

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ВОДНОГО
ГОСПОДАРСТВА ТА ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ

Є. Г. ГЕРАСИМОВ, Г. Г. ГЕРАСИМОВ

ВИКОРИСТАННЯ
ВІДНОВЛЮВАЛЬНИХ ДЖЕРЕЛ ЕНЕРГІЇ

Навчальний посібник

Рівне 2023

УДК 620.91(075.8)

Г37

Рецензенти:

Волощук В. А., д.т.н., професор, завідувач кафедри автоматизації теплотехнічних процесів Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»;

Коваленко В. Л., д.т.н., професор, завідувач кафедри електротехніки та енергоефективності Запорізького національного університету;

Турченко В. О., д.т.н., професор, завідувач кафедри водної інженерії та водних технологій Національного університету водного господарства та природокористування.

Рекомендовано вченою радою Національного університету водного господарства та природокористування.

Протокол № 5 від 24 червня 2022 р.

Герасімов Є. Г., Герасимов Г. Г.

Г37 Використання відновлювальних джерел енергії : навч. посіб. [Електронне видання]. Рівне : НУВГП, 2023. 467 с.

ISBN 978-966-327-542-0

Викладено матеріали перетворення енергії різних видів відновлювальних джерел: сонячної, вітрової геотермальної, водної і біомаси в енергію електричну або теплову. Розглянуто конструкції, принципи дії, параметри і способи розрахунку установок використання відновлювальних джерел енергії. Показано ефективність та перспективу використання відновлювальних джерел енергії в умовах України.

Навчальний посібник призначений для студентів закладів вищої освіти в галузі знань 14 «Електрична інженерія», спеціальностей 144 «Теплоенергетика», 145 «Гідроенергетика».

УДК 620.91(075.8)

ISBN 978-966-327-542-0

© Є. Г. Герасімов,

Г. Г. Герасимов, 2023

© Національний університет

водного господарства та

природокористування, 2023

З М І С Т

ЗМІСТ	3
ВСТУП	6
1. АКТУАЛЬНІСТЬ ВПРОВАДЖЕННЯ ВІДНОВЛЮВАЛЬНИХ ДЖЕРЕЛ ЕНЕРГІЇ	10
1.1 Основні поняття та визначення.....	10
1.2 Проблема забезпеченості енергоресурсами в Україні і світі.....	18
1.3 Розвиток відновлювальних джерел енергії.....	21
1.4 Основні цілі Європейського союзу та України в сфері використання енергетичних ресурсів.....	23
1.5 Законодавство, правова та нормативна база розвитку відновлювальної енергетики України.....	24
2. СОНЯЧНА ЕНЕРГІЯ	27
2.1 Потенціал і перспективи використання сонячної енергії.....	27
2.2 Основні характеристики та енергетичні показники сонячної радіації.....	31
2.3 Сонячна радіація на нахилені поверхні.....	32
2.4 Сонячна електроенергетика.....	39
2.5 Сонячні установки з трубчастими і плоскими колекторами.....	47
2.6 Використання сонячної енергії в промисловості.....	55
2.7 Промислові сонячні електростанції.....	65
3. ГЕОТЕРМАЛЬНА ЕНЕРГІЯ	73
3.1 Особливості геотермальної енергії.....	73
3.2 Джерела геотермальної енергії.....	77
3.3 Характеристика геотермального джерела.....	79
3.4 Принцип роботи геотЕС.....	82
3.5 Використання геотермальної теплоти за рахунок теплових насосів.....	84
3.6 Компресори теплових насосів.....	93
3.7 Теплонасосні установки.....	96
4. ВІТРОВА ЕНЕРГІЯ	104

4.1	Енергетичний потенціал вітрової енергетики в Україні і світі.....	104
4.2	Вітер як джерело енергії.....	108
4.3	Елементи теорії використання вітру.....	112
4.4	Енергія вітру і робота повітряного потоку.....	118
4.5	Типи вітродвигунів.....	120
4.6	Методи і засоби перетворення вітрової енергії.....	127
4.7	Конструкції вітроенергетичних установок.....	130
4.8	Розвиток вітроенергетичних установок.....	136
4.9	Екологічні аспекти вітроенергетики.....	151
5.	ЕНЕРГІЯ ВОДНИХ РЕСУРСІВ.....	157
5.1	Гідроенергетичні ресурси в світі і Україні.....	157
5.2	Етапи розвитку гідроенергетики.....	160
5.3	Перспективи розвитку гідроенергетики.....	166
5.4	Класифікація малих ГЕС.....	170
5.5	Аналіз стану малих ГЕС України.....	173
5.6	Устаткування для малих ГЕС.....	179
5.7	Енергія водних ресурсів.....	224
6.	ЕНЕРГІЯ БІОМАСИ.....	258
6.1	Енергетичний потенціал біомаси.....	258
6.2	Основні характеристики енергії біомаси.....	262
6.3	Технологічні аспекти виробництва біопалива.....	266
6.4	Проектування біогазової установки.....	281
6.5	Виробництво та використання твердого біопалива.....	383
6.6	Перспективи розвитку використання енергії біомаси в Україні.....	309
7.	ВОДНЕВА ЕНЕРГЕТИКА.....	316
7.1	Енергетичні властивості водню.....	316
7.2	Виробництво водню.....	318
7.3	Турбогенераторний і термохімічний процес отримання водню.....	338
7.4	Електрохімічне розкладання води із застосуванням штучного листя.....	349

7.5	Потенціал застосування водню.....	363
7.6	Практичне використання водневої енергетики.....	367
8.	ЕФЕКТИВНІСТЬ НАНОТЕХНОЛОГІЙ.....	377
8.1	Інновації та нанотехнології в Україні і світі.....	377
8.2	Практичні кроки нанотехнології.....	395
9.	ЕКОЛОГІЧНА БЕЗПЕКА. НЕОБХІДНІСТЬ РОЗВИТКУ ВІДНОВЛЮВАЛЬНОЇ ЕНЕРГЕТИКИ В УКРАЇНІ.....	404
9.1	Інженерна екологія енергетики.....	404
9.2	Погіршення стану біосфери в Україні.....	417
9.3	Організаційні та еколого-економічні засади використання відновлювальних енергоресурсів.....	427
9.4	Оцінка економічної ефективності інвестицій.....	432
9.5	Необхідність прискореного розвитку використання відновлювальних джерел енергії.....	436
	СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	449
	ПРЕДМЕТНИЙ ПОКАЖЧИК.....	460

ВСТУП

Сталий економічний розвиток кожної країни залежить від успішності вирішення проблем економіки, енергетики та екології. Усі ці галузі взаємозв'язані і повинні співіснувати злагоджено. Наприклад, не можна допустити, щоб енергетика розвивалася за рахунок довкілля чи поза законами економіки. Не можна допустити швидкого вичерпування запасів енергоносіїв, бо незабаром виникне загроза промисловості та виробництву продуктів споживання. Найбільш раціональним способом розвитку є екологічний, тобто принцип постійного і врівноваженого розвитку, який об'єднує всі ці залежності [1].

Стурбованість проблемами енергетики майбутнього цілком природня, оскільки енергія є основою для життєдіяльності людства. Енергія необхідна для обігріву, виробництва і приготування їжі, створення товарів. Оскільки людство розвивається, росте запит людей на послуги, тому буде продовжуватися зростання потреби в енергії [2]. У зв'язку із підвищенням вимог людей до комфорту на початку ХХ століття споживання енергії перевищило біологічно необхідний рівень у 5,5 рази, у 1980 році – у 13,3 рази, а на початок ХХІ століття у 23–25 разів [3].

Розвіданих світових запасів вугілля людству вистачить на 200 років, нафти і природного газу – на 36 років, ядерного палива на – 40 років. Стає зрозумілим, що енергетична політика ХХІ століття ґрунтуватиметься на використанні нетрадиційних відновлювальних екологічно чистих джерелах енергії: сонячна енергія, енергія вітру, тепло Землі, води, зовнішнього повітря, енергії біомаси, енергії вторинних енергоресурсів [4].

Світове співтовариство вже давно усвідомило обмеженість викопного палива і негативний вплив його використання на екологію. Передові держави світу вже тепер впроваджують програми поступового переходу на екологічні чисті і відновлювальні джерела енергії. В багатьох країнах з успіхом працюють сонячні, вітрові, приливні, геотермальні і гідроенергетичні станції.

Проте у альтернативної енергетики багато проблем. Наприклад, *проблема географічного розподілу енергетичних ресурсів.*

Вітряні електростанції будуються в районах, де дують сильні вітри, сонячні – де мінімальна кількість похмурих днів, гідроелектростанції – на крупних річках.

Друга проблема альтернативної енергетики – *нестабільність*. На вітрових електростанціях виробіток залежить від відру, який постійно змінює швидкість або взагалі затихає. Сонячні електростанції гірше працюють в похмуру погоду і зовсім не працюють вночі [5].

Основний недолік нетрадиційних і відновлювальних джерел енергії (НВДЕ) – *низька щільність енергії*. Так, для вітрових, сонячних, геотермальних установок характерні щільності енергії менше 1 кВт/м², тоді як у сучасних котлах і ядерних реакторах досягаються в тисячу разів більші щільності теплового потоку. Відповідно нетрадиційні енергоустановки мають більші габарити, металоємність, займають значно більші площі в порівнянні з діючими ТЕС, АЕС, котельнями [6].

Ні вітер ні Сонце не враховують потреби споживачів енергії. В той же час виробіток енергії теплоатомними і гідроелектростанціями постійний і легко регулюється. Вирішити дану проблему може тільки будівництво великих сховищ енергії, для створення резерву на випадок низького виробітку, наприклад будівництво акумулюючих гідроелектростанцій. Проте це сильно здорожує всю систему [5].

Сьогодні Україна започатковує і розвиває масштабне впровадження технологій використання нетрадиційних і відновлювальних джерел енергії. Це визначає значний обсяг робіт, який необхідно виконати для успішного освоєння нових джерел енергії, що збережуть мільйони тонн органічного палива.

Потенціал відновлювальних джерел енергії в Україні за рік оцінюється наступними параметрами:

Вітрова енергія.....	20–30 млн т у. п.;
Сонячна енергія.....	400 млн т у. п.;
Потужність малих, міні і мікро ГЕС.....	600 МВт;
Геотермальна енергія.....	600 млрд т у. п.;
Біомаса і інші види місцевого палива.....	46 млн т у. п.

У теперішній час Україна належить до енергодефіцитних країн і задовольняє свої потреби в енергетичних ресурсах за рахунок власного виробництва менше ніж на 50%. Поряд з цим ефективність використання паливно-енергетичних ресурсів в економіці країни низька, енергоємність валового внутрішнього продукту в два рази вища за енергоємність в промислово розвинутих країнах світу. Разом з тим відомо, що витрати на видобуток або на купівлю природного палива в 2–2,5 рази вищі, ніж за тону умовного палива, отриманого за рахунок впровадження енергоощадності [7].

Величезний інтерес в суспільстві виникає до нових енергоощадних технологій, що дають можливість зводити такі споруди і будинки, які споживають мінімальну кількість енергії, причому переважно енергії дармової (сонце, вітер, вода, ґрунт). Порівняно з нашими стандартами, комфорт в таких будинках – набагато вищий. В Європі будинки з сонячними колекторами або тепловими насосами – це стандарт. В багатьох європейських країнах заборонено законом встановлення традиційного котла, а в Іспанії – ще й зведення будинку без сонячного колектора. Пасивне будівництво в усьому світі динамічно розвивається. Так, в Австрії, яка є лідером цього напрямку, таких будинків споруджено вже 500 тисяч [8].

Особливості сучасної політики енергозбереження і використання відновлювальних джерел енергії в Україні обумовлені основними нормативно-правовими документами, серед яких можна виділити такі: «Енергетична стратегія України до 2030 року», «Закон про електроенергетику», «Закон про засади функціонування ринку електричної енергії України», «Енергетична стратегія ЄС до 2020 року». На основі цих документів визначено основні нормативно-правові, організаційні, технічні та технологічні заходи з енергозбереження та використання відновлювальних джерел енергії [9].

Головним завданням для України в даний час є створення науково-технічної бази відновлювальної енергетики з метою поступової заміни традиційних методів отримання енергії на практично невичерпні екологічно чисті джерела енергії в межах доці-

льної реалізації їх потенціалу. Пошук перспективних шляхів розвитку техніки та технологій на основі використання енергії відновлювальних джерел є однією з проблем, вирішення якої в Україні дасть гарантію енергетичної безпеки, що є одночасно і гарантією незалежності держави [10].

У 2017 році Уряд України схвалив ще один важливий документ – Енергетичну стратегію України до 2035 року, яка передбачає посилення розвитку відновлювальної енергетики. У документі задекларовано нову ціль – 25% «чистої» енергії у загальному первинному постачанні енергії до 2035 року [111].

1. АКТУАЛЬНІСТЬ ВПРОВАДЖЕННЯ ВІДНОВЛЮВАЛЬНИХ ДЖЕРЕЛ ЕНЕРГІЇ

1.1. Основні поняття та визначення

Згідно закону України «Про альтернативні джерела енергії», ВВР, № 24, 2003, в області відновлювальних джерел енергії введені наступні визначення:

Альтернативні джерела енергії – відновлювані джерела енергії, до яких належать енергія сонячна, вітрова, геотермальна, гідротермальна, аеротермальна, енергія хвиль та припливів, гідроенергія, енергія біомаси, газу з органічних відходів, газу каналізаційно-очисних станцій, біогазів, та вторинні енергетичні ресурси, до яких належать доменний та коксівний газ, газ метан дегазації вугільних родовищ, перетворення скидного енергопотенціалу технологічних процесів [13].

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

Геотермальна енергія – енергія, що накопичена у формі теплової енергії під твердим шаром земної поверхні;

Гідротермальна енергія – енергія, що накопичена у формі теплової енергії в поверхневих водах;

Відновлювані джерела енергії – відновлювані невикопні джерела енергії, а саме енергія сонячна, вітрова, аеротермальна, геотермальна, гідротермальна, енергія хвиль та припливів, гідроенергія, енергія біомаси, газу з органічних відходів, газу каналізаційно-очисних станцій, біогазів;

Вітрова електростанція – група вітрових електричних установок або окрема вітрова електроустановка, устаткування і споруди, розташовані на певній території, які функціонально пов'язані між собою і становлять єдиний комплекс, призначений для виробництва електричної енергії шляхом перетворення кінетичної енергії вітру в електричну енергію;

Вітрова електроустановка – електрична установка, що перетворює кінетичну енергію вітру в електричну енергію;

«зелений» тариф – спеціальний тариф, за яким закупається електрична енергія, вироблена на об'єктах електроенергетики, зокрема на введених в експлуатацію чергах будівництва електричних станцій (пускових комплексах), з альтернативних джерел енергії (а з використанням гідроенергії – лише мікро-, міні- та малими гідроелектростанціями);

мікрогідроелектростанція – електрична станція, що виробляє електричну енергію за рахунок використання гідроенергії, встановлена потужність якої не перевищує 200 кВт;

мінігідроелектростанція – електрична станція, що виробляє електричну енергію за рахунок використання гідроенергії, встановлена потужність якої становить більше 200 кВт, але не перевищує 1 МВт;

мала гідроелектростанція – електрична станція, що виробляє електричну енергію за рахунок використання гідроенергії, встановлена потужність якої становить більше 1 МВт, але не перевищує 10 МВт.



Рис. 1.1. Різновиди біопалива

Біопаливо або *біологічне паливо* (англ. biofuel) – органічні матеріали, як деревина, відходи та спирти, які використовуються для виробництва енергії. Це – поновлюване джерело енергії, на відміну від інших природних ресурсів, таких як нафта, вугілля й ядерне паливо.



Рис. 1.2. Біогазова установка

бактерій), твердих і рідких органічних відходів: на звалищах, болотах, каналізації, ...



Рис. 1.3. Заправка автомобіля біоетанолом

Біогаз (також каналізаційний газ, звалищний газ) – різновид біопалива – газ, який утворюється при мікробіологічному розкладанні метановим угрупованням біомаси чи біовідходів (розкладання біомаси відбувається під впливом трьох видів бактерій), твердих і рідких органічних відходів: на звалищах,

Біоетанол – це етанол, який отримують у процесі переробки рослинної сировини для використання як біопаливо або паливну добавку. Світове виробництво біоетанолу як альтернативного пального для транспорту зросло з 17 млрд літрів у 2000 до 52 млрд літрів у 2007 році.



Рис. 1.4. Різновиди паливних гранул (пелет)

Паливні гранули (пелети) – біопаливо, яке отримують із торфу, деревних відходів і відходів сільського господарства або з вугілля, випускаються гранулами циліндричної форми стандартних розмірів.



Рис. 1.5. Біодизель – екологічно чисте біопаливо

Біодизель (дизельне біопаливо, МЕРО, РМЕ, RME, FAME, EMAG, SME, SFME, біонафта й ін.) – екологічно чистий вид біопалива, а також паливна добавка, яку отримують із рослинної олії чи тваринного жиру і використовують для заміни нафтового дизельного палива.



Рис. 1.6. Біоводень повністю екологічне паливо

Біоводень – водень, отриманий з біомаси і є одним з видів біогазу.

Сировиною для його виробництва виступає біомаса. Використання біоводню дає кількість енергії в три рази більшу, ніж виділяється при використанні традиційного палива.

Враховуючи сучасні проблеми з екологією, використання біоводню повністю екологічне, оскільки при його згорянні не утворюються шкідливі речовини

Класифікація джерел енергії на землі

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

Енергетичні ресурси Землі, які відповідно даних Світової енергетичної ради класифіковано на 16 видів, рис. 1.7.

