9].

8.3 Методи оцінки потенціалу нетрадиційних та відновлювальних джерел електричної енергії при їх впровадженні в умовах залізорудних підприємств

Враховуючи багатогранність та специфіку об'єкту вивчення для потреб альтернативної енергетики (АЕ), в межах цього виду пропонується виділяти кілька підвидів карт за змістом [25, 26]:

- карти об'єктів АЕ (що відображають розміщення тепло- та електростанцій, підприємств виробництва альтернативних видів палива);
- карти сучасного та прогнозованого стану розвитку галузей АЕ (вітроенергетики, геліоенергетики, гідроенергетики, геотермальної енергетики, біоенергетики тощо);
- карти АЕ (вітроенергетичних, геліоенергетичних, гідроенергетичних, геотермальних, біоенергетичних ресурсів, нетрадиційних ресурсів нафти та газу, ресурсів надлишкового тиску, руху й тепла речовин на об'єктах промисловості та комунального господарства та ін.); карти перспективних ділянок розвитку

(розташування об'єктів) АЕ або карти оптимізації галузі; карти впливу АЕ на довкілля.

В Україні складання картографічних атласів для потреб АЕ здійснюється як науково-дослідними установами, так і окремими вченими в рамках дисертаційних досліджень [26].

У 2001 р. Інститутом електродинаміки НАН України створений «Атлас енергетичного потенціалу відновлюваних та нетрадиційних джерел енергії України», який складається з 13 карт, на яких зображено енергопотенціал різних видів альтернативної енергії: вітрової, сонячної, геотермальної, малих річок, тваринницької і рослинної сільськогосподарської біомаси, відходів лісу, надлишкового тиску доменного газу, надлишкового тиску природного газу, шахтного метану, торфу, теплової енергії стічних вод, теплоти ґрунту та ґрунтових вод. На картах атласу розміщені дані розподілу енергетичного потенціалу за адміністративними областями, а на карті вітроенергетичних ресурсів – в межах чотирьох вітрових зон.

Подібні картографічні атласи дають можливість визначити на національному рівні пріоритетні регіони для розвитку того чи іншого напрямку АЕ. Але їх недоліки витікають з методик, застосованих для обрахунку сумарного енергетичного потенціалу за адміністративними одиницями. Вони дають дуже приблизні результати, особливо для таких напрямків, як геліо-, вітро- та геотермальна енергетика, оскільки не обчислюють розміри територій, які реально можливо відвести під зазначені енергетичні об'єкти. Для розрахунку площ, придатних для розташування вказаних видів АЕ слід враховувати цілу низку обмежуючих факторів. Тому для оперативного планування та прийняття управлінських рішень щодо розвитку окремих галузей АЕ в межах певної території необхідно передбачати проведення картографічних робіт у розрізі регіонів [27].

Відправною характеристикою енергетичних ресурсів для вітроенергетики є середня швидкість вітру. На основі даного показника більшість виробників розробляють режими роботи вітроустановок, а до технічної документації, як

правило, включається графік «крива потужності», що відображає залежність потужності вітроустановки від швидкості вітру.

В Україні на картах відображається вироблення енергії конкретними типами вітроустановок, яким віддається перевага на національному ринку вітроенергетики (Fuhrländer FL2500 (потужність 2,5 МВт) та Vestas V112 (потужність 3 МВт). Відображення на картах річного ходу вище названих показників необхідне для використання при розробці сезонних режимів роботи вітроелектростанцій [28].

Об'єкти вітроенергетики слід розміщувати якомога ближче до ліній електропередачі з рівнем напруги 110 кВ і більше, по-перше, з технічних причин (оскільки підключення до мереж меншої напруги може створювати додаткові обмеження при транспортуванні виробленої енергії та біля центрів її споживання) і, по-друге, – з економічних (близьке розташування вітроелектростанції до централізованої електромережі потребує менших капіталовкладень у прокладання нових ліній електропередачі).

Основними показниками, які характеризують геліоенергетичні ресурси є середні значення сумарної сонячної радіації та інсоляції (під терміном «інсоляція» мається на увазі пряма сонячна радіація), що надходить на різні типи поверхні, та їх річний характер. Ці показники відіграють важливу роль при виборі типу обладнання (оскільки різні типи геліоенергетичних установок уловлюють різні види сонячної радіації), а також кута його встановлення (в залежності від функціональних задач та наявної поверхні для встановлення геліосистем). Найчастіше, геліоколектори та фотоперетворювачі встановлюються під кутом по відношенню до земної поверхні для збільшення густини падіння сонячних променів (найбільший виробіток енергії відбувається коли кут падіння сонячних променів наближається до 90°), проте в деяких проектах виникає необхідність встановлювати геліоустановки на горизонтальну або вертикальну поверхню (наприклад, на фасади будівель), цим обґрунтовується необхідність складання карт надходження сонячної радіації на різні типи поверхонь. Показники надходження сонячної радіації фактично відображають теоретичний

енергопотенціал. Додатково на картах для потреб геліоенергетики доцільно відобразити середньомісячні значення висоти Сонця, тривалості сонячного свічення, показники хмарності, які враховуються при визначенні технічних параметрів геліоелектростанцій, виборі типу обладнання тощо [29].

Технічно-досяжний потенціал геліоенергетичних ресурсів відображає виробіток енергії певним типом геліосистем на одиницю площі за певний період часу і визначається з урахуванням їх технічних характеристик (в тому числі коефіцієнта корисної дії), кута встановлення та орієнтації за сторонами горизонту. Цей показник є основою для оцінки економічної доцільності використання сонячної енергії та термінів окупності будівництва електро- або теплової станції.

8.4 Оцінка вітрового потенціалу на відвалах кар'єрів залізорудних підприємств

Дослідження аеродинамічних характеристик кар'єрів склали наступну картину [24].

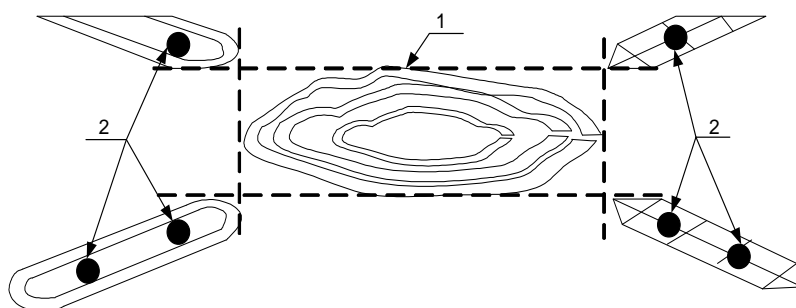


Рисунок 8.16 – Схема раціонального розташування вітроенергетичних установок на відвалах

На рис. 8.16, як приклад, показана схема раціонального розташування горизонтальноосьових ВЕУ на відвалах, яка дозволяє досягти збільшення коефіцієнта використання вітрового потоку при будь-якому напрямку вітру на поверхні землі.

Існує критерій визначення рентабельності і окупності ВЕУ. Згідно даному критерію середньорічна швидкість вітру повинна знаходитися в межах 5,1...5,9 м/с.