Невідновлювані	1. Вугілля 2. Сира нафта і газовий конденсат 3. Важкі нафти, пальні сланці, бітум 4. Природний газ 5. Ядерна енергія	Традиційні
Відновлювані	6. Торф 7. Дрова 8. Гідроенергія 9. Енергія мускульної сили тварин та людей	
Відновлювані	10. Біомаса (за винятком дров) 11. Сонячна енергія 12. Геотермальна енергія 13. Вітрова енергія 14. Енергія припливів 15. Енергія хвиль 16. Теплова енергія океану	Нетрадиційні

Рис. 1.7. Класифікація джерел енергії [12; 13]

Ці види можна виділити в окремі групи, взаємопов'язані між собою:

1. За рівнем і масштабами освоєння: традиційні; нетрадиційні;

2. За природою енергоутворення: відновлювальні; невідновлювальні.

До *традиційних енергоресурсів* належать всі джерела енергії, які є первинними джерелами енергії сучасної традиційної енергетики, це всі невідновлювані джерела енергії, а також два види відновлюваних джерел енергії: дрова і гідроенергія великих водотоків.

До *нетрадиційних (нових) енергоресурсів* належать всі види відновлюваних джерел енергії: біомаса (за виключенням дров), сонячна енергія, вітрова енергія, геотермальна енергія, тепла енергія океану, гідроенергія припливів, хвиль, водотоків (за виключенням гідроенергії великих водотоків).

Крім того, до нетрадиційних можна зарахувати невідновлювальні енергоресурси природний газ малих газових, газоконденсатних, нафто газоконденсатних родовищ, попутний нафтовий газ, промислові гази, метан вугільних родовищ.

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

При поєднанні традиційних та альтернативних джерел і технологій отримання енергії запропонована наступна кваліфікаційна схема, рис. 1.8.

Якщо класифікація джерел і технологій традиційної енергетики є фактично загальноприйнятою, то відносно альтернативної енергетики ситуація є значно складнішою. Враховуючи значну кількість альтернативних джерел енергії та ще більший перелік альтернативних технологій їхнього використання, на рис. 1.8 приведені лише самі розповсюджені види [13].

Термінологія енергоресурсів

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

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

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

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

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

- *теоретично-можливий або теоретичний потенціал ВДЕ* – загальна кількість енергії, якою характеризується кожне з відновлюваних джерел енергії;

- *технічний або технічно-досяжний потенціал ВДЕ* – частина енергії загального потенціалу, яку можна реалізувати за допомогою сучасних технічних пристроїв;

- *доцільно-економічний потенціал ВДЕ* – частина енергії загального потенціалу, яку доцільно використовувати, враховуючи економічні, соціальні, техніко-технологічні та політичні фактори.

Умовне паливо – одиниця обліку палива, що застосовується для співставлення різних його видів і використовується як енергетичний еквівалент, що характеризує потенційну енергоємність або розміри запасів відповідного енергоджерела.

В одиницях маси $1 \text{ кг у.п.} = 29,3 \text{ МДж} = 7000 \text{ ккал} = 8,14 \text{ кВт. год} = 0,7 \text{ кг н.е.}$ (н.е. – нафтовий еквівалент).

Парниковий ефект – екологічна проблема, що визначається як підвищення температури і вологості атмосфери Землі внаслідок емісії в атмосферу вуглецевого газу і поглинення ним інфрачервоного випромінювання, рис. 1.9.

1.2. Проблема забезпеченості енергоресурсами в Україні і світі

Сонце – специфічний гідродинамічний об’єкт, температура надр якого настільки висока, що забезпечує синтез водню та гелію.

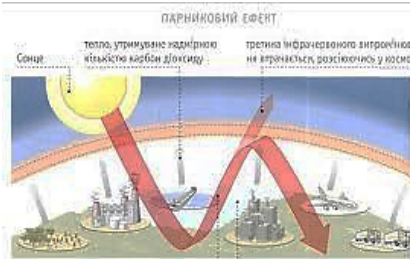


Рис. 1.9. Схема парникового ефекту

Цей синтез вивільняє енергію у вигляді високочастотного електромагнітного випромінювання, яке, перевипромінюючись, поступово доходить від надр Сонця до його поверхні.

Випромінювання, яке досягає Землі, виходить із тонкого поверхневого шару

Сонця, що називається фотосферою. Потужність випромінювання Сонця надзвичайно велика – $3,8 \cdot 10^{20}$ МВт. Електромагнітне випромінювання фотосфери Сонця поширюється у космічному просторі зі швидкістю світла.

Енергія, яку щоденно випромінює Сонце, є джерелом життя на Землі. Вона підтримує у газоподібному стані земну атмосферу, постійно нагріває сушу і водойми, дає енергію вітрам і водотокам, морським течіям і хвилям, забезпечує життєдіяльність тваринного та рослинного світу.

Енергетична система Землі

На поверхню Землі та на її атмосферу направлені наступні три енергетичні потоки, рис. 1.10:

- 1 – сонячне випромінювання потужністю 174400 ТВт;
- 2 – гравітаційна енергія планет потужністю 3 ТВт;
- 3 – тепловий потік із середини Землі потужністю 30 ТВт (1ТВт = 1 терават = $1 \cdot 10^{12}$ Вт).

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

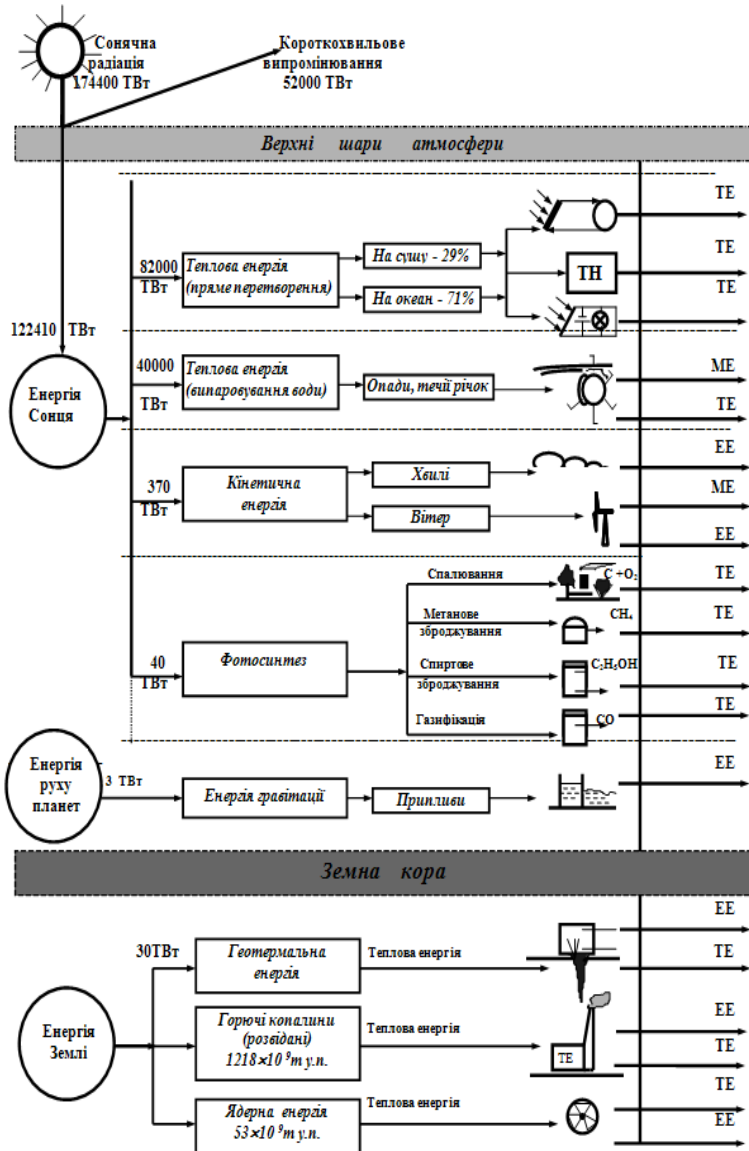


Рис. 1.10. Схема енергетичного балансу планети [12]

Загальна енергія, що поглинається атмосферою та поверхнею Землі протягом року, майже в 11000 разів перевищує річне споживання енергії на планеті.

Одна частка цієї енергії поглинається атмосферою, сушею та океаном і перетворюється в теплову енергію, яку за допомогою технічних засобів можна використовувати у вигляді теплової та електричної енергії.

Під дією другої частки енергії (40000 ТВт) проходить випаровування, циркуляція і випадання води, тим самим обумовлюється виникнення течій річок, морів та океанів.

Третя частка енергії (370 ТВт) спричиняє температурні перепади, завдяки яким виникають атмосферні потоки повітря (вітер).

Четверта, найменша частина енергії (40 ТВт, що становить трохи більше 0,03% від загального потоку енергії) поглинається рослинами і, завдяки проходженню в них процесу фотосинтезу, накопичується у вигляді органічних сполук.

Цей потік енергії є одним із найважливіших – завдяки йому здійснюються фізіологічні процеси всіх живих організмів. У процесі фотосинтезу в хімічну енергію перетворюється тільки 1–2% сонячної енергії, але навіть такої малої частки достатньо для існування всього живого світу.

За рік земна куля отримує від Сонця $1330 \cdot 10^{27}$ Ккал теплової енергії.

Більша частина цієї теплової енергії затримується в атмосфері і лише 2,5% перетворюється в енергію вітру. 25,5% сонячних променів після проходження через атмосферу попадає на водні ресурси, але тільки 0,04% утворює гідроенергію. 14,5% сонячних променів падає на тверду поверхню, але тільки 0,12% перетворюється в хімічну енергію.

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

1.3. Розвиток використання відновлювальних джерел енергії

Отже, характер взаємодії між людством і природою визначається, перш за все, людиною, її впливом на навколишнє середовище. Існуючі моделі розвитку суспільства позначили прямо пропорційну залежність між науково-технічним прогресом (символом благополуччя і благоденства) і споживанням енергії на душу населення. У країнах Західної Європи воно становить понад три умовні тонни вугілля в рік (близько 100 ГДж), в США і Канаді – в три рази вище (~300 ГДж), в більшості країн Африки – в 30–40 разів нижче. Зараз, зробивши черговий виток по спіралі еволюції, людство вступає в епоху нетрадиційної енергетики. Проблема використання нетрадиційних і поновлюваних джерел енергії (ВДЕ) в різних галузях народного господарства починаючи з другої половини ХХ століття привертає пильну увагу наукової громадськості багатьох країн світу. Такі потрясіння, як енергетична криза 1973 року і Чорнобильська катастрофа 1986 р., змусили більшість країн переглянути свою енергетичну політику щодо темпів і перспектив їх практичного застосування. Більш того, якщо раніше світове суспільство хвилювало питання можливості надійного забезпечення енергією, то в даний час, в умовах постійно зростаючого екологічного навантаження, головною проблемою стала інтеграція енергетики і екології.

Інтерес до ВДЕ, викликаний двома основними причинами (негативними тенденціями розвитку традиційної енергетики) – швидким виснаженням природних ресурсів і забрудненням довкілля. За даними ООН, вже з середини ХХІ століття передбачається виснаження основних видів викопного палива – вугілля і урану (U238). Перспективні технології традиційної енергетики, підвищуючи ефективність використання первинних ПЕР, не поліпшують екологічну ситуацію. Теплове, хімічне і радіоактивне забруднення навколишнього середовища може привести до самих катастрофічних наслідків.

Сумарний потенційний внесок усіх ВДЕ в світовій енергетичний баланс вже до кінця 2000 р склав близько 10%. Обсяг використання окремих видів ВДЕ розподіляється наступним чином (в

млн. т у.п.): сонячна енергія (на гаряче водопостачання і опалення) – 36; геотермальна енергія – 29; енергія вітру – 7; енергія біомаси – 7; інші види енергії – 7; всього – 86 млн т.у.п.

Так Україна має значний технічно-досяжний потенціал вироблення енергоносіїв з відновлюваних джерел енергії та альтернативних видів палива, який оцінюється еквівалентним 80 млн. т у. п. (табл. 1.1).

При цьому, однак, економічно ефективний енергетичний потенціал значно нижчий.

Велика енергетична криза 70-х р. і усвідомлення наслідків Чорнобильської катастрофи зробили свою справу: світова спільнота в цілому шукає «нову енергію», в першу чергу, в напрямку використання.

Таблиця 1.1
Потенціал енергії відновлюваних джерел в Україні

Напрями освоєння ВДЕ	Річний технічний потенціал,		Щорічні об'єми заміщення при- родного газу
	млрд кВт год	млн т у. п.	млрд м ³
Вітроенергетика	41,7	21	18,26
Сонячна енергетика	28,8	6	5,22
Геотермальна енергетика	105,1	12	10,43
Гідроенергетика	27,7	10	8,70
Біоенергетика	162,8	20	17,4
Енергія навколишнього середовища	151,7	18	15,65
Всього ВДЕ	520,8	87	75,66

Необхідність і можливість розвитку в Україні цього напрямку обумовлені наступними причинами:

- дефіцитом традиційних для України ТЕР;
- дисбалансом у розвитку енергетичного комплексу України, орієнтовного, по-перше, на централізоване електро- і теплопостачання і, по-друге, на значне (понад 40%) виробництво енергії на АЕС при фактичній відсутності виробництв по одержанню

ядерного палива, утилізації та переробці відходів, а також виробництво по модернізації обладнання діючих АЕС (ядерних реакторів, котельного обладнання та т. д.);

- наявністю науково-технічної і промислової бази, придатної для виробництва практично всіх видів устаткування нетрадиційної енергетики;

- сприятливими клімато-метеорологічними умовами для використання основних видів ВДЕ.

1.4. Основні цілі Європейського союзу та України в сфері використання енергетичних ресурсів

Використання ВДЕ в Україні

В Україні існують всі передумови для стрімкого розвитку відновлюваної енергетики. Основними чинниками розвитку відновлюваної енергетики є:

- відсутність в Україні достатніх обсягів власного органічного палива, енергетична залежність від його імпорту;

- необхідність невідкладного оновлення обладнання в електроенергетиці;

- прийнятий в Україні державний курс на інтеграцію в Євро-союз, який вимагає досягнення високого рівня використання відновлюваних джерел енергії;

- гостра потреба у значному покращенні екологічної ситуації в країні.

Основними перевагами ВДЕ порівняно з традиційними невідновлюваними джерелами є:

- практично невичерпні ресурси;

- зниження негативного впливу на довкілля, разом із викидами різних забруднюючих речовин, парникових газів, радіоактивне і теплове забруднення тощо.

В Україні частка ВДЕ у загальному енергозабезпеченні складає близько 3%, а в електрозабезпеченні насамперед за рахунок гідроенергетики близько 7%.

Слід також зазначити, що у м. Краматорську в червні 2010 року створено ТОВ «Фурлендер Вінд Технолоджі» для реалізації спільного українсько-німецького інвестиційного проекту з виробництва, монтажу та сервісного обслуговування вітроенергетичних установок одиничною потужністю 2,5 МВт. У 2012 році

заплановано виробництво 50 установок за ліцензією німецької компанії Fuhrlander AG, у подальшому передбачено розширити виробництво до 200 установок на рік.

Fuhrlander AG вже інвестувало 77,7 млн євро в будівництво вітропарку «Новоазовський». Побудована, налагоджена і прийнята в експлуатацію перша черга вітропарку потужністю 25 МВт (10 вітроустановок по 2,5 МВт кожна).

Розпочато будівництво другої черги вітропарку «Новоазовський» (13 вітроустановок по 2,5 МВт кожна).

Вітропарк «Очаківський» також будується за рахунок інвестицій фірми Fuhrlander AG. Вже побудовані і пройшли тестові випробування 10 вітроагрегатів (по 2,5 МВт кожний) першої черги.

Планується змонтувати ще 10 вітроагрегатів марки FL 2500-100 потужністю 2,5 МВт кожний з шафою керування FL-Scada на платформі апаратного забезпечення WP4000.

Продовжується будівництво парку сонячних установок «Перово», загальна потужність якого становитиме 60 МВт.

Крім того, протягом 2011 року в Україні вироблено 652 тис. тонн твердого біопалива (пелети та брикети) з відходів деревини, соломи та лушпиння соняшника, та 27 тис. тонн моторного палива на основі етанолу. Проте слід зазначити, що більше 90% твердого біопалива експортується.

1.5. Законодавчо-правова та нормативна база відновлюваної енергетики України

Статтею 17-1 Закону України «Про електроенергетику» передбачено встановлення «зеленого» тарифу для стимулювання виробництва електроенергії з альтернативних джерел енергії (крім доменного та коксівного газів, а з використанням гідроенергії – вироблену лише малими гідроелектростанціями). «Зелений» тариф, який діє в Україні вже більше трьох років, став імпульсом для розвитку сонячної та вітрової енергетики, малої гідроенергетики, біоенергетики.

Величина «зеленого» тарифу встановлюється для кожного



Рис. 1.11. Розповсюдженість «зеленого» тарифу

суб'єкта господарювання, який виробляє електричну енергію з використанням альтернативних джерел енергії, за кожним видом альтернативної енергії та для кожного об'єкта електроенергетики.

До речі, український «зелений» тариф для сонячної енергетики є сьогодні одним з найвищих у

Європі (505,09 коп. за 1 кВт-год електроенергії, тоді як АЕС отримують за 1 кВт-год електроенергії лише 21 коп.). Завдяки таким діям за останні 2 роки Україна має 300% приросту виробітку енергії з відновлюваних джерел в електро-енергетичному балансі держави. Такі темпи дають упевненість, що Україна зможе виконати усі зобов'язання перед Європейським Співтовариством і досягти 15% енергії з відновлюваних джерел у загальному енергобалансі.

Відновлювані джерела енергії – це джерела на основі потоків енергії, що постійно існують або періодично виникають в навколишньому середовищі. Типовий приклад такого джерела – сонячне випромінювання з характерним періодом повторення 24 години. Відновлювана енергія присутня в навколишньому середовищі у вигляді енергії, яка не є наслідком цілеспрямованої діяльності людини, і це є її відмінною ознакою. В даний час практично у всіх розвинених країнах формуються і реалізуються програми розвитку ВДЕ, причому інтерес до цієї проблеми пов'язаний з екологією, усвідомленням того факту, що швидке експоненціальне зростання негативних антропогенних впливів на навколишнє середовище веде до істотного погіршення середовища проживання людини. Підтримка

цього середовища в нормальному стані стає однією з пріоритетних цілей життєдіяльності суспільства, [18, с. 12].