Важливою характеристикою є вертикальний профіль вітру, тобто зміни його швидкості по висоті в приземному шарі. Вплив земної поверхні на швидкість і напрям вітру зменшується в міру збільшення висоти. Тому швидкість звичайно зростає, а поривчастість і прискорення потоку знижуються.

Розрахункова швидкість вітру для великих ВЕУ звичайно приймається на рівні 11...15 м/с. В умовах кар'єрів, як наведено раніше, швидкість атмосферного повітря може сягати зазначеного діапазону та перевищувати ці показники, з залежності від швидкості атмосферних потоків повітря. Взагалі, як правило, чим більша потужність агрегату, тим на більшу швидкість вітру він розраховується. Але в зв'язку із зміною напрямку швидкості вітру, велику частину годин ВЕУ виробляє меншу потужність. Вважається, що якщо середньорічна швидкість вітру в даному місці не менше 5...7 м/с, а еквівалентне число годин протягом року, при якому виробляється номінальна потужність не менше 2000 кВт·год, то таке місце сприятливе для розміщення великої ВЕУ і навіть вітрової ферми.

Виходячи з результатів цих досліджень є сенс для умов кар'єрів будувати системні ВЕУ з вітровими двигунами.

Розробка і реалізація в практику роботи вітчизняних кар'єрів вітроустановок дозволить здійснювати автономне живлення від неї ряду енергоприймачів електричної енергії, що дозволить зменшити собівартість видобутку корисних копалин відкритим способом (руди, вугілля, граніту).

Середньоперіодична швидкість вітру повинна бути перерахована на задану висоту ВЕУ (H) за формулою [24]:

Середньорічне значення $m=0,2$.

$$v_H = v_h \left(\frac{H}{h} \right)^{\bar{m}}, \quad (8.1)$$

де $\bar{m} = 0,6(\bar{v}_h)^{0,77}$, а \bar{v}_h – середньоперіодна швидкість вітру на висоті флюгера (h).

Таким чином можна зробити висновок, що такі умови для збільшення швидкості повітряного потоку достатні для генерації певного обсягу електричної енергії вітроустановкою.

Існує критерій визначення рентабельності і окупності ВЕУ. Згідно даному критерію середньорічна швидкість вітру повинна знаходитися в межах 5,1...5,9 м/с.

Розрахункова швидкість вітру для великих ВЕУ звичайно приймається на рівні 11...15 м/с. В умовах кар'єрів, як наведено раніше, швидкість атмосферного повітря може сягати зазначеного діапазону та перевищувати ці показники, в залежності від швидкості атмосферних потоків повітря. Взагалі, як правило, чим більша потужність агрегату, тим на більшу швидкість вітру він розраховується. Але у зв'язку з мінливістю швидкості вітру велику частину часу ВЕУ виробляє меншу потужність. Вважається, що якщо середньорічна швидкість вітру в даному місці не менш 5...7 м/с, а еквівалентне число годин у році, при якому виробляється номінальна потужність не менше 2000, то таке місце сприятливе для використання великої ВЕУ і навіть вітрової ферми [2, 7].

Виходячи з результатів цих досліджень є доцільним в умовах кар'єрів будувати системні ВЕУ з вітровими двигунами між відвалами кар'єрів.

8.5 Оцінка потенціалу сонячної фотоенергетики на відвалах кар'єрів залізорудних підприємств

Для обґрунтування параметрів і режимів СЕУ, працюючих в невеликих локальних енергосистемах (встановленою потужністю до декількох МВт або сотень кВт), або на автономного споживача (встановлена потужність, як правило не більше 100 – 200кВт), необхідними даними при неперервному графіку зміни сонячного випромінення в часі (для особливо відповідальних споживачів) або, що найбільш розповсюджено в енергетичних режимах, –середньогодинні данні про прихід сонячного випромінення на задану сприймаючу площадку.

В такому випадку потік суммарного сонячного випромінення, поступаючого на довільно нахилену приймаючу площадку за заданий розрахунковий інтервал часу Δt , г визначається за співвідношенням [39]:

$$E_{\Sigma_i}^{\beta\gamma}(\Delta t) = E_{np_i}^{\beta\gamma}(\Delta t) + E_{\partial_i}^{\beta\gamma}(\Delta t) + E_{omp_i}^{\beta\gamma}(\Delta t) \quad (8.2)$$

де $E_{np_i}^{\beta\gamma}(\Delta t) = \bar{R}_{np_i} \Delta t$, $E_{\partial_i}^{\beta\gamma}(\Delta t) = \bar{R}_{\partial_i} \Delta t$, $E_{omp_i}^{\beta\gamma}(\Delta t) = \bar{R}_{omp_i} \Delta t$. Значення всіх складових в виразі (8.2), як і враніше описаних методах, можна одержати на основі перерахунку аналогічних складових приходу сонячного випромінення на горизонтальну приймаючу площадку.

Пряме сонячне випромінення для $\Delta t = 1$ г можна розрахувати за формулою [39]:

$$E_{np_i}^{\beta\gamma}(\Delta t) = (E_{\Sigma_i}^2 - E_{\partial_i}^2) K_{np} \quad (8.3)$$

де K_{np} – коефіцієнт який визначається з співвідношення:

$$K_{np} = \frac{\int_0^{T_{\beta\gamma}} R_{np}^{\beta\gamma}(t) dt}{\int_0^{T_z} R_{np}^2(t) dt} \quad (8.4)$$

$$E_{np_i}^{\beta\gamma}(\Delta t) = (E_{\Sigma_i}^2 - E_{\partial_i}^2) K_{np} \quad (8.5)$$

де $R_{np}^{\beta\gamma}$ і R_{np}^2 – потужність

Із вище викладеного слідує, що відбиту сонячну радіацію, яка приходить на довільно орієнтовану прийомну площадку $E_{vid\delta}^{\beta\gamma}$, можна визначити із рівняння:

$$E_{vid\delta}^{\beta\gamma} = 0,5 E_{\Sigma}^r \rho \sin \beta \quad (8.6)$$

На основі всього вищесказаного можна зробити висновок про те, що сумарна сонячна радіація, приходяча на довільно орієнтовану приймаючу площадку $E_{vid\delta}^{\beta\gamma}$, для будь-якого розрахункового інтервала часу може бути знайдена за формулою:

$$E_{\Sigma}^{\beta\gamma} = (E_{\Sigma}^r - E_{Д}^r)K_{np} + E_{Д}^r \frac{180^{\circ} - \beta}{180^{\circ}} + 0,5E_{\Sigma}^r \rho \sin \beta \quad (8.7)$$

Одержаний вираз дещо відрізняється від формули, запропонованої Лю і Джорданом в 1962 р. (Liu В. У. Н.; Jordan R. С) і модефікаванай в 1976 р. С.А. Клейном (Klein S. А.), який експериментальними розрахунками і співставленням з фактичними даними показав, что методику Лю і Джордана, розроблену для приймаючих площадок, нахилених строго на південь (тобто для $\gamma=0$) можливо застосовувати і для нахилених на південь при $\gamma \leq 45^{\circ}$.

Що стосується умов України, очевидно, потребує розробку спеціальних методичних прийомів, враховуючих значну долю дифузій сонячного випромінення протягом року. На основі виразів (8.6) і (8.7) формула, припущення Лю і Джорданом, при $\beta=0$ $\gamma=0$, виглядає так:

$$E_{\Sigma}^{\beta} = (E_{\Sigma}^r - E_{Д}^r)K_{np} + E_{Д}^r 0,5(1 + \cos \beta) + 0,5E_{\Sigma}^r \rho(1 - \cos \beta) \quad (8.8)$$

В результаті аналізу в регіонах залізородних підприємств (ЗРП) було зроблено висновок про те, що використання СЕС, яка використовується як автономно так і в складі системи електропостачання, є доцільним і достатньо рентабельним.

Середньо річна інсоляція є сприятливою, а територія відвалів промислових підприємств ЗРП зазвичай не використовується, також при достатній площі цехового даху є можливість використання їхньої площі.

За результатами досліджень було виявлено та досліджено місця можливої установки СЕС на території ЗРП.

Виходячи з проведених досліджень є можливість впровадження СЕС в умовах ЗРП, можливими місцями установки є наступні: 1) на хвостосховищі, 2) на дахах цехів та промислових будівель, в умовах ландшафту, на відвалах залізородних підприємств.

Незважаючи на достатній потенціал інсоляції (особливо в умовах Кривбасу) є певні несприятливі фактори, які ускладнюють експлуатацію СЕС в умовах ЗРП.

8.6 Оцінка гідроенергетичного потенціалу залізорудних підприємств

Відновлення обсягів виробництва товарної залізної руди підземним способом, в вітчизняних шахтах відбувається більш швидкими темпами, ніж в кар'єрах.

Більше 30% у загальній собівартості видобутої залізної руди підземним (шахтним) способом складають енерговитрати [41]. При цьому, в свою чергу, на відміну від інших способів видобутку ЗРС близько 90% в загальних енерговитратах при цьому способі видобутку займають електроенергетичні [41]. При цьому, в свою чергу, на відміну від інших способів видобутку ЗРС, близько 90% в загальних енерговитратах при цьому способі видобутку займають електроенергетичні (рис 2.7) [41].

Практично, всі головні водовідливи шахт Криворізького залізорудного басейну, за винятком водовідливу горизонту 940 м ш. Батьківщина і 1115 м ш. Жовтнева, включені в роботу приблизно з 23:00 - 24:00 годин до 6:00 - 7:00, а решту часу не працюють. Відкачування води з підземних горизонтів рудничних шахт здійснюється непротим за структурою і режимом роботи електромеханічним гідроенергетичним комплексом (рис. 8.17). Ця складність полягає в тому, що, по-перше, водопритікання в шахтах і обсяги води для відкачування непостійні, по-друге, що триває так звана «мокра консервація» відпрацьованих шахт, з одного боку, «збійка», тобто з'єднання горизонтів різних шахт в єдиний комплекс, з іншого – поглиблення, тобто зниження рівня ведення гірничих робіт, ставить тактику вирішення завдання вибору раціональних режимів роботи водовідкачуючих насосів як електромеханічних комплексів, вимушених функціонувати в багатокритеріальному алгоритмі з невстановленим прогнозом [41] .

Внаслідок роботи насосних установок в нічній зоні, незважаючи на її тривалість яка становить 7 годин, споживання електричної енергії складає 40%. Споживання енергії в години «напівпік» тривалістю 11 годин складає 38%, а в години «пік», тривалістю 6 годин – 22% (рис. 10) [41] .

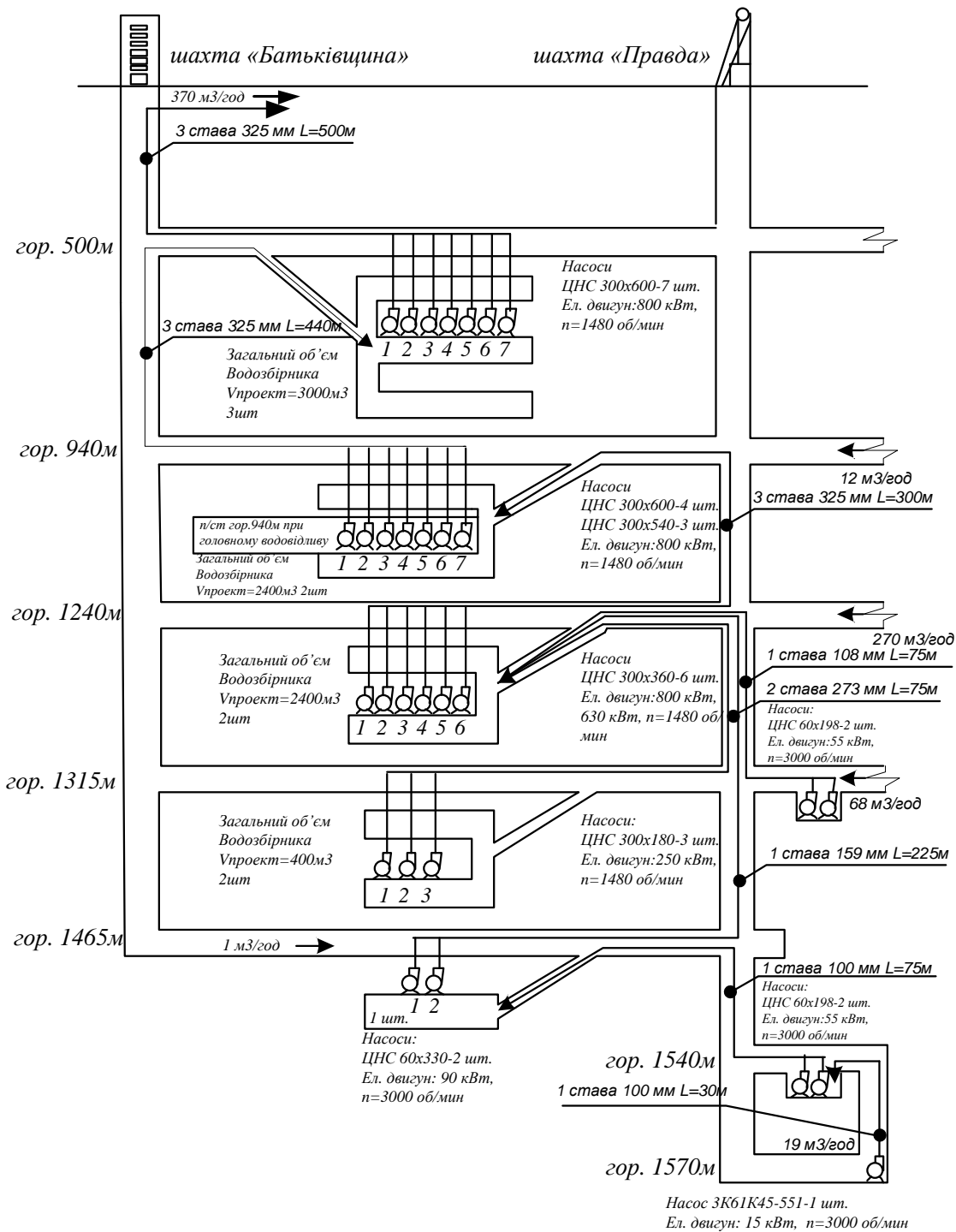


Рисунок 8.17 – Структура відкачування води водовідливними установками шахти «Батьківщина»

Найбільше споживання електричної енергії в години «пік» і «напівпік» за рахунок водовідливу, частка якого по окремих шахтах сягає майже 90% в нічні години.