Контрольні питання

1. Які енергії називають альтернативними?
2. Чим відрізняється геотермальна енергія від гідротермальної?
3. Що розуміють під назвою «Відновлювальні джерела енергії»?
4. Що таке вітрова електростанція?
5. Як розуміти термін «Зелений тариф»?
6. Як класифікують гідроелектростанції невеликої потужності?
7. Що називають біогазом?
8. Чим відрізняється біоетанол від етанолу?
9. З яких матеріалів виготовляють паливні гранули (пелети)?
10. З яких матеріалів виготовляють біодизель?
11. В чому проявляється перевага біоводню в порівнянні з іншими паливними газами?
12. Яка існує класифікація джерел енергії на Землі?
13. Яка існує термінологія енергоресурсів?
14. В яких одиницях вимірюються запаси енергії в енергоджерелах?
15. Що означає явище «Парниковий ефект»?
16. Як можна описати енергетичну спроможність Сонця?
17. Як розподіляється енергія Сонця на Землі?
18. Чому розвиток використання відновлюваних джерел енергії є необхідним?
19. Яка мета розвитку відновлювальної енергетики в Україні?
20. Яка існує правова база в Україні і чи стимулює вона розвиток відновлювальної енергетики?

2. СОНЯЧНА ЕНЕРГІЯ

2.1. Потенціал і перспективи використання сонячної енергії

Потенціал сонячної енергії

Характер рельєфу і особливості атмосферних умов визначають фактичний радіаційний режим, що необхідно враховувати при виборі і проектуванні геліотехнічних установок. Радіаційний режим території України, особливо її південних районів, в цілому є сприятливим для практичного використання сонячної енергії.

Значна частина території України характеризується середньою інтенсивністю сонячної радіації. У реальних умовах хмарності річний прихід сумарної сонячної радіації знаходиться на рівні 1050–1400 кВт·год/м² при загальному збільшенні з Півночі на Південь. При цьому внесок розсіяної радіації складає 40–50%. Частка прямої сонячної радіації змінюється протягом року. У період з листопада по лютий вона становить 20–40%, з березня по жовтень – 40–65%, на південному березі Криму в літні місяці до 65–70%. На добовий хід сонячної радіації впливає прозорість атмосфери. Як правило, в літній час в першу половину дня атмосфера прозоріша. Інтенсивність і годинні суми прямої і розсіяної сонячної радіації в літні місяці вранці більше на 3–4%, ніж у відповідні по висоті Сонця вечірні години.

Найбільше число годин сонячного сяйва (2300–2400) спостерігається в Криму і на узбережжі Чорного і Азовського морів. У степній Україні протяжність сонячного сяйва за рік складає 2000–2200 годин. У напрямку Полісся і на сході України тривалість сонячного сяйва зменшується до 1740–1840 годин. У низинах Закарпатської області число годин сонячного сяйва досягає 2025 в рік. Найбільш сонячні місяці – травень-серпень, найменше сонця в листопаді – лютому.

Сонячні установки (навіть з урахуванням високих початкових капіталовкладень) досить ефективні в сприятливих кліматичних умовах, до яких відноситься практично вся територія України. Проведені оцінки показують, що добове надходження сонячної радіації для України становить близько 20 ГДж/м² в рік.

Освоєння сонячної енергії з метою отримання електричної енергії проводиться за двома основними напрямками: фотоелектричним і термодинамічним.

- Фотоелектричне – безпосереднє перетворення електромагнітного випромінювання Сонця оптичного діапазону в електричну енергію постійного струму за допомогою спеціальних фотоелектричних перетворювачів (ФЕП) на основі кремнію, арсеніду, галію та інших широко відомих напівпровідників.

- Термодинамічне – сонячна енергія концентрується на котлі, пар з якого надходить в турбіну з генератором (створення сонячних електростанцій).

Походження сонячної енергії

Сонце в нашому житті має виключно велике значення. Воно належить до класу карликових жовтих зірок спектрального типу dG, який більш багаточисельний ніж зірки інших класів. Для зірок типу Сонця характерна така еволюція: вони вступають у тривалий період відносної стійкості, на протязі якого дуже повільно стискаються, тому що сили стискання врівноважені силами тиску, що обумовлені випромінюванням, яке виходить із зірки [16].

Сонце – гігантське світило, яке має діаметр 1392 тис. км. Його маса ($2 \cdot 10^{39}$ кг) в 333 тисяч разів перевищує масу Землі, а об'єм в 1,3 млн раз більше об'єму Землі [17].

Температура у центрі зірки досягає 10^7 ° С; при такій температурі речовина вже не може зберігати звичайну впорядковану структуру з атомів і молекул. Воно стає плазмою, в якій ядра атомів рухаються окремо від електронів. При зіткненні таких вільних ядер виникають термоядерні вибухи. Спостерігаючи поведінку біля холодної речовини на видимій поверхні Сонця, науковці прийшли до висновку, що термоядерні реакції здійснюються в глибинах сонця. Температура видимої поверхні Сонця становить біля 5500° С. Тепер вже встановлено, що на Сонці присутні майже 2/3 елементів з числа знайдених на Землі [16].

Хімічний склад Сонця 81,70% водню, 18,14% гелію і 0,1% азоту [17]. Це добре узгоджується з загальноприйнятим положенням, що основним джерелом енергії випромінювання Сонця є реакція синтезу ядер водню, яка приводить до утворення гелію.

Ядра водню складається з однієї позитивно зарядженої частинки – протону. Звичайно однойменно заряджені частинки відштовхуються, але при достатньо високої температурі їх рух стає настільки швидким, що вони мають змогу наблизитися одна до одної на відстань, при якій можливе їх злиття під дією сил притягання. При цьому з кожних чотирьох ядер водню утворюється одне ядро гелію, два нейтрино і деяка кількість γ – випромінювання. Нейтрино – це надзвичайно стабільні незаряджені частинки, які мають велику проникливу здібність. Вони одразу покидають межі Сонця і не приймають участі у подальших подіях, а γ – випромінювання набуває суттєвих змін. В ході такої реакції витрачається приблизно $\frac{3}{4}\%$ речовини. В результаті маса Сонця кожену секунду зменшується на $4 \cdot 10^6$ т, проте науковці вбачають, що його стан практично не зміниться ще на протязі мільярду років [16].

Сонячне випромінювання

Вихідне γ – випромінювання, проходячи $5 \cdot 10^5$ км через товщу сонячної речовини, набуває глибоких змін. Усі види електромагнітного випромінювання мають загальну хвильову природу і розрізняються між собою довжиною хвилі. γ – випромінювання найкоротше з них, довжина хвилі порядку 10^{-8} мм.

Випромінювання розглядають звичайно як таке, що складається з дискретних частинок – фотонів, кожна з яких характеризується визначеною кількістю енергії – квантом. Енергія фотона зворотно пропорційно довжині хвилі його випромінювання. Тому фотони найбільш короткохвильового γ – випромінювання мають найбільшу енергію. Рухаючись від центра Сонця, вони розсіюються і зштовхуються з іншими найближчими фотонами. Оскільки частина енергії при таких взаємодіях передається другим частинкам, то енергія фотона зменшується, і тепер їм відповідає більш довгохвильове випромінювання. Таким чином γ – випромінювання переходить в більш м'яке рентгенівське випромінювання, довжина хвилі якого лежить в діапазоні 10^{-6} мм. Потім воно переходить в характеристичне. Сонячне випромінювання, яке передається в зовнішній простір, характеризується широким спектром, причому максимум його інтенсивності приходить на діапазон 0,1–10 мкм. Такий розподіл за енергією наближується

до енергетичного спектру класичного «чорного тіла» при температурі 5500°C , рис. 2.1 [16; 17].

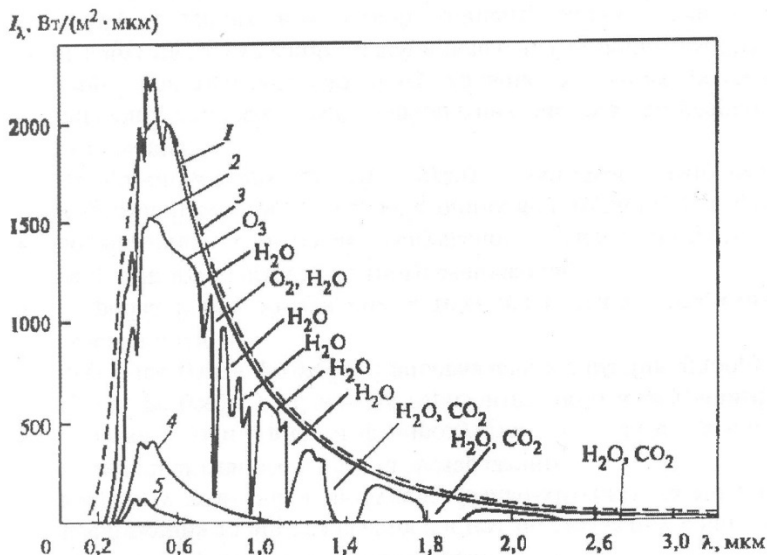


Рис. 2.1. Спектральний розподіл інтенсивності сонячного випромінювання: 1 – за межами атмосфери Землі (S_0); 2 – на рівні моря ($I=S$) при $m = 1$; 3 – випромінювання абсолютно чорного тіла при температурі 5800 K ($S_0 \lambda$); 4 – дифузійна складова при легкій димці; 5 – дифузійна складова при ясному небі в залежності від довжини хвилі λ [18]

Половина всієї сонячної енергії зосереджена в інтервалі хвиль $0,35\text{--}0,75\text{ мкм}$, це видима область спектра, яка сприймається людиною. Решта сонячної енергії зосереджена в ультрафіолетовій сфері спектра з довжиною хвиль менше $0,3\text{ мкм}$ і в інфрачервоній області спектра ($\lambda > 0,75\text{ мкм}$), остання дає нам тепло [16].

Крім радіації існує таке явище як *сонячний вітер* – це неупорядковане переміщення речовини, яка складається в основному з протонів, що набувають достатню енергію, щоб покинути границі Сонця і нестися далі через Сонячну систему зі швидкістю в

сотні кілометрів в секунду. Взаємодія такого потоку з магнітним полем Землі обумовлює появу полярних сьвів і перешкоджає розповсюдженню радіохвиль [16].

2.2. Основні характеристики та енергетичні показники сонячної радіації

Взаємодія сонячного випромінювання з атмосферою Землі

Сонячне випромінювання, розповсюджуючись зі швидкістю $3 \cdot 10^5$ км/с, вже через 8 хвилин досягає орбіти Землі, яка знаходиться на віддалі від Сонця на $1,5 \cdot 10^8$ км. Його вихідна інтенсивність настільки велика, що навіть на такий значній відстані вона складає біля 1300 Вт/м², а точніше, щільність потоку сонячної енергії $I_0 = S_0$ у верхньої границі атмосфери на поверхню, яка розташована перпендикулярно напрямку сонячних променів становить $S_{max} = 1367$ Вт/м² і називається *сонячною сталою* [16; 17; 19].

Розподіл сонячного випромінювання

Максимальна інтенсивність сонячного випромінювання на поверхні Землі 1000 Вт/м², однак тривалість його становить всього 1–2 години в літні дні. Середня інтенсивність сонячного випромінювання з урахуванням розсіювання і хмарності в більшості районів земної кулі становить 200 – 250 Вт/м². На рис. 2.2 показано розподіл сонячного випромінювання при проходженні від Сонця до Землі [10; 12].

Як видно з рис. 2.2, третина сонячної радіації відбивається атмосферою в космос. Дві третини сонячного випромінювання проходить через верхні шари атмосфери, і подальший розподіл сонячної енергії відбувається наступним чином: частина сонячної енергії відбивається від поверхні Землі і повертається назад в космос (а – 5%), частина відбивається хмарами (б – 20%) і частина поглинається атмосферою (в – 25%).

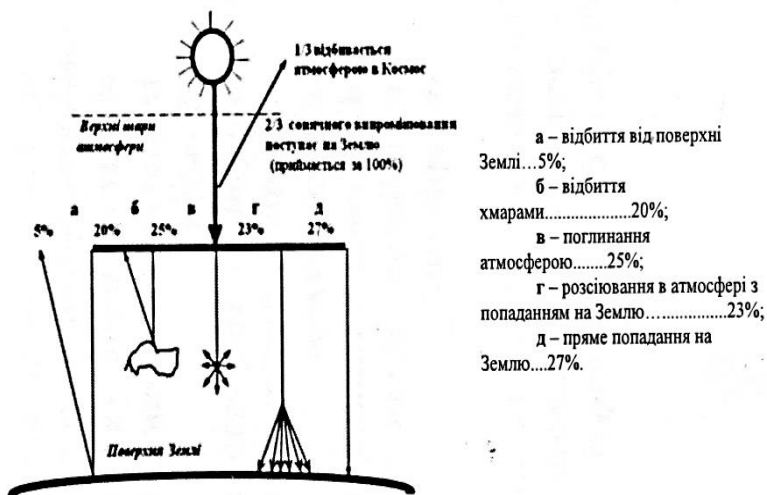


Рис. 2.2. Розподіл сонячного випромінювання

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

2.3. Сонячна радіація на нахилені поверхні

Уявне положення Сонця

Основні особливості складного руху Землі визначаються її щорічним обертанням навколо Сонця і одночасним обертанням відносно власної осі. Земна орбіта має еліптичну форму, але її ексцентриситет настільки малий, що вона майже не відрізняється від кругової. Величина радіусу земної орбіти, що складає біля $1,5 \cdot 10^8$ км, прийнята за астрономічну одиницю (а.о.); максимальні відхилення від цього значення не перевищують 1,5%. Таке відхилення настільки незначне, що не впливає на зміни сезонів.

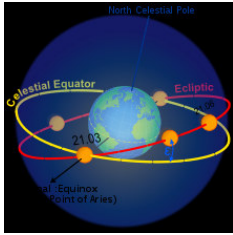


Рис. 2.3. Екліптика

Екліптика

Схилення (δ) в астрономії – одна з двох координат екваторіальної системи координат. Дорівнює кутовій відстані на небесній сфері від площини небесного екватора до світила і зазвичай виражається в градусах, хвилинах і секундах дуги. Схилення додатне на північ від небесного екватора і від'ємне на південь, рис. 2.3.

Об'єкт на небесному екваторі має схилення 0° .

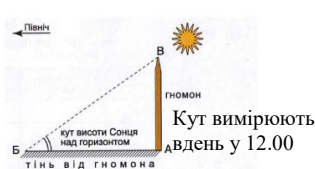
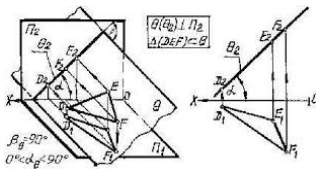
Схилення північного полюса небесної сфери дорівнює $+90^\circ$.

Схилення південного -90° .

Екліптика – це уявне велике коло на небесній сфері, яким для земного спостерігача рухається Сонце впродовж року. Звичайно, насправді зміну видимої позиції Сонця спричинено обертанням Землі навколо Сонця. Екліптика утворює з небесним екватором кут у $23,5$ градуси. Дві точки, у яких екліптика перетинається з небесним екватором, називаються точками рівнодень.

Небесний екватор є проекцією земного екватору на небесну сферу.

Визначення кутів, рис. 2.4.



Мал. 3. Гномон

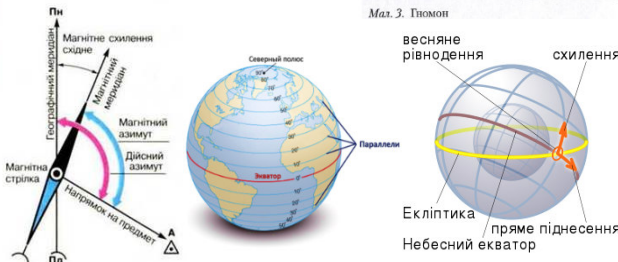


Рис. 2.4. Визначення кутів, які характеризують напрям і характер сонячної радіації

Останні обумовлені нахилом земної осі до площини її орбіти, рис. 2.5 [16].

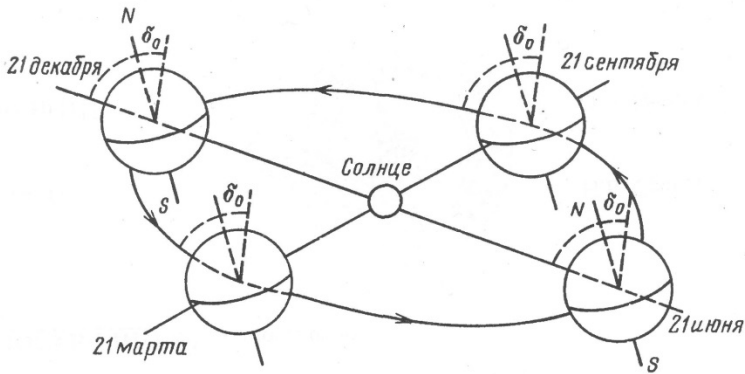


Рис. 2.5. Схема обертання Землі навколо Сонця (не в масштабі). Суцільна лінія на поверхні Землі – екватор [18]

Земля обертається навколо сонця за рік. Напрямок земної осі залишається фіксованим в просторі під кутом $\delta_0 = 23,5^\circ$ до нормалі до площини обертання. Дні рівнодення – 21 березня та 23 вересня; дні сонцестояння – 22 червня та 23 грудня. Такий фіксований нахил осі Землі пояснює суттєві зміни тривалості світлового дня на протязі року [18].