Водовідливні (дренажні) установки за призначенням поділяються на головні (центральні), допоміжні (дільничні) і тимчасові (прохідницькі). До головних відносяться установки, призначені для перехоплення і відкачування всього або більшої частини очікуваного припливу води до гірничих виробіток.

При великій протяжності шахтних полів може використовуватися кілька головних водовідливних установок. На шахтах використовуються дві – три головні водовідливні установки. Вони розміщені на двох – трьох горизонтах (рис. 8.17). Головний водовідлив кожної шахти складається з 4-х ступенів, яка включає в себе: водозбірники, насосну камеру, камеру підстанції і т.д.

Насоси працюють не постійно, а включаються раз або кілька разів на добу для відкачування води. Коли водозбірники мають достатній обсяг для накопичення води, то відкачування води здійснюється повністю в нічний час (ш. Гвардійська). Коли цей обсяг не достатній для збору всієї води, то персонал змушений включати водовідливні установки і в денний час (ш. Батьківщина і ш. Жовтнева).

На рис. 8.18 наведено добовий графік навантаження водовідливних установок ПАТ «КРЗРК».

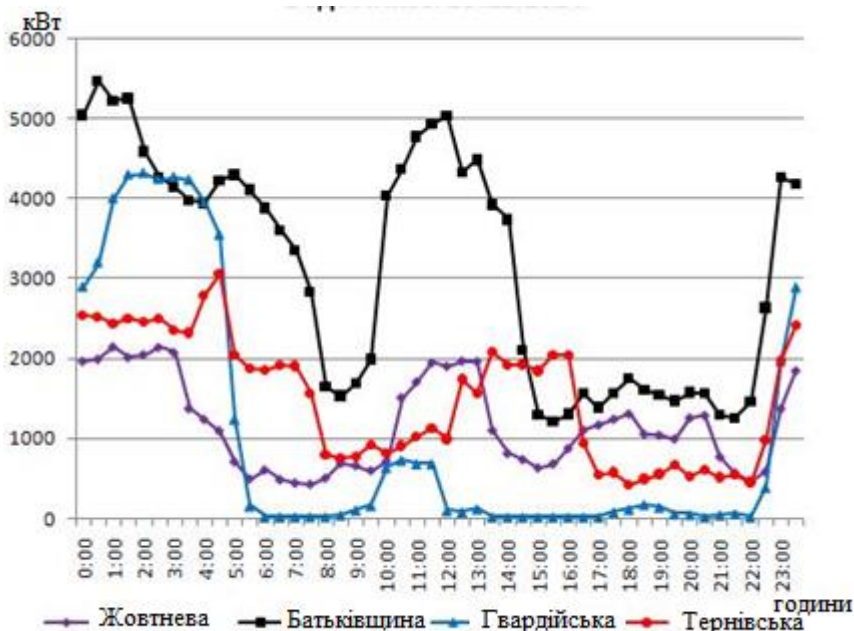


Рисунок 8.18 – Добовий графік активної потужності водовідливних установок

Аналіз графіків водовідливних установок тих же шахт показали відповідно: $K_{зап} = 0,49 - 0,57$, ($K_M = 2,04 - 1,75$). Такі значення коефіцієнтів обумовлені режимом роботи переважно в години мінімального тарифу (нічні) для зниження плати за електроенергію. Але для реалізації цього режиму потрібно приблизно 2-кратний запас електричної потужності і продуктивності насосних установок, а також підвищена ємність водозбірників. Більш глибоке регулювання здійснюється на шахтах Гвардійська і ім. Тернівська, менш глибоке - на шахтах Батьківщина і Жовтнева.

При розрахунках за електроенергію за тарифними зонами доби вигідно знижувати споживання в години максимуму енергосистеми і збільшувати споживання в нічні години, коли енергія дешевше (в 4,8 рази) [41].

Більш того, з точки зору оцінки енергоспоживання водовідливу шахт в структурі технології видобутку ЗРС, то він найменше впливає на цей процес, а отже і переформатизація його функцій в іншу більш економічну тарифну зону електроспоживання не спричинить за собою зміни технології видобутку ЗРС (рис. 8.19).

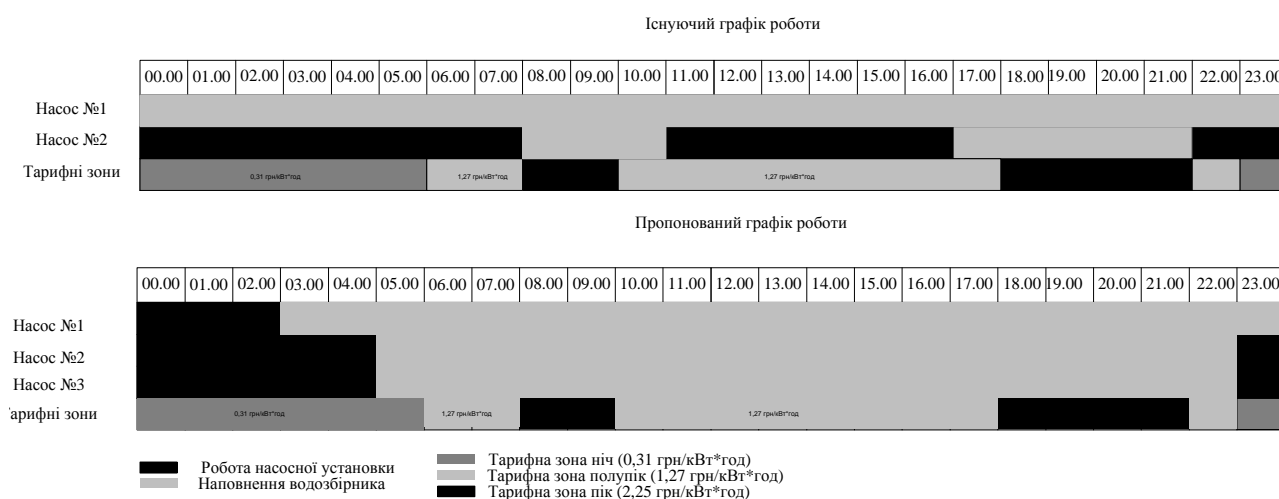


Рисунок 8.19 – Робота головних водовідливних установок горизонту 527 м

Відомо застосування для цих цілей споживачів-регуляторів, в якості яких на гірничих підприємствах часто використовують водовідливні установки. Максимальний ефект досягається, якщо в нічні години вода повністю

відкачується, а в інші години доби насоси не включаються. Але для цього необхідно мати достатній обсяг водозбірників і запас продуктивності насосів.

На доповнення до цього, постає інтерес застосування гідрогенераторів-акумуляторів, які працюють разом з насосними установами шахт і кар'єрів.

При цьому в години максимуму енергосистеми (ранкового і вечірнього) генератор виробляє електроенергію за рахунок енергії води, яка спускається з поверхні шахти або кар'єру, поповнюючи водозбірник.