Уявний рух Сонця, яке спостерігається з деякої точки Північної півкулі з широтою L , показано на рис. 2.3 [16].

Завдяки обертанню Землі навколо своєї осі Сонце періодично через 24 години як би повторює свій рух, створюючи враження руху навколо Землі.

Уявне положення Сонця в деякій точці Землі визначається двома кутами: висоти Сонця h (між напрямом на Сонце з точки спостереження і горизонтальною площиною, яка проходить через цю точку) і азимута A (між площиною меридіана $Пн - Пд$ і вертикальною площиною, яка проведена через точку спостереження і Сонце). В полудень азимут дорівнює нулю, а висота Сонця максимальна. Полудень прийнятий за початок відліку другої половини доби. Якщо ми будемо кожний час вимірювати зміщення

сонця відносно його положення в полудень, рис. 2.6, то отримаємо ряд значень кута τ (рад), який характеризує його кутове переміщення в залежності від часу доби t [16; 19].

$$\tau = \frac{t-12}{24} \cdot 2\pi = \frac{\pi}{12} (t-12). \quad (2.1)$$

Оскільки повне обертання Сонця на 360° або 2π рад, здійснюється за 24 години.

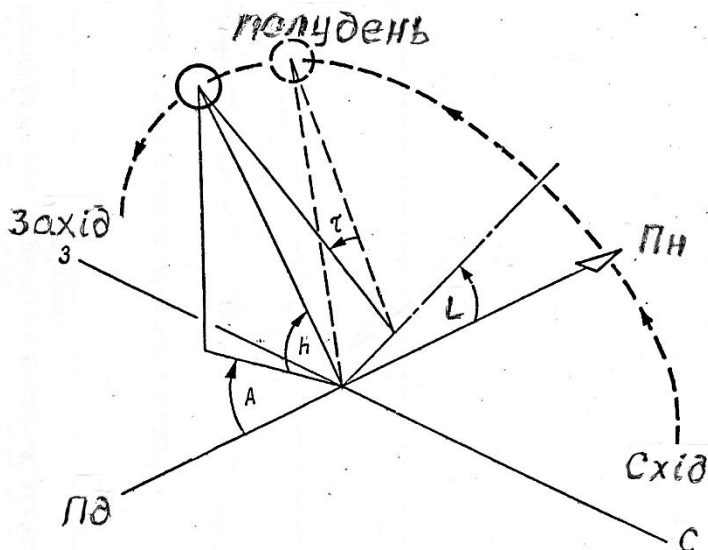


Рис. 2.6. Уявний рух Сонця на широті L Північної півкулі

Сезонна зміна уявного положення Сонця описується кутом *схилення* δ , який змінюється від $+23,5^\circ$ в літнє сонцестояння до $-23,5^\circ$ в зимнє сонцестояння, рис 1.3. В точках рівнодення $\delta = 0$ [16; 19].

Значення δ можливо оцінити з співвідношенням

$$\delta = 23,45 \sin [(2\pi/365) \cdot (284+N)], \quad (2.2)$$

де N – черговий номер дня року (починаючи з 1, що відповідає 1-му січня), рис. 2.5 і рис. 2.6 [16; 20].

Інтенсивність сонячного випромінювання на поверхні землі

Сонячна енергія досягає атмосфери Землі у вигляді направленого потоку сонячного космічного випромінювання.

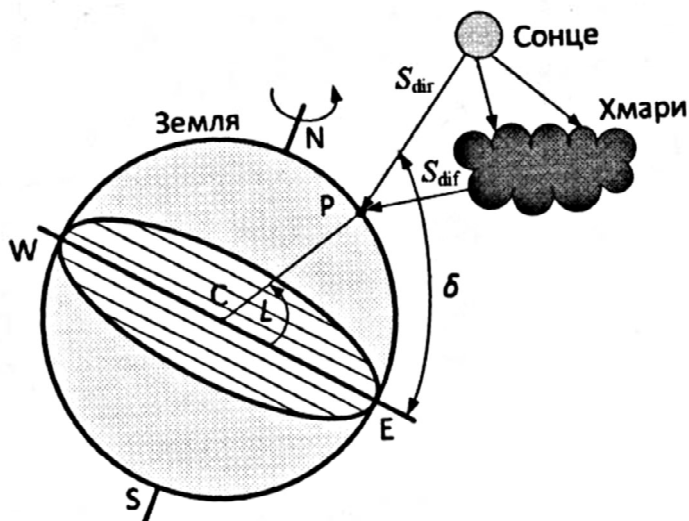


Рис. 2.7. Прямая сонячна радіація S_{dir} , розсіяна радіація S_{dif} , L – географічна широта, δ – схилення сонця [7]

Поверхня землі отримує як пряму сонячну радіацію S_{dir} , так і розсіяну сонячну радіацію S_{dif} , рис. 2.7, де центр Землі позначений точкою С. Точка Р на поверхні Землі вказує на місце розташування світлопоглинаючої панелі (СПП) і характеризується географічною широтою L . Кут між напрямом на сонце і екваторіальною площиною називається *схиленням* δ і є мірою сезонних змін [18].

На рис. 1.6 зображена СПП, що розміщена на поверхні Землі в точці Р, та горизонтальна площина, яка характеризується чотирма напрямками: західним – W, східним – E, північним – N, та південним S. Для нахиленої під кутом до горизонтальної площини СПП виділимо такі кути:

- α – кут нахилу (кут між СПП і горизонтальною площиною);
- A – азимут – відхилення від меридіана проєкції на горизонтальну площину нормалі 1, проведеної до СПП (відхилення до заходу від напрямку на північ вважається додатнім, відхилення до сходу – від’ємним); рис. 2.8.

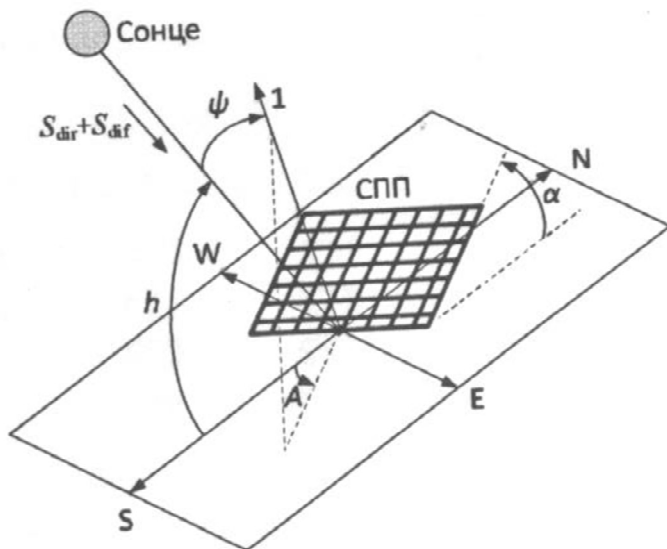


Рис. 2.8. Параметри орієнтації сонячних панелей відносно горизонтальної площини: α - кут нахилу, A – азимут, ψ – кут падіння; h – кут висоти Сонця [20]

- Ψ – кут падіння (кут між напрямом на Сонце з точки розміщення СПП та нормаллю 1 до неї);
- h – кут висоти Сонця (кут, який визначає висоту сонця над горизонтом у певний момент часу, тобто кут між напрямом на Сонце з точки спостереження і горизонтальною площиною [20].

Для обчислення притоку прямої S_{dir} та розсіяної S_{dif} сонячної радіації на похилу СПП використовуємо методику [20; 21]. Згідно з цією методикою, сумарна сонячна радіація S дорівнює

$$S = S_{dir} + S_{dif}. \quad (2.3)$$

Потік прямої сонячної радіації на похилу СПП буде

$$S_{dir} = S_{max} \cdot k_{at} \cos \Psi = 1367 \cdot k_{at} \cos \Psi, \quad (2.4)$$

де k_{at} – коефіцієнт атмосфери, який враховує поправку на повітряну масу, що необхідно пройти сонячному променю.

Косинус кута падіння сонячного випромінювання Ψ визначається виразом [7; 8]

$$\cos \Psi = \sin h \cdot \cos \alpha + \sin \alpha (\cos A \cdot \operatorname{tg} L \cdot \sin h + \sin A \cdot \cos \delta \cdot \sin \tau), \quad (2.5)$$

де τ – часовий кут, який залежить від конкретної години доби і визначається за формулою (1.1).

Важливо зауважити, що рано-вранці чи пізно ввечері, коли Сонце перебуває низько над горизонтом, кут падіння Ψ може перевищувати 90° (тобто косинус кута падіння Ψ стати від'ємним). У такому випадку сонячні промені не падають на фіксовану СПП [18].

Схилення сонця δ визначається за формулою (2.2).

Синус кута висоти Сонця h знаходимо за таким виразом:

$$\sin h = \cos \tau \cos \delta \cos L + \sin \delta \cos L. \quad (2.6)$$

На основі значення $\sin h$ коефіцієнт атмосфери описується співвідношенням

$$k_{at} = 1,1254 - 0,1366/(\sin h), \quad (2.7)$$

а притік розсіяної сонячної радіації на похилу СПП

$$S_{dif} = (137,1 - 14,82/(\sin h)). \quad (2.8)$$

Розглянуті залежності дають змогу погодинно розрахувати загальний потік енергії, який приноситься сонячною радіацією на довільно орієнтовану в просторі похилу СПП для ясного дня. Але важливим також є оцінка хмарності протягом цього ж дня. Для отримання погодинних даних про тривалість сонячного сьйва в інтервалах істинного сонячного часу T_b необхідно звертатися в центри з гідрометеорології. Інтервал часу в межах кожної години, протягом якого небо було захмарним, буде

$$T_c = 1 - T_b. \quad (2.9)$$

Отже, для погодинного обчислення реального притоку енергії сонячної радіації ΔW та її складових, необхідно врахувати T_b та T_c :

$$\Delta W = \Delta W_{dir} + \Delta W_{dif}, \quad (2.10)$$

$$\Delta W_{dir} = 3600 S_{dir} T_b, \quad (2.11)$$

$$\Delta W_{dif} = 3600 S_{dif} T_c. \quad (2.12)$$

2.4. Сонячна електроенергетика

Принци роботи сонячних батарей

Сонячна енергія в останній час використовується всюди: в природному освітленні приміщень, нагрівання води, сушінні та іноді навіть в приготуванні їжі. Однак найважливішим використанням енергії сонця є, мабуть, генерація електрики. І головний елемент такої генерації – *сонячна батарея!*
http://ecost.lviv.ua/ua/sonce_prunc_work_son_batter.html



Рис. 2.9. Будова сонячних батарей з фотоелектричними перетворювачами

Геліоелектричний метод полягає в безпосередньому перетворенні енергії сонячного світла в електроенергію за допомогою фотоелектричних елементів.

Сонячна батарея складається з фотоелементів, сполучених послідовно і паралельно, рис. 2.9.

Всі фотоелементи розташовуються на каркасі з непровідних матеріалів. Така конфігурація дозволяє збирати сонячні батареї необхідних характеристик (струму і напруги). Крім того, це дозволяє відновлювати ті елементи, що вийшли з ладу, простою заміною.

Принцип роботи фотоелементів з яких складається сонячна батарея заснований на фотогальванічному ефекті. Цей ефект спостерігав ще Олександр Едмонд Беккерель в 1839 році. Згодом роботи Ейнштейна в області фото ефекту дозволили описати явище кількісно. Досліди Беккереля показали, що променисту енергію

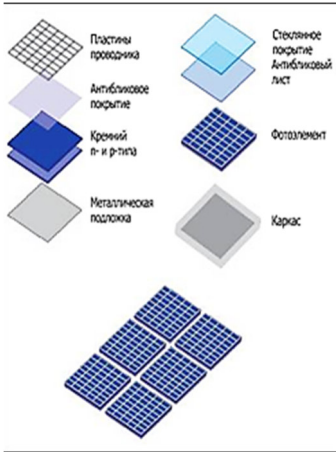


Рис. 2.10. Будова сонячної батареї

сонця можна трансформувати в електрику за допомогою спеціальних напівпровідників, які пізніше отримали назву фотоелементи, рис. 2.10.

Взагалі такий спосіб отримання електрики повинен бути найбільш ефективним, тому що є одноступінчастим. У порівнянні з іншою технологією перетворення сонячної енергії через термодинамічний перехід (Промені -> Нагрівання води -> Пара -> Обертання турбіни -> Електрика), менше енергії втрачається на переходи.

Принцип роботи фотоелементів

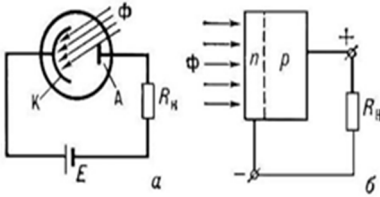


Рис. 2.11. Будова фотоелемента

Фотоелемент на основі напівпровідників складається з двох шарів з різною провідністю рис. 2.11. До елемента з різних сторін підполюють контакти, які використовуються для підключення до зовнішнього ланцюга. Роль катода відіграє

шар з n-провідністю (електронна провідність), роль анода – p-шар (діркова провідність).

Струм в n-шару створюється рух електронів, які «вибиваються» при попаданні на них світла за рахунок фотоэффекту. Струм в p-шарі створюється «рухом дірок».

«Дірка» – атом, який втратив електрон, відповідно, перескакування електронів з «дірки» на «дірку» створює «рух» дірок, хоча в просторі самі «дірки» звичайно не рухаються.

На стику шарів з n-і p-провідністю створюється pn-перехід. Виходить свого роду діод, який може створювати різницю потенціалів за рахунок потрапляння променів світла рис. 2.12.

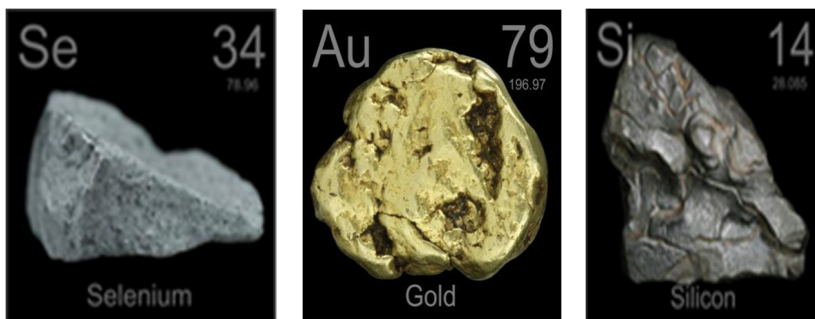


Рис. 2.12. Матеріали для створення фотоелементів
http://ecost.lviv.ua/images/sonce_energia/pr_work_son_battery_6.jpg

Фотоелемент з'явився в 1883 році в лабораторії Чарльза Фріттса. Він був виготовлений з селену, покритого золотом. На жаль, але такий набір матеріалів показав невисокі результати – близько 1% ККД. Революція у використанні фотоелементів сталася тоді, коли в надрах лабораторії компанії «Bell Telephone» був створений перший елемент на кремнії.

Компанія потребувала джерела електроенергії для телефонних станцій, і, можна сказати, була першою компанією, яка використала альтернативне джерело на сонячній енергії

Фізичний механізм дії:

Коли промені світла потрапляють на n-шар, за рахунок фотоефекту утворюються вільні електрони. Крім цього, вони отримують додаткову енергію і здатні «перестрибнути» через потенційний бар'єр р-n-переходу. Концентрація електронів і дірок змінюється і утворюється різниця потенціалів. Якщо замкнути зовнішній ланцюг через неї почне текти струм.

Різниця потенціалів (а відповідно і ЕРС) яку може створювати фотоелемент залежить від багатьох факторів: інтенсивності сонячного випромінювання, площі фотоелемента, ККД конструкції, температури (при нагріванні провідність падає).

Виготовлення фотоелементів



Рис. 2.13. Монокристал кремнію

Виробництво *монокристалічних* фотоелементів відбувається із застосуванням методу Чоральського. Для того щоб отримати кремнієвий монокристал, в розплав кремнію з бором занурюють початковий кристал і поступово піднімають на кілька міліметрів над поверхнею розчину, при цьому за затравочним кристалом витягується й кристалізується розчин. З отриманої монокристалічної заготовки зрізають кромки для того щоб отримати

квадратні елементи і розрізають його на елементи товщиною приблизно 0,3 мм. Після цього елементи легують фосфором для додавання n-провідності і створення рn-переходу, полірують, наносять антивідбиваюче покриття і струмопровідні доріжки; і ми отримуємо готовий до використання монокристалічний фотоелемент, рис. 2.13.

Характеристики:

ККД від 15 до 18 відсотків;

Форма квадратна або квадратна із закругленими або зрізаними кутами;

Товщина 0,2–0,3мм;

Колір від темно-синього до чорного з антивідбиваючим покриттям або сірий без покриття;

Зовнішній вигляд – однорідний.

Полікристалічні фотоелементи виробляються за допомогою рівномірного спрямованого охолодження ємності з розплавом кремнію і бору. При цьому в ємності формуються односпрямовані гомогенні кристали розміром від кількох міліметрів до декількох сантиметрів. Отриманий блок полікристалів обробляється так само, як і монокристалічна заготовка, рис. 2.14.

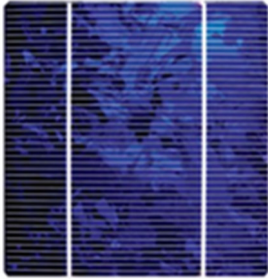


Рис. 2.14. Полікристал кремнію

Характеристики:

- ККД від 13 до 16 відсотків;
- Форма квадратна;
- Товщина 0,24–0,3мм;
- Колір синій з антивідбиваючим покриттям, сріблясто-сірий без покриття;
- Зовнішній вигляд – блок кристалів різного напрямку, деякі кристали чітко видно на зрізі.