Споживання ЕЕ підприємством в години максимуму, коли енергія має максимальну ціну, знижується і відповідно знижується плата за електроенергію. Може бути також поліпшений режим роботи системи електропостачання: знижені втрати напруги і енергії, поліпшений коефіцієнт потужності і ін.

У нічні години, коли ціна електроенергії мінімальна, включаються насоси водовідливу і відкачують воду з водозбірників, яка накопичилася як від природного припливу, так і від роботи гідрогенератора.

Розглянемо енергетичні складові процесу.

Потенційна енергія води, яка знаходиться на поверхні шахти або кар'єра обчислюється за формулами [42]:

$$W_{вод} = mgH, \text{ (Дж);}$$

$$W_{вод} = mgH / 3,6 \cdot 10^6 \text{ (кВт год);}$$

$$W_{вод} = V \cdot H / 360, \text{ (кВт год)}$$

де m – маса води, кг; g – прискорення вільного падіння, $9,81 \text{ м/с}^2$; H – статичний напір або різниця геодезичних відміток, м.

У гідрогенераторній установці енергія води перетворюється в електричну енергію.

$$W_{ел} = W_{вод} \cdot \eta_{ген}, \text{ (кВт год)}$$

де η – сумарний к. к. д. гідрогенераторної установки.

Потужність, яка передається в електричну мережу в години максимуму ($t_{\text{макс}} = 6$ годинам)

$$P_{ген} = W_{ел} / t_{max} = W_{ел} / 6 \text{ (кВт} \cdot \text{год)}$$

Цю ж кількість води буде потрібно відкачати насосними установками, для цього буде потрібно затратити електричну енергію, яку можна обчислювати за допомогою співвідношення

$$W_{нас} = W_{вод} \cdot \eta_{нас}, \text{ кВтГ}$$

де η – сумарний к.к.д. насосної установки.

Потужність, використана з мережі в нічні години ($t_{ноч} = 7$ годинам):

$$P_{викор} = W_{нас} / t_{ніч} = W_{нас} / 7 \text{ (кВт} \cdot \text{год)}$$

Вартість ЕЕ в години максимального електроспоживання:

$$B_{max} = W_{ел} \cdot C_{max};$$

Вартість ЕЕ в нічний час:

$$B_{ніч} = W_{нас} \cdot C_{ніч};$$

Економія в оплаті електроенергії дорівнює різниці вартості в години максимуму електроспоживання і нічний час, тобто:

$$\Delta B = B_{max} - B_{ніч} = W_{ел} \cdot C_{max} - W_{нас} \cdot C_{ніч}$$

де C_{max} – ціна 1 кВтГ год в години максимуму споживання енергосистеми; $C_{ніч}$ – ціна 1 кВтГ год в нічні години.

З урахуванням складових вираз можна записати слідуючим чином:

$$\Delta B = mgH / 3,6 \cdot 10^6 (C_{max} \cdot \eta_{ген} - C_{ніч} / \eta_{нас}), \text{ (грн.)}$$

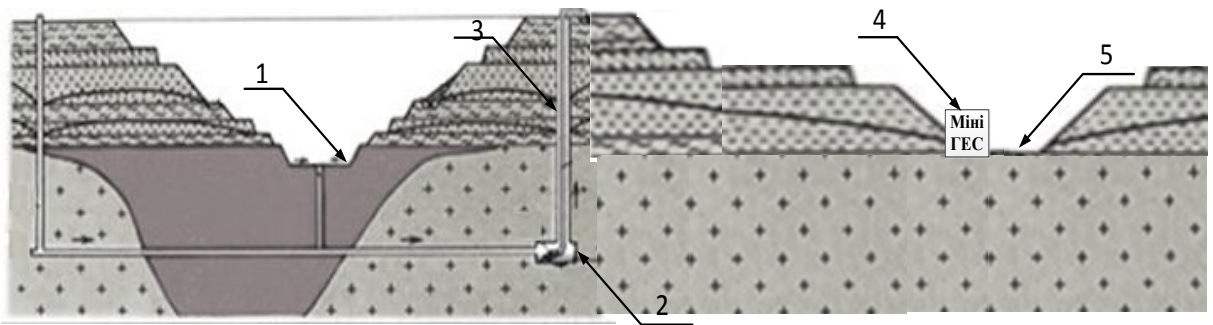


Рисунок 8.20 – Технологічна схема відкачування води з кар'єру

де 1 – місце накопичення води для відкачування; 2 – насос для відкачування води; 3 – труба по якій відкачується вода з кар'єру; 4 – турбіна мініГЕС, 5 – відстійники (хвостосховище)

При підземному водовідливі в кар'єрі вода перекачується або відводиться в спеціальні дренажно-водовідвідні вироблення (штреки), пройдені з ухилом у бік водозбірника з насосною камерою, звідки вона відкачується насосами на поверхню через водовідливні стволи або свердловини в поверхневі потоки або водойми. При цьому використовуються, в основному, ті ж самі насоси (рис 8.20).

8.7 Оцінка потенціалу незадіяного (відпрацьованого) вентиляційного потоку залізорудних підприємств

Шахтна вентиляційна мережа – це сукупність: гірничих виробіток і споруд, вздовж яких рухається повітря; виробіток, вентиляційних споруд і вироблений простір, через які просочується повітря в кількості, яке справляє вплив на провітрювання шахти [68-69].

Шахтна вентиляційна система характеризується: схемою руху повітря в мережі; аеродинамічним режимом повітряних течій; інтенсивністю вентиляційного процесу (обміну і перенесенням маси і енергії).

Головними параметрами шахтної вентиляційної системи є: концентрація шкідливих домішок в шахтній атмосфері; об'ємні дебіти повітряних потоків (розподіл повітря в мережі); аеродинамічний опір гірських виробіток і споруд; депресія джерел природної та штучної тяги.

Фактори, що впливають на природну тягу [41]:

- температура повітря в гірничих виробках (визначає його густина);
- температура повітря на поверхні;
- температури стовпів повітря, які знаходяться над різними входами в шахту в гористій місцевості;
- тиск повітря поверхні землі (визначає густина повітря).

Із збільшенням глибини шахти депресія природної тяги змінюється експотенціально.

Взимку депресія природної тяги дещо збільшується. Влітку відбувається зворотне явище. Так як ці зміни незначні, тому характеристика природної тяги вважається постійною, тобто такою що не залежить від витрати повітря.

Определение депресивной тяги при одновременном соединении выработок между собой на нескольких горизонтах.

Вентилятор включается в шахтну вентиляційну мережу по одній з схем, показаних на рис. 8.21 [65-66].

При цьому витрати вентилятора рівні:

$$Q_1 = Q_2 = Q_3 \quad (8.9)$$

А загальна депресія складається з депресій всіх вентиляторів:

$$h_{заг} = h_1 + h_2 + h_3 \quad (8.10)$$

Спосіб вентиляції – це спосіб подачі повітря в шахту: нагнітальний, всмоктувальний і комбінований (нагнітально-всмоктувальний) – рис. 8.21. Всмоктувальний спосіб рекомендується тільки на газобільних шахтах.