Кремній до сих пір залишається основним матеріалом для виробництва фотоелементів. Взагалі кремній

(Silicium, Silicon) – другий за поширеністю елемент на Землі, запаси його величезні. Однак в промисловому його використанні є одна велика проблема – його очищення. Процес цей дуже трудомісткий і витратний, тому чистий кремній коштує дорого.

Зараз ведеться пошук аналогів, які б не поступалися кремнію по ККД. Перспективними вважаються сполуки міді, індію, селену, галію і кадмію, а також органічні фотоелементи.



Рис. 2.15. CIS фотоелемент

Активним напівпровідниковим матеріалом в CIS фотоелементах є діселеніда індію і міді, рис. 2.15. CIS компаунд часто легується галієм і (або) сіркою. При виробництві елемента скло покривається шаром молібдену, що проводять електричний струм, для фотоелемента цей шар буде катодом. Шар CIS компаунда в фотоелементі володіє р-провідністю і наноситься на шар молібдену. Оксид цинку з домішкою алюмінію ZnO:Al використовується як прозорий провідник електрики анод.

Цей шар має n-тип провідності і в ньому розпорошений допоміжний шар оксиду цинку i-ZnO. Проміжний шар сульфїду кадмію CdS використовується для зменшення втрат, пов'язаних з невідповідністю кристалічних ґраток CIS і ZnO шарів, рис. 2.16.

Характеристики:

ККД від 9 до 11 відсотків;

Форма елемента відповідає формі модуля;
Товщина модуля в незагартованому склі від 2 до 4 мм;
Колір від темно-сірого до чорного;
Зовнішній вигляд – однорідний.

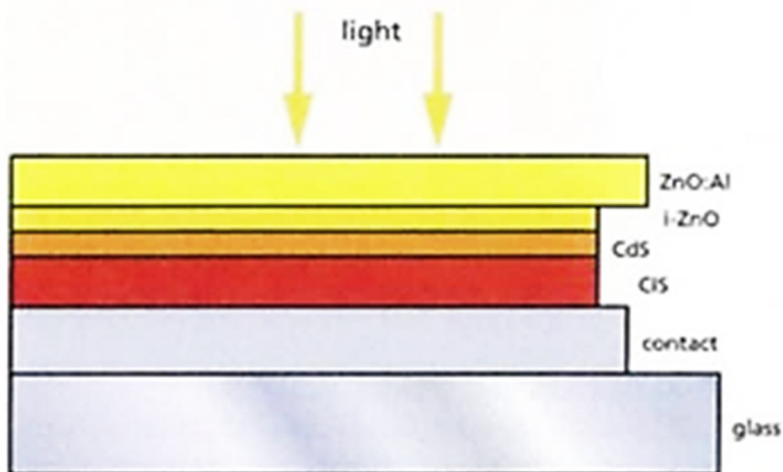


Рис. 2.16. Будова CIS фотоелементу

Характеристики фотоелементів

Швидше за все, ви помітили, що порядок знайомства з технологіями виробництва фотоелементів був обраний не випадково – ми почали елементами з найбільшим ККД і закінчили елементами з найменшим ККД. ККД для фотоелементів – це ефективність перетворення сонячної енергії в електричну, це означає, що чим менше ККД тим більше площі фотоелементів нам необхідно для забезпечення тієї ж потужності в порівнянні з елементами у яких ККД має більш високе значення.

Тепер непогано б спростувати поширену помилку про те, що полікристалічні фотомодулі більш ефективно перетворюють сонячне випромінювання в порівнянні з монокристалічними, а тонкоплівкові в порівнянні з кристалічними. Насправді перетворення енергії прямого сонячного випромінювання монокристалічних елементів відбувається з найбільшою ефективністю, у полікристалічних модулів це перетворення відбувається з меншою

ефективністю у зв'язку з різною орієнтацією кристалів в елементі. Розсіяне випромінювання кристалічні фотоелементи перетворюють з однаковою ефективністю. Тому частка виробітку від розсіяного випромінювання в полікристалічних панелях вище ніж в монокристалічних, а значить і вплив орієнтації на вироблення нижче. У тонкоплівкових елементів у зв'язку з більшим ступенем безладності орієнтації світлочутливих елементів виробіток з розсіяною частини випромінювання становить основну частку виробітку. Тому й прийнято говорити, що на виробіток тонкоплівкових модулів не впливає орієнтація. Але енергію сонячного випромінювання, не залежно від його форми, найефективніше перетворюють монокристалічні модулі тому що у них ККД вище, рис. 2.17.

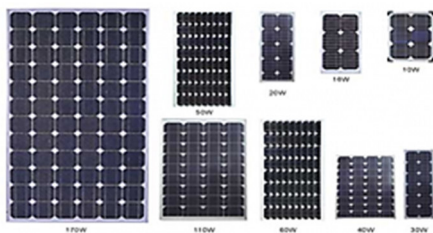


Рис. 2.17. Сонячна батареї – способи складання

Особливості сонячних електростанцій

Тонкоплівкові фото-модулі найчастіше застосовуються у фасадних системах і дизайнерських рішеннях. Швидше за все, в майбутньому тонкоплівкові модулі замінять кристалічні тому що їх виробництво дешевше і менш

енергоємне. Адже ніхто не зацікавлений в фотопанелях, на виробництво яких витрачається більше енергії ніж вони здатні виробити за термін служби.

<http://atmosfera.ua/uk/sonyachni-elektrostantsii/tipi-sonyachnix-panele>

Однак різниця потенціалів, створювана одним фотоелементом, мала для промислового застосування. Щоб мати можливість використовувати сонячні елементи для електроживлення пристроїв, їх з'єднують разом. Тим самим виходять сонячні батареї (сонячні збірки, сонячні модулі). Крім того, фотоелементи покривають різними захисними шарами зі скла, пластмаси, різних плівок. Це роблять для того, щоб захистити крихкий елемент.

Основною робочою характеристикою сонячної батареї є пікова потужність, яку представляють у Ватах (Вт, W). Ця характеристика показує вихідну потужність батареї в оптимальних умовах: сонячному випромінюванні 1 кВт/м^2 , температурі навколишнього середовища 25°C , сонячному спектрі шириною 45° (AM1, 5).

У звичайних умовах досягти таких показників вдається вкрай рідко, освітленість нижче, а модуль нагрівається вище (до $60\text{--}70$ градусів).

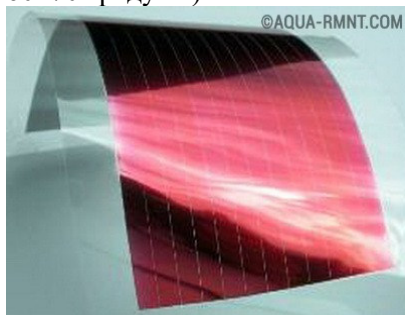


Рис. 2.18. Сонячні плівкові фотоелементи

Полімерні плівкові сонячні перетворювачі – перспективна альтернатива кремнієвим батареям, рис. 2.18. Являють собою плівку, що складається з полімерного активного шару, алюмінієвих електродів, органічної гнучкою підкладки і особливого захисного шару. Плівкові фотоелементи об'єднуються між собою, в результаті чого виходить рулонний сонячна батарея. Такі пристрої

дуже гнучкі, компактні і легкі. Їх вартість декілька нижче кремнієвих аналогів, оскільки у виробництві не використовується дорогий кремній. Крім того пристрою більш екологічні, оскільки надають на навколишнє середовище менший вплив. ККД таких пристроїв невисокий. Він становить близько $6,5\%$. У промислових масштабах перші полімерні батареї почали випускати в Данії. Процес виробництва полягає в особливому багатошаровому друку фотоелемента на спеціальну гнучку плівку. Її згодом можна різати, скручувати і виготовляти сонячні батареї практично будь-яких розмірів. Вартість плівкових елементів на порядок нижче, ніж у кремнієвих, рис. 2.19. Однак знайти такі панелі в продажу поки ще дуже складно. Виробництво знаходиться в ранній стадії розвитку. http://aqua-rmnt.com/otoplenie/alt_otoplenie/solnechnye-batarei.html

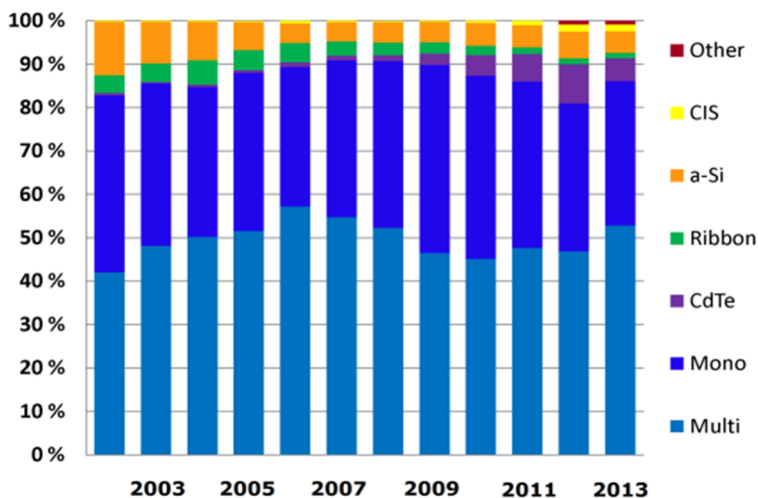


Рис. 2.19. Доля ринку фотоелектричних панелей різних технологій

2.5. Сонячні установки з трубчастими і плоскими колекторами

Приклад сонячної енергетичної установки

Розглядається варіант сонячної водопідіймною і електрогенеруючої установки, що реалізує термодинамічну схему з плоскими нерухомими колекторами, яка працює при температурі гарячої води 60–100° С. Колектори можуть розташовуватися на даху садибного будинку.

Установка з прямим перетворенням сонячної енергії в електричну повинна відповідати визначеним економічним і екологічним критеріям. При створенні сонячних насосних і електричних установок передбачається їх робота спільно з системами акумулювання енергії. Зокрема, так як для побутових потреб достатньо 5–10 кВт, можливе використання теплового акумулятора.

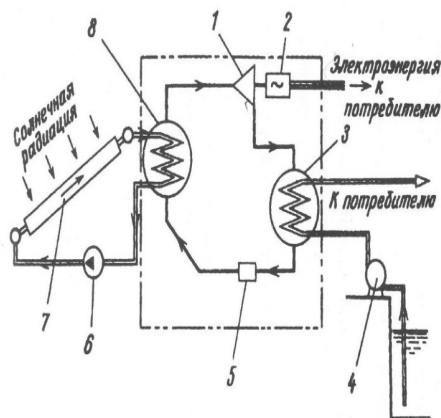


Рис. 2.20. Принципова схема сонячної і електричної установки:
 1 – труба; 2 – генератор змінного струму; 3 – конденсатор; 4 – водогрійний котел; 5 – живильний насос; 6 – циркуляційний насос; 7 – сонячний колектор

На рис. 2.20 показана принципова схема невеликої та актуальної сонячної енергетичної станції, що працює за циклом Ренкіна. Джерелом тепла є гаряча вода, циркулююча в першому контурі колектора від насоса 6. У випарнику 8 знаходиться фреон під тиском 0,3–0,4 МПа. Пори фреону розширюються і надходять на турбіну 1, яка обертає електрогенератор 2, виробляючи електроенергію. Після турбіни пари фреону конденсуються в конденсаторі 3 при охолодженні піднятою водою. Потім за допомогою насоса 5 конденсат знову подається до випарника 8. При цьому рідинний контур герметично замкнутий.

Сонячні водонагрівальні установки

Використання сонячної енергії для теплопостачання, крім економії палива, сприяє охороні навколишнього середовища, причому для окремих регіонів результат може бути значним.

Перспективним є використання так званих систем пасивного сонячного опалення, тобто систем, в яких не використовується спеціальне обладнання, а самі конструкційні елементи будівель і споруд є приймачами і акумуляторами сонячної енергії. Такі системи дозволяють в різних кліматичних зонах економити від 20 до 60% палива, яке витрачається на опалення.

Це практичне спрямування сонячної енергетики є найбільш освоєним. В основі лежить використання пристроїв, які перетво-

рюють сонячну радіацію в теплоту. Установки сонячного теплопостачання використовуються для гарячого водопостачання, опалення та кондиціонування повітря в житлових, громадських, санаторно-курортних будинках, підігріву води в плавальних басейнах, а також в різних процесах сільськогосподарського виробництва.

Основа сонячної установки – сонячні колектори (поз. 7 на рис. 2.20). Одна з перспективних конструкцій – вакуумний трубчатий сонячний колектор. Він має вигляд панелі, на якій розміщені трубки Дьюара. Це двостінні скляні трубки (одна в іншій), в просторі між якими – вакуум ($< 0,005$ Па).

Внутрішня скляна трубка має селективну оболонку-поглинач, в якій акумулюється теплова енергія. Теплоносій – незамерзаюча рідина на основі гліколю (витримує до -40° С).

Цей теплоносій починає теплопередачу при температурі 15° С та закипає при температурі $\approx 20^{\circ}$ С. Ним заповнений перший контур сонячної установки, що з'єднує сонячний колектор з водяним теплообмінником в разі, коли температура води в ємності стає нижче температури теплоносія. Такий тип колектора дозволяє забезпечити потребу індивідуального будинку в теплій воді, що становить в середньому 150 л води з температурою $45\text{--}50^{\circ}$ за добу [7; 11].

Сонячні колектори можуть встановлюватися на даху будинку, на стіні, а також на поверхні землі, бажано, в південному напрямі з кутом нахилу 45° .

Найбільш потужним джерелом енергії для людства є Сонце, яке буде світити ще щонайменше 3–4 мільярди років. Річна кількість сонячної енергії майже в 15 000 разів перевищує потреби опалення будинків, однак лише незначна її частина використовується в сонячних системах опалення. Для перетворення сонячної енергії в теплову використовують геліосистеми, <http://progress21.com.ua/ru/energoberegayushchie-tehnologii/solar-collectors>

Сонячні колектори

Трубчасті вакуумні колектори

Сонячний водонагрівач (сонячний колектор) – це пристрій,

який призначений для поглинання сонячної енергії, яка переноситься видимим і ближнім інфрачервоним випромінюванням і для подальшого її перетворення в теплову енергію, придатну для використання.

У геліосистемах виробництва Прогрес-XXI використовується високоефективний вакуумний трубчастий сонячний колектор. Вакуумна тепла труба автономна і складається з надміцного боросилікатного скла. Зовнішня трубка – прозора, а внутрішня має спеціальне селективне покриття, яке забезпечує максимальне поглинання тепла при мінімальному відбитті. Для запобігання тепловтрат між трубками геліоколектора передбачений вакуум. Для підтримки вакууму сонячний водонагрівач Прогрес-XXI використовує бар'євий газопоглинач, який у виробничих умовах підлягає впливу високих температур, в результаті чого нижній кінець вакуумної труби покривається шаром чистого бар'ю. Він поглинає CO, CO₂, N₂, O₂, H₂O і H₂, які виділяються з труби в процесі зберігання і експлуатації, і є чітким візуальним індикатором стану вакууму в трубці сонячного колектора. Коли вакуум зникає, бар'євої шар з сріблястого стає білим. Це дає можливість легко визначити, чи ціла труба вакуумного сонячного водонагрівача.

При наявності сонячних променів (прямих, розсіяних) поглинання тепла відбувається в мідній трубці, яка знаходиться всередині вакуумної труби. Спосіб передачі тепла від неї теплопроводу вакуумного сонячного колектора наступний. Мідна труба всередині порожня і містить запатентовану неорганічну нетоксичну рідину. При нагріванні ця рідина випаровується, а оскільки в трубці створений вакуум, то це відбувається навіть при температурі мінус 25–30° С. Пара піднімається до наконечника (конденсатора) теплової трубки, де віддає тепло теплоносію (антифризу), який тече по теплопроводу геліоколектора. Потім вона конденсується і стікає вниз, і процес повторюється знову. Сонячний водонагрівач з вакуумними трубами показує відмінні результати навіть в похмурі дні, тому що вакуумні труби здатні поглинати енергію інфрачервоних променів, які проходять через хмари. Завдяки ізоляційним властивостям вакууму, вплив вітру і низьких

температур на роботу геліосистеми також незначний в порівнянні з впливом на плоский сонячний колектор. Система з вакуумним сонячним колектором успішно працює до -35°C .

Вакуумні труби круглі, завдяки цьому кількість сонячного випромінювання, яке потрапляє на геліоколектор залишається постійним з ранку до вечора, рис. 2.21. Саме тому загальна кількість сонячного випромінювання, яке поглинається вакуумним сонячним колектором збільшується в порівнянні з плоским. Форма труб в сонячних системах опалення забезпечує відмінну ступінь поглинання, оскільки сонячні промені завжди падають на її поверхню під прямим кутом, зводячи відбиття до мінімуму.

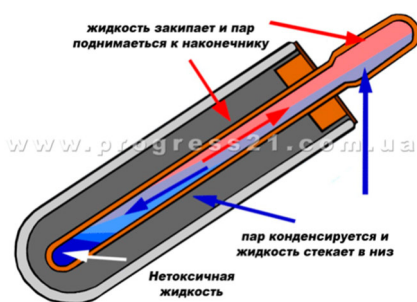


Рис. 2.21. Теплообмін в теплової трубі вакуумного сонячного колектора

колектори повністю придатні для ремонту: в разі необхідності трубку можна замінити без зупинки сонячного водонагрівача.

За необхідністю вакуумні трубки можна додавати (при нестачі тепла) або частково знімати (якщо є його надлишок), зменшуючи площу геліоколектора.

Сонячні колектори і ГЕЛІОСИСТЕМИ

Експлуатаційне обслуговування сонячного водонагрівача зводиться практично до нуля. Вакуумні сонячні колектори відмінно справляються із завданням забезпечення будинку гарячою водою, опаленням квартири, підігрівом басейнів, теплиць, пра-

цюють в системах вентиляції, кондиціонування та опалення будівель. Завдяки всьому цьому робота геліосистеми проста, як з точки зору експлуатації, так і обслуговування.