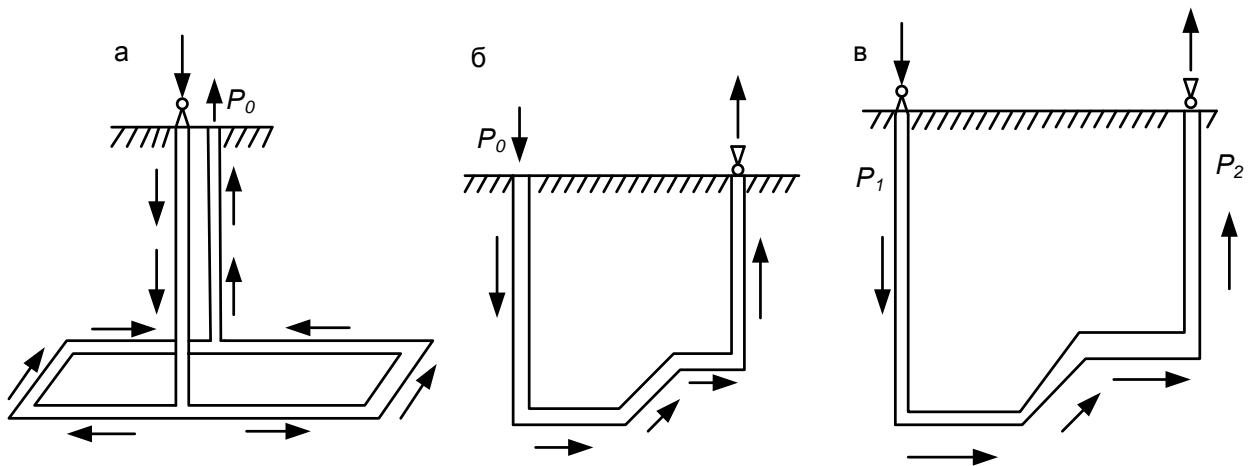


Рисунок 8.21 – Способи вентиляції шахт і копалень: а – нагнітальний (при центральному розташуванні стволів); 2 – всмоктувальний і 3 – комбінований

Таким чином запропоновано такі способи розміщення ВЕУ в умовах шахт для роботи на енергії незадіяних та відпрацьованих повітряних вентиляційних потоках:

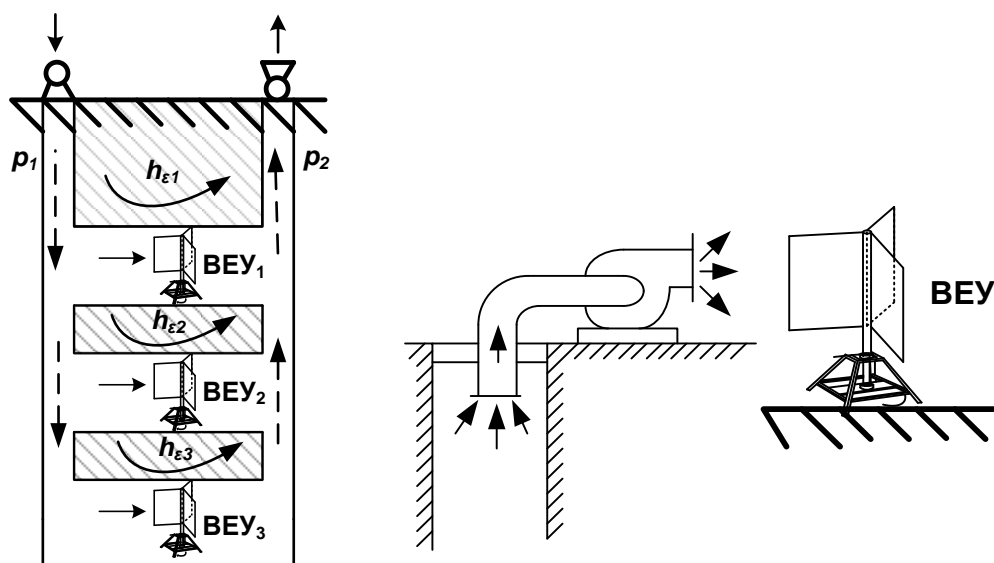


Рисунок 8.22 – Способи розміщення вітроенергетичних установок в умовах шахт для роботи на енергії незадіяних та відпрацьованих повітряних вентиляційних потоках

Отже, зваживши всі переваги та недоліки існуючих ВЕУ, можна сказати, що для роботи в умовах шахт ВЕУ з вертикальною віссю обертання є найбільш оптимальним варіантом.

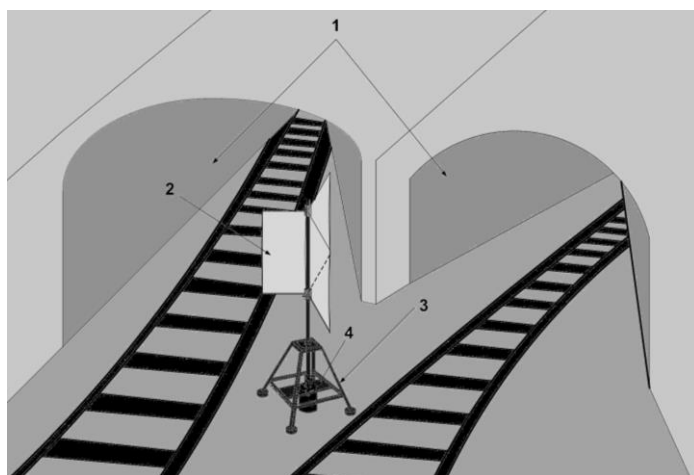


Рисунок 8.23 – Схема розташування ВЕУ у шахті: 1 – перший та другий квершлаг, 2 – лопаті вітроколеса, 3 – металева опора вітроколеса, 4 – генератор.

Як показано на рис. 8.23, поставлене завдання можна вирішити за рахунок того, що вітрогенератор використовується для перетворення кінетичної енергії

постійного в часі повітряного потоку, що рухається в одному сталому напрямку, який відрізняється тим, що вітрогенератор монтується на спряженні двох квершлагів, капітальних підземних виробок діючих шахт, що дозволяє використовувати незадіяну кінетичну енергію вентиляційних повітряних потоків.

Спосіб розташування ВЕУ у шахті реалізується наступним чином.

У капітальній підземній виробці на спряженні двох квершлагів 1 встановлюється один вітрогенератор. При чому він монтується таким чином, щоб відстань між вітроколом, стінами та коліями була достатньою для безпечної роботи вітрогенератора, людей та руху електровозів.

Постійні в часі вентиляційні потоки повітря, що набігають, мають достатню швидкість, рухаючись в одному й тому ж сталому напрямку, потрапляють на лопаті (2) вітрового колеса, приводячи його у рух. Кінетична енергія вітрокола передається на вал генератора (4), який генерує електричну енергію. Згенерована електроенергія надходить безпосередньо до електромережі залізрудних шахт.

Виходячи з вище сказаного, можна зробити висновок про те, що використання ВЕУ в умовах залізрудних шахт як додаткового джерела живлення є актуальним для забезпечення умови безперебійності систем електропостачання освітлювальних мереж підземних виробок залізрудних шахт.