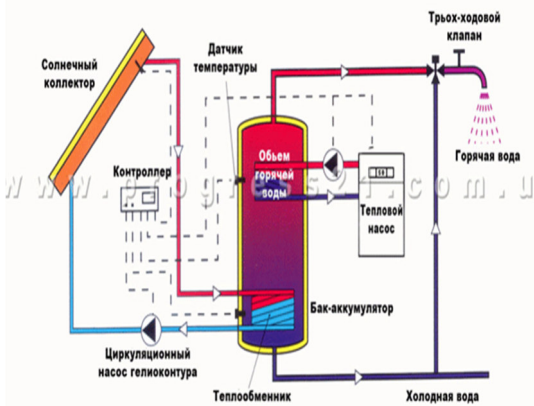


Рис. 2.22. Схема геліосистеми

Геліосистема PROGRESS-XXI, рис. 2.22,

складається з

таких частин:

- вакуумний сонячний колектор;
- насосний вузол для перекачки теплоносія від сонячного колектора до бака;
- контролер, який керує роботою сонячної системи;
- бак-акумулятор

гарячої води;

- піковий доводчик (тепловий насос),
- електричний тен чи інше джерело тепла).

Сонячні колектори в Україні здатні забезпечити будинок або квартиру безкоштовною тепловою енергією з квітня по жовтень. В інший період року вони дають частину теплової енергії на опалення і гаряче водопостачання, іншу частину забезпечує піковий доводчик: електричний тен, тепловий насос або газовий котел. У Криму робота геліоколектора на 30% ефективніше ніж в Києві, завдяки географічному розміщенню півострова.

Переваги використання сонячних колекторів PROGRESS-XXI:

- Висока надійність в системах опалення;
- Максимальне використання кожного сонячного променя;
- Здатність знезаражувати воду;
- Збереження високої працездатності в холодну пору року;
- Швидке повернення в робочий стан при обмерзання, покритті снігом або інше;
- Змінні модулі, легкість в установці;

- Антикорозійний мідний теплозбірник;
- Високі теплоізоляційні здатності теплозбірника;
- Рама і кожух теплопроводу виготовлені з високоякісної нержавіючої сталі;
- Витримують високий тиск теплоносія, що особливо актуально для великих геліосистем.

<http://progress21.com.ua/ru/energoberegayushchie-tekhnologii/solar-collectors>

Характеристика вакуумного геліоколектора з тепловими трубами типу «Heat pipe»

Довжина труб і зовнішній діаметр труби 1800 мм, 58 мм;

Товщина скла стінки труби 1,6 мм;

Матеріал труби – боросилікатне скло;

Коефіцієнт теплового розширення матеріалу $3,3 \times 10^{-6} \text{ } ^\circ \text{C}$;

Поглинальне покриття Al-N / Al;

Коефіцієнт поглинання $> 90\%$;

Випромінююча здатність 7% (100°C);

Вакуум $P < 5 \times 10^{-3} \text{ Па}$;

Опір вітру 30 м/с;

Температура стагнації $< 220^\circ \text{C}$;

Тепловтрати $< 0,8 \text{ Вт} / \text{м}^2 \times ^\circ \text{C}$);

Відбивач – алюмінієвий;

Матеріал рами – алюміній, нержавіюча сталь;

Тиск випробування 1,0 МПа;

Робочий тиск 0,6 МПа;

Працює при температурі до -30°C



Рис. 2.23. Вакуумний трубчастий сонячний колектор

У термосифонному колекторі вакуумні трубки з'єднані з накопичувальним баком. З контуру теплообмінника вода тече прямо в трубки, нагрівається і повертається назад. Такі системи ще називають термосифонними. До переваг цих систем відноситься безпосередня передача тепла воді без участі інших елементів. Термосифонні системи працюють на принципі явища



Рис. 2.24. Трубчастий вакуумний колектор з прямою теплопередачею воді

природної конвекції, коли тепла вода прагне вгору. У термосифонних системах бак повинен бути розташований вище колектора. Коли вода в трубках колектора нагрівається, вона стає легше і природно піднімається у верхню частину бака. Більш прохолодна вода в баці тече вниз в трубки, таким чином, забезпечується циркуляція у всій системі.

У маленьких системах бак об'єднаний з колектором і не розрахований на магістральний тиск, тому термосифонні системи потрібно використовувати або з подачею води з вище розташованої ємності, або подавати воду через редуктори, що зменшують тиск. Така система має мінімальний гідравлічний опір.

Приклад застосування сонячного колектора; рис. 2.25.

- 1 – сонячний колектор;
- 2 – насос;
- 3 – водяний контейнер;
- 4 – насос;
- 5 – електронагрівач;
- 6 – фен;
- 7 – теплообмінник.

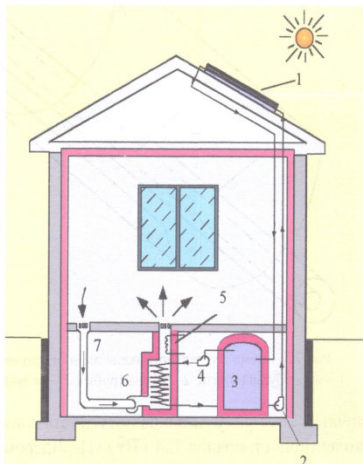


Рис. 2.25. Повітряне опалення з сонячним колектором

2.6. Використання сонячної енергії в промисловості

Енергія сонця

Енергія сонця безпечна для довкілля. Її можна виробляти поки світитиме Сонце. Використання сонячного випромінювання доцільне для вироблення теплової та електричної енергії й можливе на всій території України.

<http://saee.gov.ua/uk/ae/sunenergy>

Потенціал використання в Україні

Середньорічна кількість сумарної енергії сонячного випромінювання, яка надходить щорічно на територію України, знаходиться в межах від 1070 кВт·год/м² в північній частині України до 1400 кВт·год/м² і вище в АР Крим.

Фотоенергетичне обладнання може достатньо ефективно експлуатуватися на протязі всього року проте, максимально ефективно протягом 7 місяців на рік (з квітня по жовтень).

Перетворення сонячної енергії в електричну в умовах України слід орієнтувати в першу чергу на використання фотоелектричних пристроїв. Наявність значних запасів сировини, промислової та науково-технічної бази для виготовлення фотоелектричних пристроїв може забезпечити сповна не тільки потреби вітчизняних споживачів, але й експортувати більше двох третин виробленої продукції.

На 01.01.15 року в Україні діяло 98 сонячних станцій загальною встановленою потужністю 819 МВт, якими у 2014 році вироблено 485 млн кВт·год електричної енергії.

Беручи до уваги досвід з впровадження сонячних електростанцій (далі – СЕС) в європейських країнах зі схожим рівнем сонячного випромінювання, а також з огляду на світові тенденції постійного зниження собівартості будівництва СЕС внаслідок розвитку технологій, в Україні за рахунок вдосконалення технології та введення в експлуатацію нових потужностей виробництво електроенергії СЕС може бути значно збільшено.

Умовно територію України можна розділити на чотири зони, залежно від інтенсивності сонячної радіації, рис. 2.26.

Досвід країн ЄС та північної Америки свідчить, що сонячна енергія може використовуватись в промисловому масштабі на-

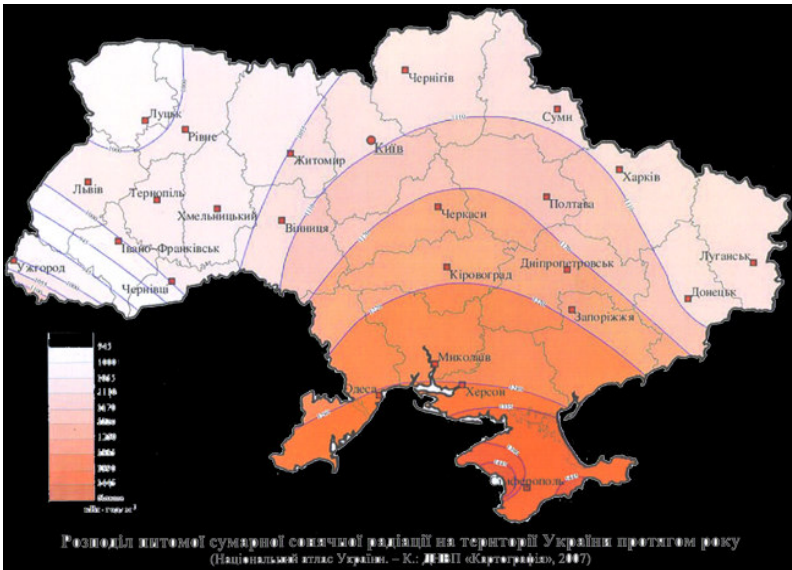


Рис. 2.26. Розподіл питомої сумарної сонячної радіації на території України протягом року (Національний атлас України. К. : ДНВП «Картографія», 2007)

віть вночі. В Іспанії і США є підприємства, що в темний час доби генерують електроенергію з тепла накопиченого вдень.

В якості енергетичного джерела для сонячної енергетики використовується енергія сонячного світла, яку за допомогою спеціальних конструкцій перетворюють в теплову або електричну. За даними фахівців всього за один тиждень на земну поверхню від Сонця поступає така кількість енергії, яка перевершує енергію світових запасів усіх видів палива. І хоча темп розвитку цього напрямку альтернативної енергетики неухильно росте, все ж сонячна енергетика має не лише достоїнства, але і недоліки.

Якщо до основних плюсів можна віднести загальнодоступність, а головне невичерпність джерела енергії, то до недоліків відносять:

- необхідність акумуляції отримуваної від сонця енергії;
- значну вартість використовуваного устаткування;
- залежність від погодних умов і часу доби;
- підвищення температури атмосфери над електростанціями.

<https://alternative>

energy.com.ua/%D1%81%D0%BE%D0%BD%D1%86%D0%

Станції, що працюють на сонячній енергії (геліостанції), взагалі безшумні. Істотний недолік полягає у тому, що такі станції займають великі площі. Кожен 1 МВт потужності СЕС потребує відведення щонайменше 1,5 га землі. Мінусом також є те, що вихід енергії – непостійний. На СЕС сьогодні припадає близько 4% виробленої електроенергії з відновлювальних джерел енергії у світі. Перетворення сонячної енергії в електричну відбувається в основному за рахунок використання фотоелектричних елементів.

Геліотермічний метод

Підприємства з виробництва концентрованої сонячної енергії (КСЕ) використовують дзеркала для концентрування сонячного випромінювання на приймачі, який збирає та передає сонячну енергію до теплопровідної рідини, що може застосовуватися як для кінцевого використання, так і для генерування електричної енергії за допомогою звичайних парових турбін. Великі КСЕ-підприємства можуть бути оснащені системами акумулювання тепла для постачання теплової енергії споживачам та генерування електричної енергії також і вночі або у випадку, якщо день хмарний. <http://saee.gov.ua/uk/ae/sunenergy>

Геотермічний метод полягає в перетворенні сонячного світла на тепло, яке потім підводиться до парової турбіни електричного генератора. Основними елементами в такій системі є: геліостати-дзеркала, що опромінюються сонцем і скеровують його віддзеркалені промені на розміщений у центрі установки на високій башті абсорбер. Абсорбер складається з труб, що фокусують на собі відбите від геліостатів сонячне випромінювання. В середині труб абсорбера циркулює робоча рідина (натрій, літій, нітрат калію), пара якої обертає турбіну.

Найбільшою (2009 р.) сонячною електростанцією, діючою за цим принципом, є електростанція Барстов (Barstov) потужністю

10 МВт, працююча в Каліфорнії (США). В даний час проектується електростанція потужністю 80 МВт, де башта абсорбера має висоту 225 м, геліостати розміщені на площі 450 м², температура робочої рідини досягає 530° С. Інший американський проєкт сонячної електростанції потужністю 250 МВт передбачається побудувати у пустелі, де інтенсивність сонячного випромінювання доходить до 1200 Вт/м². При цьому тиск робочої рідини досягає 15 МПа, а температура 500° С. Функціональну схему та-

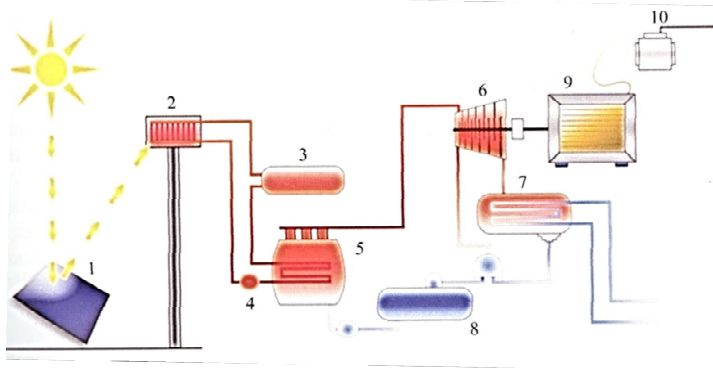


Рис. 2.27. Схема сонячної електростанції [11]:

1 – дзеркала, керовані комп'ютерами; 2 – абсорбер; 3 – збірник нагрітого натрію; 4 – циркуляційний насос; 5 – парогенератор; 6 – парова турбіна; 7 – конденсатор пари; 8 – охолоджувач; 9 – генератор електричної енергії; 10 – трансформатор

кої електростанції представлено на рис. 2.27.

Сонячні установки з баштовими концентраторами

Третій вид концентраторів – це баштова конструкція з приймачем. У цьому випадку вся сонячна енергія збирається за допомогою приймача, розташованого на верху баштової конструкції. Вежу оточують спеціальні відбивачі (геліостати), які можуть стежити за положенням сонця і повертатися таким чином, щоб промінь максимально концентрувалися на приймачі.

Приймач поглинає теплову енергію, яка потім обертає турбіну генератора.

В якості теплоносія може виступати пара або газ (температура якого може досягати тисячі градусів), рідина або рідкий метал (з температурою до восьмисот градусів), рис. 2.28.

При цьому теплоносії може не тільки впливати на турбіну для отримання електрики, але і брати участь в процесі виробництва.

Цей вид централізатора вважається дуже ефективним, хоча досить трудомістким і дорогим. Крім того, для отримання максимального ефекту від використання конструкції потрібні дуже великі площі (не менше 50 гектарів). Тому для отримання невеликих потужностей все-таки ефективніші і більш затребувані є централізатори параболоциліндричного типу.

А концентратори-тарілки найкраще підходять в тому випадку, коли потрібно забезпечувати електроенергією невелику автономну станцію. <http://remontu.com.ua/sonyachnij-koncentrator-shho-ce-take-i-yak-vin-prasyuye>



Рис. 2.28. Сонячна електроустановка з концентратором баштового типу

«Solar Two» – баштова електростанція потужністю 10 МВт в Каліфорнії – це прототип великих промислових електростанцій, рис. 2.28. Вона вперше дала електрику в квітні 1996 р., що стало початком 3-річного періоду випробувань, оцінки та дослідного виробітку електроенергії для демонстрації технології розплавлених солей. Сонячне тепло зберігається

в розплавленій солі при температурі 550°C , завдяки чому станція може виробляти електрику вдень і вночі, в будь-яку погоду. Успішне завершення проекту «Solar Two» має сприяти будівництву таких веж на промисловій основі в межах потужності від 30 до 200 МВт.

Сонячна електростанція PS20 концентрує на вежі висотою 161 метр сонячні промені від 1255 геліостатів, рис. 2.29. Кожне

дзеркало геліостату площею 120 м^2 направляє сонячні промені на сонячний колектор, який розміщений на вершині башти.



Рис. 2.29. Сонячні вежі PS10 і PS20 Іспанія

Недоліком будь-якої сонячної станції є падіння її потужності внаслідок появи на небі хмар чи повне припинення роботи у нічний час.

Для вирішення даної проблеми запропоновано використовувати у якості теплоносія не воду, а розчин солей із великою теплоємністю. Розплавлена солом'я сіль концентрується у сховищі, яке побудовано у вигляді великого термоса, рис. 2.30.

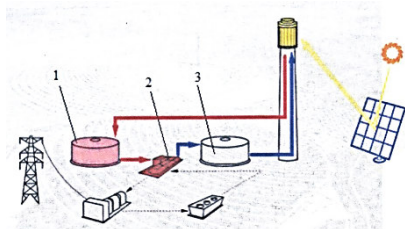


Рис. 2.30. Принципова схема роботи сонячної вежі з використанням розплавлених солей

При роботі такої вежі розплавлена сіль закачується з «холодного сховища» при температурі 288°C та проходить через приймач на вершині вежі, де нагрівається до температури 565°C , а потім знову повертається в «гаряче сховище». В останніх тепло зберігається на протязі 3–

13 годин. Будівництво такої електростанції в середньому коштує 5 мільйонів євро.

Сонячні вежі

Цікавим є те, що сонячна вежа може використовуватися не тільки для безпосереднього перетворення тепла в електроенергію за допомогою турбін. Ізраїльський Weizmann Institute of Science у 2005 році відпрацював технологію отримання цинку із оксиду цинку у сонячній вежі. Оксид цинку в присутності деревинного вугілля нагрівається у вежі сонячними променями до температури 1200°C . У результаті процесу отримується чистий

цинк можна використовувати для виготовлення електричних батарей.

Інший варіант передбачає розмістити цинк у воді та у результаті хімічної реакції отримати водень і оксид цинку. Далі оксид цинку знову направляється у сонячну вежу, а отриманий водень може бути застосований для роботи водневих двигунів у якості екологічно чистого палива. Ця технологія пройшла випробування у сонячній вежі канадського Institute for the Energies and Applied Research [3].

Існує й інший вид сонячних веж, який здатний перетворювати сонячне випромінювання (пряме і розсіяне) в електроенергію, комбінуючи три загальновідомі принципи: паровий ефект, витягну трубу та вітрогенератор.



Рис. 2.31. Схема роботи сонячної вежі

Принцип роботи такої вежі полягає в тому, що тепле повітря утворюється під великим скляним дахом внаслідок нагрівання сонцем у рухається до труби, яка розміщена всередині даху й видаляється зовні. При цьому потік повітря обертає турбіни, які розміщені біля основи труби-вежі, рис 2.31.



Рис. 2.32. Сонячна



Рис. 2.33. Парник, що

працює для сонячної вежі
рис. 2.32 і рис. 2.33.

Прототип сонячної вежі з парником потужністю 50 кВт був побудований в Мансанересі (Іспанія), і виробляв електроенергію протягом семи років, довівши ефективність та надійність цього способу отримання електроенергії,

Сонячні установки з концентраторами

Треба сказати, що сучасні дослідження довели, що ефективність параболо-циліндричних концентраторів нижче, ніж у конструкції тарілчастого або баштового типу. Концентратори-тарі-

лки зовні схожі на тарілки для супутникового зв'язку. Вони зібрані з дзеркал параболічної форми, що дозволяє концентрувати промені сонця на поверхні кожного з них, рис. 2.34 і рис. 2.35.

Температура теплоносія при цьому може досягати значення в тисячу градусів.



Рис. 2.34. Сонячна установка з концентраторами-тарілками



Рис. 2.35. Сонячна установка з параболічними концентраторами

На початок 2007 року загальна потужність сонячних термальних колекторів становила 154 ГВт. Лідером виробництва залишається Китай із встановленою потужністю у 70 ГВт на 2006 рік та перспективою у 210 ГВт до 2020 року.

Теплоносій відразу ж починає впливати на генератор або двигун (найчастіше застосовуються двигуни Брайтона і Стерлінга, які дозволяють добитися максимальної продуктивності системи). Тарілчасті концентратори вважаються дуже перспективним напрямком, який активно розробляється і вдосконалюється



Рис. 2.36. Сонячна установка з концентраторами тарілками

великими енергетичними компаніями, рис. 2.36. Варто відзначити, що така конструкція вважається корисною і для приватного використання, наприклад, якщо ваша дача знаходиться в сонячній смузі, ви можете зібрати сонячний концентратор своїми руками і ви-

користувати його для зниження витрат на електроенергію.

Такі електростанції концентрують сонячну енергію за допомогою лінз і рефлекторів. Оскільки це тепло можна зберігати, ці сонячні електростанції можуть виробляти електрику у міру потреби, вдень і вночі, в будь-яку погоду.

Сонячні концентратори-великі дзеркала – з точковим або лінійним фокусом – концентрують сонячні промені до такої міри, що вода перетворюється на пару, виділяючи при цьому досить енергії для того, щоб обертати турбіну. Фірма «Luz Corp.» встановила величезні поля таких дзеркал в каліфорнійській пустелі. Вони проводять 354 Мвт електроенергії. Ці системи можуть перетворювати сонячну енергію на електрику з ККД близько 15%.

Сонячне тепло можна зберігати різними способами. Сучасні технології включають параболічні концентратори, сонячні параболічні дзеркала і геліо-енергетичні установки баштового типу. Їх можна комбінувати з установками, що спалюють викопне паливо, а в деяких випадках адаптувати для акумуляції тепла.

Основна перевага такої гібридизації і теплоакумуляції – це те, що така технологія може забезпечувати диспетчеризацію виробництва електрики (тобто вироблення електроенергії може проводитися в періоди, коли в ній є необхідність). Гібридизація і акумуляція тепла можуть підвищити економічну цінність вироблюваної електрики і понизити його середню вартість.

Сонячні концентратори Solar.pp.ua побудовані в 80-х роках в південно-каліфорнійській пустелі фірмою «Luz International», Дев'ять таких систем утворюють найбільше на сьогоднішній день підприємство по виробництву сонячної теплової електрики. Ці електростанції поставляють електрику в комунальну електромережу Південної Каліфорнії. Ще в 1984 р. «Luz International» встановила в Деггетте (Південна Каліфорнія) сонячну електрогенеруючу систему «Solar Electric Generating System I» (або SEGS I) потужністю 13,8 МВт. У приймальних трубках масло нагрівалося до температури 343° С і вироблялася пара для виробництва електрики. Конструкція «SEGS I» передбачала 6 годин акумуляції тепла. У ній застосовувалися печі на природному газі, які використовувалися в разі відсутності сонячної радіації.

Ця ж компанія побудувала аналогічні електростанції «SEGS

II–VII» потужністю по 30 МВт. У 1990 р. в Харпер Лейк були побудовані «SEGS VIII і IX», кожна потужністю 80 МВт. Через наявність багаточисельних законодавчих і політичних труднощів компанія «Luz International» і її філії 25 листопада 1991 року сповістила про своє банкрутство. Тепер станціями «SEGS I–IX» управляють інші фірми по старому контракту з «Southern California Edison».

Сонячні концентратори (Solar.pp.ua). Від планів споруди «SEGS X, XI, XII» довелося відмовитися, що означає втрату додаткових 240 МВт запланованої потужності. Оцінки технології показують її вищу вартість, ніж в сонячних електростанціях баштового і тарілчастого типу (див. нижчий), в основному, із-за нижчої концентрації сонячного випромінювання, а значить, нижчих температур і, відповідно, ефективності. Проте, за умови накопичення досвіду експлуатації, поліпшення технології і зниження експлуатаційних витрат параболічні концентратори можуть бути найменш дорогою і найнадійнішою технологією найближчого майбутнього, рис. 2.37.



Рис. 2.37. Промислова геліостанція SOLAR,
<http://ukrdoc.com.ua/text/14451/index-1.html?page=14>

Оцінюючи в цілому стан сонячної енергетики, його можна характеризувати як початкову стадію розвитку цього напрямку. У міру вдосконалення технологічних рішень і підвищення економічності сонячних

енергоустановок масштаби використання сонячної енергії будуть збільшуватися

2.7. Промислові сонячні електростанції

Сонячна енергія, яка потрапляє на поверхню нашої планети, має колосальну потужність – сонячне випромінювання протягом тижня за потужністю перевершує всі нині відомі світові запаси викопних нафти, урану і вугілля разом узяті. Крім того, сонячна енергетика – екологічно чиста, при її виробленні не утворюється вуглекислий газ (як теплові станції), вона повністю радіаційно безпечна (на відміну від атомних станцій) і не утворює відходів, що вимагають подальшої утилізації (шлак і радіоактивні відходи). Саме тому сонячна PV енергетика (фотоелектрика) останнім часом стала однією з тих, що найбільш активно розвиваються. Якщо в 2010 році сумарна потужність всіх сонячних станцій становила 40,3 ГВт, то вже в 2015 вона досягла 230 ГВт, а тільки за 2016 рік у експлуатацію було введено 76 ГВт. Удосконалення технології призвело до того, що в 2016 році в 30 країнах світу (Австралія, Чилі, Мексика та інших.) за собівартістю сонячна електрика стала дешевше отриманої з газу чи нафти. За прогнозами, всього через кілька років частка таких країн складе 86% у всьому світі. Крім того, в 2016 році сонячна енергетика стала найдешевшою серед інших альтернативних видів енергії.

Мережеві промислові сонячні фотоелектричні станції

Мережеві on-grid (тобто підключені до загальної мережі) сонячні фотоелектричні станції (найбільш часто зустрічаються і використовуються абревіатури – ФЕС, СЕС, в англійській мові джерела – PV power plants або простіше PV plants, а також PV farms) – один з видів електростанцій, що найбільш активно розвиваються, з тих, що використовують для генерування електрики поновлювані (альтернативні) джерела енергії.

Основні переваги мережевих сонячних електростанцій:

Використання безкоштовної, відновлюваної енергії, доступною практично в необмежених обсягах – сонячного випромінювання. Яке, крім іншого, немає необхідності доставляти до місця

генерації електрики.

Висока надійність – сучасні сонячні батареї можуть ефективно експлуатуватися протягом 25 років. Крім того, станція не має рухомих/обертюваних частин, які особливо швидко зношуються і вимагають заміни. Низькі витрати на експлуатацію – сучасна сонячна електростанція відрізняється високим ступенем автоматизації всіх процесів, тому вимагає мінімальної кількості обслуговуючого персоналу.

Технічне обслуговування сонячних станцій для підтримки працездатності станції дуже маловитратне і не вимагає проведення трудомістких дорогих операцій.

Можливість задіяти під будівництво сонячної електростанції не тільки вільні площі, а й ті, які використовуються малоефективно або взагалі не використовуються, наприклад, фасади і дахи будинків – це не тільки дозволяє заощадити територію, але і значно знижує капіталовкладення в будівництво СЕС.

Обсяги генерації електроенергії в кілька разів перевершують ті, які були витрачені для її виробництва.

Висока швидкість повернення інвестицій – на сьогоднішній день, інвестиції в сонячну енергетику окупаються швидше, ніж в нафтогазову галузь.

Крім того, слід зупинитися і на інших достоїнствах мережевих сонячних електростанцій:

Можливість інсталяції обладнання в місцях, де централізоване енергозабезпечення відсутнє.

Варіативність по потужності сонячних електростанцій – це дає можливість виробляти необхідну кількість електроенергії і використовувати її максимально ефективно.

Можливість створення повністю автономних систем енергозабезпечення при використанні систем накопичення енергії (аккумуляторних батарей великої ємності).

Висока автоматизація всіх процесів, що дозволяє легко контролювати всі процеси, що відбуваються на станції, і оптимізувати режими генерації. <https://rentechno.ua/ua/solar/utility-scale.html>

Сонячна фотоелектрична електростанція The Olmedilla Photovoltaic розташована в муніципалітеті Ольмеділья-де-Аларкон, в Іспанії, рис. 2.38.



Рис. 2.38. Найпотужніша (2009) в світі фотоелектрична станція (60 МВт), Olmedilla Photovoltaic Park, Ольмеділья-де-Аларкон, Іспанія
http://www.journal.esco.co.ua/2011_8/art180.htm

Потужність станції в сонячну погоду сягає 60 МВт. Перетворення сонячної енергії в електричну забезпечують 16200 плоских фотоелектричних панелей. Станція була запущена в 2008 році. На будівництво пішло 15 місяців і 530 млн доларів.

Типова структура мережевої сонячної електростанції включає:

- Сонячні батареї служать для перетворення сонячного

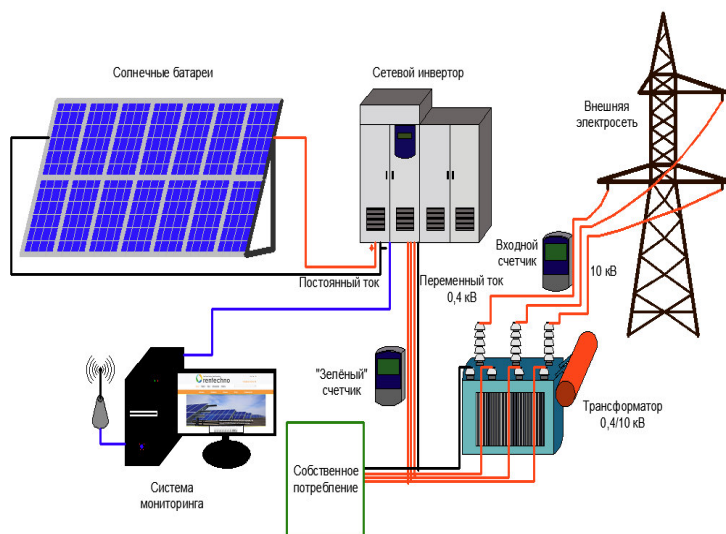


Рис. 2.39. Мережева сонячна електростанція: типова структура

випромінювання, що надходить на їх поверхню, в постійний струм.

- *Мережеві інвертори*, їх функціональне призначення – перетворення постійного струму (DC), що надходить від сонячних батарей, в змінний струм з промисловою частотою.

- *Система моніторингу* та управління СЕС – призначена для контролю параметрів роботи, а також справності всіх компонентів ФЕС.

- *Лічильники* – забезпечують моніторинг продуктивності СЕС, а також обліку кількості електроенергії, яка реалізується в зовнішню загальну мережу за зеленим тарифом.

- *Несучі ферми* (металеві опорні конструкції) – служать для монтажу сонячних панелей (батарей) на земній поверхні, фасадах будинків, дахах і т.д. Крім статичних конструкцій, можуть використовуватися рухомі поворотні сонячні трекери для встановлення сонячних батарей

- *Дротові лінії електропередач* (ЛЕП) – забезпечує з'єднання СЕС із загальною (централізованою) мережею.

- *Власні одержувачі електроенергії* – використовують вироблену СЕС електроенергію – прилади побутового або промислового призначення.

<https://rent techno.ua/ua/solar/utility-scale.html>

Сонячні ставки

Сонячні ставки – ще більш дешевий спосіб уловлювати сонячну енергію. Штучна водойма частково заповнюється розсолом (дуже солоною водою), поверх якого знаходиться прісна вода. Щільність розсолу набагато вища, тому він залишається на дні і з верхнім шаром майже не змішується. Сонячні промені без перешкод проходять через прісну воду, але поглинається розсолом, перетворюючись при цьому в тепло. Верхній шар діє як ізоляція, не дозволяючи нижньому остигати.

Іншими словами, у сонячних ставках використовується той же принцип, що й у парниках, тільки земля і скло замінені відповідно розсолом і прісною водою. Гарячий розчин солі може цир-

кулювати по трубах, опалюючи приміщення, чи використовуватися для вироблення електроенергії; ним нагрівають рідини з низькою точкою кипіння, що випаровуючись, надають руху турбо-



Рис. 2.40. Сонячний ставок в Ель Пасо. Техас. США [3]

генераторам низького тиску. Оскільки сонячний ставок являє собою високоефективний тепловий акумулятор з його допомогою можна одержувати енергію безупинно, рис. 2.40.

У сонячній енергії дві переваги. По-перше, її багато вона відноситься до поновлюваних енергоресурсів: тривалість існування Сонця оцінюється приблизно в 5 млрд років. По-друге, її використання не тягне за собою екологічних наслідків ... Можна вказати три основних напрямки використання сонячної енергії: для опалення (в тому числі гарячого водопостачання) і кондиціонування повітря, для прямого перетворення в електроенергію за допомогою сонячних фотоелектричних перетворювачів і для великомасштабного виробництва електроенергії на основі теплового циклу [91].

Приклади розв'язання задач

Задача 2.1

На сонячній електростанції баштового типу встановлено n геліостатів, кожний з яких має поверхню $F_{\text{г}}$. Геліостати відбивають сонячні промені на приймач, на поверхні якого зареєстрована максимальна енергетична освітленість $H_{\text{пр}}$. Коефіцієнт відбивання геліостата $R_{\text{г}}$. Коефіцієнт поглинання приймача $A_{\text{пр}}$. Максимальне опромінення дзеркала геліостата $H_{\text{г}}$. Визначити площу поверхні приймача $F_{\text{пр}}$ і теплові втрати в ньому, викликані випромінюванням і конвекцією, якщо робоча температура теплоносія складає $t_{\text{пр}}$. Ступінь чорноти приймача $e_{\text{пр}}$. Коефіцієнт конвективного теплообміну $a_{\text{кон}}$ [96].

Вихідні дані для розрахунку:

Кількість геліостатів n	263 шт.;
Поверхня геліостату, $F_{\text{г}}$	58 м ² ;
Енергетична освітленість $H_{\text{пр}}$	2,5 МВт/м ² ;
Коефіцієнт відбиття геліостата $R_{\text{г}}$	0,80;
Коефіцієнт поглинання приймача $A_{\text{пр}}$	0,95;
Опромінення дзеркала геліостата $H_{\text{г}}$	600 Вт/м ² ;
Робоча температура теплоносія $t_{\text{пр}}$	660° С;
Ступінь чорноти приймача $e_{\text{пр}}$	0,95;
Коефіцієнт конвективного теплообміну $a_{\text{кон}}$	4;

Схема установки наведена на рис. 2.41.

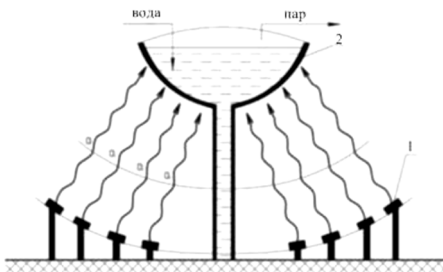


Рис. 2.41. Схема концентратора сонячної енергії: 1 – геліостати; 2 – теплоприймач

1. Загальний тепловий потік (теплова потужність) геліостатів:

$$Q_{\text{гел}} = nFR_{\text{г}}; \quad (2.13)$$

$$Q_{\text{гел}} = 263 \cdot 58 \cdot 0,8 = 7321920 \text{ Вт} = 7321,92 \text{ кВт.}$$

2. Енергія, яка отримується теплоприймачем від геліостатів:

$$Q_{\text{пр}} = A_{\text{пр}} Q_{\text{гел}}; \quad (2.14)$$

$$Q_{\text{пр}} = 0,95 \cdot 7321,92 = 6955,824 \text{ кВт.}$$

3. Площа поверхні приймача, яка опромінюється, складає:

$$F_{\text{пр}} = Q_{\text{пр}} / H_{\text{пр}} . \quad (2.15)$$

$$F_{\text{пр}} = \frac{6955,824}{2,5 \cdot 10^3} = 2,782 \cdot \text{м}^2 .$$

4. Втрати тепла за рахунок випромінювання від нагрітої поверхні приймача до навколишнього середовища:

$$Q_{\text{вип}} = e_{\text{пр}} C_0 \cdot \left[\left(\frac{T_{\text{пр}}}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_{\text{о.ср}}}{100} \right)^4 \right] \cdot F_{\text{пр}} . \quad (2.16)$$

$$Q_{\text{вип}} = 0,95 \cdot 5,67 \left[\left(\frac{660 + 273}{100} \right)^4 - \left(\frac{27 + 273}{100} \right)^4 \right] \cdot 2,782 =$$

$$= 112284 \text{ Вт} = 112,284 \text{ кВт}.$$

5. Теплові втрати тепла конвекцією у поверхні приймача за рахунок висхідного повітряного потоку:

$$Q_{\text{кон}} = a_{\text{кон}} (t_{\text{пр}} - t_{\text{о.ср}}) \cdot F_{\text{пр}} . \quad (2.17)$$

$$Q_{\text{кон}} = 4(660 - 20) \cdot 2,782 = 7121,9 \text{ Вт} = 7,1219 \text{ кВт}.$$

6. Загальні теплові втрати приймачем складають:

$$Q_{\text{пот}} = Q_{\text{вип}} + Q_{\text{кон}} . \quad (2.18)$$

$$Q_{\text{пот}} = 112,2844 + 7,1219 = 119,4 \text{ кВт}.$$

7. Коефіцієнт корисної дії установки складає:

$$\mu = \frac{Q_{\text{пр}} - Q_{\text{пот}}}{Q_{\text{пр}}} . \quad (2.19)$$

$$\mu = 1 - \frac{119,4}{6955,824} = 0,983 .$$

Отже, площа поверхні приймача $F_{\text{пр}} = 2,782 \text{ м}^2$, загальні теплові втрати приймачем $Q_{\text{пот}} = 119,4 \text{ кВт}$, коефіцієнт корисної дії установки $\mu = 0,983$ [96].