Контрольні питання до розділу 8

1. Яку роль відіграють альтернативні джерела енергії у соціальній і економічній сфері?
2. Наведіть приклади застосування альтернативної енергетики в Україні та у світі.
3. Які існують особливості розташування вітрогенераторів в кар'єрах та в рудних шахтах?
4. Які особливості розташування сонячних електростанцій в умовах кар'єрів?
5. Які особливості застосування мікро-ГЕС в умовах кар'єрах та в рудних шахтах?

Список використаної та рекомендованої для користування літератури

1. Твайделл Дж., Уэйр А. Возобновляемые источники энергии: Пер. с англ. – М.: Энергоатомиздат. 1990. – 392 с.
2. Коробков В.А. Преобразование энергии океана. – Л.: Судостроение, 1986. – 280 с.
3. Сичкарев В.И. Волновые энергетические станции в океане / В.И. Сичкарев, В.А. Акуличев. – М.: Наука, 1989. – 132 с.
4. Праховник А.В. Малая энергетика: распределенная генерация в системах энергоснабжения – К. : «Освіта України», 2007. – 464с.
5. Альтернативные энергоносители / М.В. Голицын, А.М. Голицын, Н.В. Пронина; Отв. ред. Г.С. Голицын. – М. : Наука, 2004. – 159 с.
6. Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии: Учебное пособие. – Тамбов : Изд-во Тамб. гос. техн. ун-та, 2003. – 96 с.
7. Варламов Г.Б., Любчик Г.М., Маляренко В.А. Теплоэнергетичні установки та екологічні аспекти виробництва енергії / Підручник. – К. : “Політехніка”, 2003. – 228 с.
8. Денисенко Г.И. Возобновляемые источники энергии. – К. : Вища школа, 1983. – 168 с.
9. Приливные электростанции // Под ред. Л.Б. Бернштейна. – М. : 1994. Т. 1.
10. Красовский Н.В. Ветроэнергетические ресурсы и перспективы их использования / Н.В. Красовский. – СПб. : Знание, 1990. – 97 с.
11. Атлас енергетичного потенціалу відновлюваних та нетрадиційних джерел енергії України / Кудря С.О., Яценко Л.В., Душина Г.П. та інш. – НАН України, державний комітет України з енергозбереження. – К. : 2001. – 41 с.
12. Макаровский С.Н. Особенности работы электростанций на нетрадиционных возобновляемых источниках энергии и пути повышения эффективности // Гидротехническое строительство. 2001, №1, С. 33–36.
13. Лабейш В. Г. Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии / В.Г. Лабейш. – СПб. : СЗТУ, 2003. – 80 с.
14. Скалкин Ф. В. Энергетика и окружающая среда / Ф. В. Скалкин,

- А. А. Канаев, И. З. Копп. – Л. : Энергоиздат, 1981. – 280 с.
15. Ревелль П. Среда нашего обитания. Кн. 3. Энергетические проблемы человечества / П. Ревелль, Ч. Ревелль. – М. : Мир, 1995. – 291 с.
16. Гидроэнергетика и комплексное использование водных ресурсов / Под ред. Непорожного П. С. – М. : Энергоиздат, 1982. – 559 с.
17. Юдасин Л. С. Энергетика: проблемы и надежды / Л. С. Юдасин. – М. : Просвещение, 1990. – 207 с.
18. Усковский В. М. Возобновляющиеся источники энергии / В. М. Усковский. – М. : Россельхозиздат, 1986. – 126 с.
19. Рубан С. С. Нетрадиционные источники энергии / С. С. Рубан. – М. : Энергия, 2003. – 326 с.
20. Энергетические ресурсы мира; под ред. П. С. Непорожного, В. И. Попкова. – М. : Энергоатомиздат, 1995. – 232 с.
21. Основні результати та завдання впровадження нетрадиційних та відновлюваних джерел енергії в Україні / Шульга В. Г., Коробко Б. П., Жовмір М. М. // Энергетика и электрификация. – 1995. – №2. – С. 39–42.
22. Кириллин В. А. Энергетика. Главные проблемы: В вопросах и ответах. / В. А. Кириллин. – М. : Знание, 1990. – 128 с.
23. Источники энергии. Факты, проблемы, решения. – М. : Наука и техника, 1997. – 110 с.
24. Голицын М. В. Альтернативные энергоносители / М. В. Голицын, А. М. Голицын. – М. : Наука, 2004. – 159 с.
25. Ляшков В. И., Кузьмин С. Н. Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии: Учебное пособие. – Тамбов: Изд-во Тамб. гос. техн. ун-та, 2003. – 96 с.
26. А. Магомедов Нетрадиционные возобновляемые источники энергии. – Махачкала : Издательско-полиграфическое объединение «Юпитер», 1996. – 245 с.
27. Золотницкий В. А. Новые газотопливные системы автомобилей / Под научн. ред. С. Н. Погребного. – М. : Издательский Дом Третий Рим, 2005. – 64 с.

28. Сабади П.Р. Солнечный дом / Пер. с англ. Н.Б.Гладковой. – М.: Стройиздат, 1981. – 113 с.
29. Системы солнечного тепло- и хладоснабжения / Р.Р. Аvezов, М.А. Барский-Зорин, И.М. Васильева и др.; Под ред. Э.В. Сарнацкого и С.А. Чистовича. – М.: Стройиздат, 1990. – 328 с.
30. Ушаков В.Г. Нетрадиционные возобновляемые источники энергии / В.Г. Ушаков. – Новочеркасск: НГТУ, 1994. – 120 с.
31. Красовский Н.В. Ветроэнергетические ресурсы и перспективы их использования / Н.В. Красовский. – М.; СПб.: Знание, 1990. – 97 с.
32. Лучков Б.И. Солнечный дом, солнечный город / Б.И. Лучков // Наука и жизнь. – 2002. – № 12. – С. 26–31.
33. Левенберг В.Д. Энергетические установки без топлива. – Л.: Судостроение, 1987. – 104 с.
34. Н.Н. Громов Источники энергии на основе общеизвестных физических эффектов. – Нижний Новгород, 2001 г. – 25 с.
35. Харитонов В.П. Автономные ветроэлектрические установки. – М.: ГНУ ВИЭСХ, 2006. – 280 с.
36. Мала енергетика та її значення в регіональних системах майбутнього / В.Д. Білолід, К.В. Таранець // Проблеми загальної енергетики. – 2008. – №18. – С. 40–47.
37. Волшанин В.В. О классификации и терминологии нетрадиционных источников гидравлической энергии // Гидротехническое строительство. – 2001. – №2. – С. 52–56.
38. Лабейш В.Г. Гидравлические расчеты энергооборудования. – Л.: СЗПИ, 1991. – 88 с.
39. Лабейш В.Г. Природоохранные технологии в теплоэнергетике. – СПб.: СЗТУ, 2001. – 80 с.
40. Реєстр альтернативних видів палива Державного агентства з енергоефективності та енергозбереження України (Держенергоефективності). – Київ, 2011. – 42 с.

41. В.А. Малярєнко. Энергосбережение и централизованное теплоснабжение в концепции развития коммунальной энергетики//Энергосбережение, энергетика, энергоаудит.–2007.–№3.–С.72–77.
42. В.А. Малярєнко, О.І.Яковлєв, І.Г.Жиганов. Розвиток біоенергетики – важливий шлях підвищення енергозалежності сільгоспвиробника// Энергосбережение, энергетика, энергоаудит. –2006. – №12. – С.8–20.
43. Про заходи щодо стабілізації становища в паливно–енергетичному комплексі: Постанова від 22 березня 2000 року №538/ Україна. Кабінет Міністрів; Україна.Кабінет Міністрів //Офіційний вісник України. – 2000. – № 12 . – С. 128–139
44. Гайдук В. Розвиток паливно–енергетичного комплексу України як основи її економічної безпеки //Економіка України. – 2001. – № 5. – С. 4–7
45. Добірка статей про паливно–енергетичний комплекс //Вісник Національної Академії наук України. – 1999. – № 9. – С. 3–34
46. Концепція державної енергетичної політики України на період до 2020 року //Національна безпека і оборона. – 2001. – № 2. – С. 2–54
47. Мельничук Л. Паливно–енергетичний комплекс України //Колега. – 2001. – № 4–5. – С. 2 – 9
48. Пендзин О. Аналіз сучасного стану паливно–енергетичного комплексу України //Євроатлантикінформ. – 2006. – № 2. – С. 17–26
49. Повний С. Паливно–енергетичний комплекс як об’єкт державного управління //Вісник Національної академії державного управління при Президентіві України. – 2005. – № 1. – С. 262–266.
50. Семенов Г. Трансформація економіки та енергетичний потенціал України в період кризи //Економіка. Фінанси. Право. – 2000. – № 1. – С. 3–7.
51. Яснюк Т. Стан і перспективи регіонального розвитку паливно–енергетичного комплексу України //Краєзнавство. Географія. Туризм.. – 2003. – № 2. – С. 2–5.
52. Самойлік М.С., Чудан К.А., Шуліка А.О. Оцінка біоенергетичного потенціалу Полтавської області. – Вісник Полтавської державної аграрної

- академії. – 2011. – №1. – С. 36–41.
53. Агроекологічний атлас Полтавщини / В.М. Писаренко, Ю.С. Голік, П.В. Писаренко [та ін.]. – Полтава: Оріяна, 2009. – 70 с.
54. *World Energy Outlook –2015*, OECD/IEA, Paris.
55. Енергетична стратегія України на період до 2035 р. // Сайт Міністерства енергетики та вугільної промисловості України: [Електронний ресурс]: <http://mpe.kmu.gov.ua>.
56. Енергетика України: стан і тенденції розвитку // Національна безпека і оборона. – 2012. – № 6(135). – С. 2–41.
57. Аналітична записка БАУ № 13 (2015) «АНАЛІЗ ЕНЕРГЕТИЧНИХ СТРАТЕГІЙ КРАЇН ЄС ТА СВІТУ І РОЛІ В НИХ ВІДНОВЛЮВАНИХ ДЖЕРЕЛ ЕНЕРГІЇ».
58. Альтернативные энергоносители / М.В. Голицын, А.М. Голицын, Н.В. Пронина; Отв. ред. Г.С. Голицын. – М. : Наука, 2004. – 159 с.
59. Денисенко Г.И. Возобновляемые источники энергии. – К. : Вища школа, 1983. – 168 с.
60. Лабейш В. Г. Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии / В.Г. Лабейш. – СПб. : СЗТУ, 2003. – 80 с.
61. С.М. Бойко, Д. А. Михайличенко, О. В. Дозоренко Система керування вітроенергетичною станцією для електропостачання в умовах підприємств гірничо-видобувної галузі Матеріали XIII міжнародна научна практична конференція «ключові въпроси в съвременната наука - 2017» Volume 11 : Технически науки, София .«Бял ГРАД-БГ»,2017 С. 35-37.
62. С.М. Бойко, Д. А. Михайличенко, С. В. Вирвикишка Актуальність впровадження концепції активного споживання електричної енергії в умовах ГВК Матеріали XIII міжнародна научна практична конференція «ключові въпроси в съвременната наука - 2017» Volume 11: Технически науки. София .«Бял ГРАД-БГ», 2017 S. 38-40.
63. С.М. Бойко, Д. А. Михайличенко, В. С. Демків Особливості алгоритму роботи сонячних електростанцій в умовах гірничодобувних підприємств

- Materiály XIII mezinárodní vědecko – praktická konference «efektivní nástroje moderních věd - 2017» Volume 12: Technické vědy. Praha publishing house «Education and Science», 2017 S. 24-26.
64. С.М. Бойко, О. В. Дозоренко Електротехнічний комплекс електропостачання гірничих підприємств на базі вітроенергетичної станції. Всеукраїнська науково-практична конференція «Актуальні питання гірничо-металургійного виробництва» Збірник тез доповідей. Кривий Ріг: ДВНЗ «КНУ», 2017 С. 55.
65. С.М. Бойко, С. В. Вирвикишка До питання впровадження концепції активного споживання електричної енергії в умовах ВАТ «Полтавський ГЗК» Всеукраїнська науково-практична конференція «Актуальні питання гірничо-металургійного виробництва» Збірник тез доповідей. Кривий Ріг: ДВНЗ «КНУ», 2017 С. 64.
66. С.М. Бойко, Сінчук О.М., Сінчук І.О Система управління електропотреблением горнорудных предприятий с целью повышения электроэнергоэффективности добычи железорудного сырья Технічна Електродинаміка. Науково-прикладний журнал. №6, 2016 – К., Інститут Електродинаміки НАН України, 2016. – С. 60-62.
67. С.М. Бойко, О. М. Сінчук , І. О. Сінчук, І. А. Мінаков Алгоритм вибору нетрадиційних та відновлювальних джерел електричної енергії до локальної системи електропостачання підприємств гірничо-видобувного комплексу Electronics and Communications, Volume 21, №5(94),2016 с. 6-13
68. С.М. Бойко, Особливості електропостачання підприємств гірничо-видобувного комплексу з використання відновлювальних джерел електроенергії Всеукраїнська науково-практична конференцію «Актуальність питання гірничо-металургійного виробництва»: Збірник тез доповідей. Кривий Ріг: ДВНЗ «КНУ», 2016 С. 47-48.
69. Розен Віктор Петрович. Формування енергоефективних режимів електроспоживання виробничих систем.- Дисертація д-ра техн. наук: 05.09.03, Держ. вищ. навч. закл. "Нац. гірн. ун-т". - Д., 2013.- 360 с.

НАВЧАЛЬНЕ ВИДАННЯ

Сінчук Олег Миколайович
Бойко Сергій Миколайович
Сінчук Ігор Олегович
Ялова Олена Миколаївна

СПЕЦІАЛЬНІ РОЗДІЛИ ЕНЕРГЕТИКИ.
НЕТРАДИЦІЙНА ТА ВІДНОВЛЮВАЛЬНА ЕНЕРГЕТИКА

ПІДРУЧНИК

Підписано до друку _____
Формат __х__ / __. Ум. др. арк. __
Тираж __ прим.