Контрольні питання

1. Який потенціал сонячної енергії і напрям її освоєння?
2. Яке походження сонячної енергії?
3. Як характеризується сонячне випромінювання?
4. Чому дорівнює сонячна стала?
5. Що таке сонячний вітер?

6. Як розподіляється сонячне випромінювання при проходження від Сонця до Землі?
7. Чому дорівнює астрономічна одиниця довжини?
8. Що таке екліптика?
9. Який фіксований кут нахилу осі Землі до нормалі до площини обертання?
10. З яких радіацій складається радіація, що потрапляє на нахилену поверхню світлопоглинаючої панелі (СПП)?
11. Який принцип роботи фотоелементів?
12. Як виготовляють кременеві фотоелементи?
13. Які існують способи складання фотоелементів?
14. З чого складається принципова схема сонячної і електричної установки?
15. Як сконструйований вакуумний сонячний колектор?
16. Як працює вакуумний сонячний колектор?
17. В чому особливість роботи вакуумного сонячного колектора системи Прогрес XXI?
18. З яких елементів складається схема геліосистеми?
19. Як працює термосифонний колектор?
20. Які напрямки використання сонячної енергії в промисловості?
21. Яку будову мають установки з концентраторами сонячної енергії?
22. Як виглядає схема сонячної електростанції з КСЕ?
23. Який спосіб акумуляції тепла використовують в сонячних установках з баштовими концентраторами?
24. Як в сонячних вежах використовують оксид цинку?
25. Як працює сонячна вежа з вітрогенератором та парником?
26. Як працюють сонячні установки з тарілчастими і параболоциліндричними концентраторами?
27. Які основні переваги мережевих сонячних електростанцій?
28. Яка типова структура мережевої сонячної електростанції?
29. Як працюють сонячні ставки?

3. ГЕОТЕРМАЛЬНА ЕНЕРГІЯ

3.1. Особливості геотермальної енергії

Геотермальна енергія

Геотермальна енергія – природне тепло, яке акумульоване в перших десятих кілометрах Земної кулі. Вчені припускають, що Земля складається із трьох основних частин: ядра, мантії і земної кори, рис. 3.1 [3].

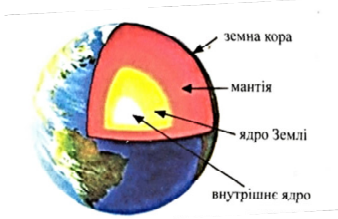


Рис. 3.1. Модель внутрішньої будови землі

5000° С.

Мантія – це внутрішня оболонка, яка вкриває ядро (з грецької «мантія» – «покривало»). Її потужність майже 3000 км. Мантія – найбільша з внутрішніх оболонок планети (83% об'єму Землі).

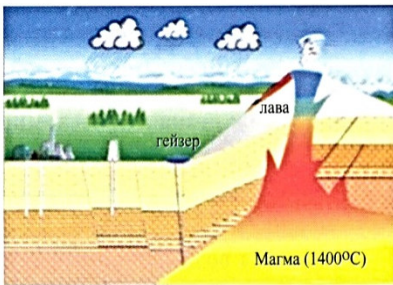


Рис. 3.2. Схема геотермального родовища

Ядро – це центральна частина земної кулі. Воно поки що є загадкою для науки. Учені вважають, що зовнішня частина ядра перебуває в розплавленорідкому стані, а внутрішня – в твердому. Припускають також, що ядро складається з речовини схожої на метал (із заліза з домішками кремнію або із заліза і нікелю). Температура в ядрі досягає

Припускають, що чим ближче до центру Землі, тим тиск у ній більший, а температура вища: від кількох сотень градусів до 2500° С. При такій температурі речовина мантії мала б бути розплавленою, але плавленню заважає великий тиск. Тому вважають, що вона тверда, але водночас і розпечена, рис. 3.2.

Вчені припускають, що верхня частина мантії складена щільними породами, тобто вона тверда. Проте, в ній на глибині 50–250 км від поверхні Землі розміщується частково розплавлений шар – астеносфера. Він порівняно м'який і пластичний, як пластилін чи віск. Ця речовина мантії здатна повільно текти і таким способом перемішуватися. Вона ще має назву – *магма*. Швидкість переміщення невелика – декілька сантиметрів на рік. Час від часу гаряча магма піднімається на поверхню у вигляді лави, рис. 3.2 [2]. Магма обігріває воду, що міститься в оточуючих породах.

Кількість тепла, накопичена в земних надрах дуже велика і складає близько 35 ТВт на 10 км, що в 50000 разів перевищує кількість тепла, накопичену у всіх родовищах природного газу у світі, рис. 3.3.

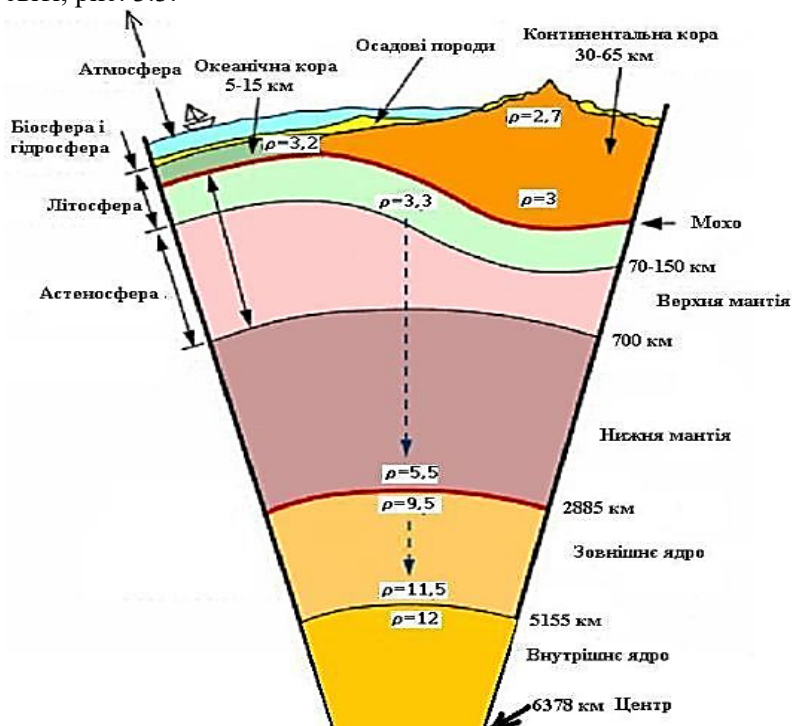


Рис. 3.3. Будова земної кори

Земна кора – верхній твердий шар нашої планети. Порівняно з ядром і мантією, вона дуже тонка. Товщина (потужність) земної кори найбільша під горами – 70 км, під рівнинами вона становить 35–40 км, а під океанами – лише 5–10 км, рис. 3.4.

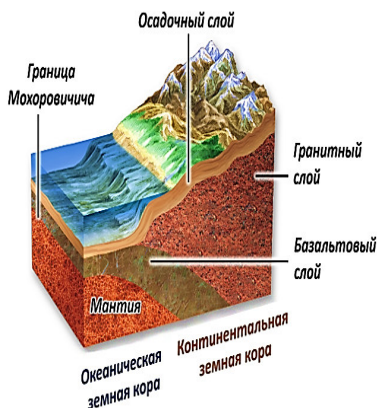


Рис. 3.4. Будова земної кори

Заирнути вглиб земної кори допомагають шахти і свердловини, що створюються для видобування корисних копалин. Люди давно помітили, що в шахтах із збільшенням глибини температура підвищується. Наприклад, на глибині 1000 м шахтарі працюють і умовах спеки (близько $+30^{\circ}\text{C}$) [3]. Тепло земній корі передається від мантії. Для проведення наукових досліджень геологами були пробурені надглибокі свердловини. Найгли-

бша з них (до 15 км) пробурена на Кольському півострові.

Земна кора разом з верхньою мантією утворюють літосферу. Вона є єдиним твердим («кам'яним») шаром, який ніби плаває в пластичній астеносфері. Товщина літосфери рівна під океаном – близько 50 км, а на материках – до 200 км. Із збільшенням глибини занурення у земну поверхню спостерігається підвищення температури в середньому на $17\text{--}30^{\circ}\text{C}$ із кожною 1000 метрів [3].



Рис. 3.5. Рейк'явік, фото Великого гейзера з геотермальною водою [11]

Дошова вода проникає вглиб Землі, де обігривається її теплом, рис. 3,5. У деяких місцевостях джерела з теплою, гарячою водою і паром знаходяться настільки близько до поверхні Землі (до 3 км), що можуть видобуватися за допомогою буріння. Частина теплої води через розколи (структури, що виникають у

результаті руху порід) і щілини потрапляє на поверхню Землі у вигляді джерел або гейзерів [11].

Але більшість води знаходиться глибоко під землею в щілинах і порах твердих порід. Такі природні накопичення води і водяної пари називаються *геотермальними резервуарами* або родовищами [11].

Гаряча вода з підземних резервуарів може прямо подаватися до місць споживання. Серед них можуть бути системи обігріву будинків, теплиці, рибні господарства, підприємства із обробки вовни, пастеризації молока, вирощування грибів, прасування одягу, бальнеологія, тваринництво, виробництво паперу та борної кислоти.

Основним недоліком геотермальних резервуарів є те, що вони як правило знаходяться на стику літосферних плит та місцях підвищеного вулканізму чи тектонічної активності [3].

Найвищі температури земної кори спостерігаються в тих зонах, де відбуваються або відбувались у недалекому геологічному минулому вулканічні явища. Такі області називаються «гарячими точками», товщина земної кори в таких точках найменша. Вони утворюють «вогняне коло», яке тягнеться вздовж вулканічних островів у Тихому океані і західного узбережжя Північної і Південної Америки, рис. 3.6.



Рис. 3.6. Тихоокеанське «вогняне коло»

Геотермальні запаси поділяються на *геотермічні* і *петротермічні*. Під геотермічними запасами мають на увазі воду, пару або пароводяні суміші, які виступають через тріщини порід і мають температуру 200–300° С, водяні потоки або водоносні шари температурою 80–95° С. Вони використовуються в наш час, рис. 3.7.

Накопичені в сухих твердих шарах *петротермічні запаси* є перспективними.



Рис. 3.7. Найбільша в світі геотермальна станція потужністю 750 МВт. Мексика

При температурах вище $120\text{--}150^{\circ}\text{C}$ доцільним є використання геотермальних запасів для виробництва електроенергії [11].

3.2. Джерела геотермальної енергії

Джерела геотермальної енергії поділяються за фізичним станом носія тепла, а також за значенням температури на наступні групи:

- ґрунти і породи до глибини 2500 м, з яких тепло для опалення з використанням теплових насосів одержуються за допомогою спеціальних теплових зондів;
- ґрунтові води, що безпосередньо застосовуються як джерело тепла для теплових насосів;
- водяна пара, отримувана за допомогою свердловин, які подають воду, що знаходить застосування в геотермальних електростанціях для виробництва електроенергії;
- соляні поклади, енергія з яких проводиться за допомогою розсолу або інертних по відношенню до солі рідин, головним чином, вуглеводів, наприклад ізобутану;
- гарячі породи, з яких енергія отримується за допомогою води, що під високим тиском циркулює через систему штучних або природних тріщин у комплексах порід на значній глибині. Ця енергія використовується в геотермальних електростанціях для отримання електроенергії, а також для опалення [11].

Гейзери як джерела геотермальної енергії

Одним з джерел геотермальної енергії, що знаходиться глибоко в Землі є *гейзери*, тобто вибухаюча водяна пара високої температури, яку можна використати для виробництва енергії.



Рис. 3.8. Експедиція в Іспанії

Гейзери є вражаючим явищем, яке зустрічається лише в деяких регіонах світу. Виверження гейзерів часто супроводжується небезпечними випаровуваннями отруйних газів, що містять вуглекислий газ, діоксид сірки, соляну кислоту та сірководень.

Гарячі сухі породи – як джерело геотермальної енергії

У цьому випадку використовується теплова енергія, накопичена в сухих породах на великій глибині. Використання цієї енергії базується на штучно вироблених щілинах, утворених в результаті вибуху вибухових речовин з великою потужністю на глибині декількох тисяч метрів. У систему цих щілин через ввідний отвір під високим тиском постачається вода, яка в результаті циркуляції набуває енергії гарячих порід і після досягнення відповідної температури виводиться через свердловину на поверхню. Виведена вода служить для утворення водяної пари у вторинному обігу, де тиск буде меншим, або де циркулює низькокипляча рідина. Ця технологія є економічною і не шкодить навколишньому середовищу, вона використовує практично невичерпні запаси енергії, доступні в будь-який час, в кожному місці на землі.

Найістотнішою характеристикою геотермального джерела є його температура T_p , кількість розчинених солей, вміст розчинене-

них газів, а також тиск на дні геотермального колодязя P_1 . Ці фізичні параметри оцінюють порівняльний індекс енергетичної цінності геотермального джерела. Для порівняння потенціальних термодинамічних можливостей вживається поняття ексергії георідини.

3.3. Характеристика геотермального джерела

Ексергія – це «якість енергії», це частина енергії, яка може бути використана. Невикористана частина енергії (втрати) має назву анергія. Величина ексергії є добутком потоків маси m і питомої ексергії e :

$$E = m \cdot e ; \quad (3.1)$$

$$e = h - h_o - T_o (s - s_o), \quad (3.2)$$

де E – кількість теплової енергії геотермального джерела [Дж]; T – температура георідини на поверхні; m – маса георідини на виході із свердловини [кг/год]; e – питома ексергія георідини [Дж/кг]; h – питома ентальпія георідини на виході [кДж/кг]; s – питома ентропія [Дж/К].

Наближене значення енергії, отриманої з геотермального родовища, можна визначити за допомогою формули:

$$E = w \cdot f \cdot c_p \cdot \rho \cdot (T_1 - T_2) , \quad (3.3)$$

де w – швидкість руху георідини (м/с); $f = \pi d^2/4$ переріз труби, що виводить гарячу воду на поверхню; c_p , питома теплоємність води (Дж/(кг·К)); ρ – густина води (кг/м³); T_1 – температура геотермальної води на виході (К); T_2 – температура геотермальної води на вході (К).

Теплову потужність (МВт) геотермального родовища визначають згідно формули

$$P = \frac{E}{3,6} \cdot 10^6. \quad (3.4)$$

При виробництві електричної енергії, незалежно від технічних рішень на станції, тільки частина ексергії перетворюється в електричну енергію

$$E_{el} = E \cdot \eta_u , \quad (3.5)$$

де η_u – коефіцієнт ефективності геотермального джерела.

Преваги і недоліки використання геотермальної енергії

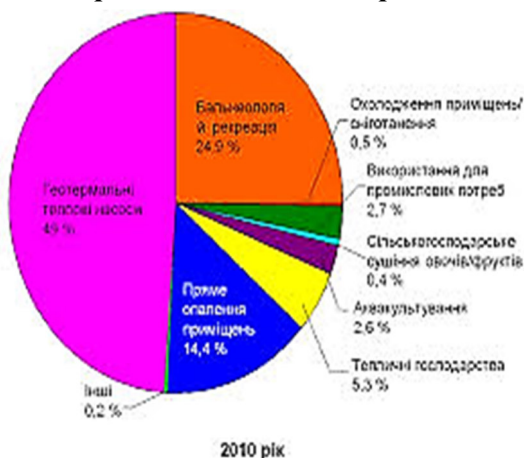


Рис. 3.9. Використання геотермальної енергії в Україні

електроенергії – 14%. Геотермальна енергія також використовується в теплицях, промисловості, рибному господарстві, при топленні льоду і в місцях купання. Таким чином, використання геотермальної енергії не тільки покращило стан навколишнього середовища, але й значно вплинуло на стандарти життя мешканців.

Використання геотермальної енергії створює також екологічні проблеми. Найважливіша з них полягає в емісії шкідливих газів, що вивільнюються з георідини. Мова йде про сірководень, який повинен утилізуватися у відповідних установках, а це значно підвищує вартість виробництва електричної енергії. Іншу потенціальну загрозу для здоров'я становить радон, продукт розпаду радіоактивного урану, що видобувається разом з парою з геотермального джерела. Обмеження шкідливого впливу цього газу на довкілля є відкритою, нерозв'язаною до цього часу технічною проблемою [11].

Станції з використання геотермальної енергії видобувають її глибоко з надр землі. Як, наприклад, станція Salton Sea в Каліфорнії, штат Каліфорнія, розташована на півдні розлому Сан-Андреас, рис. 3.10.

Щонайменше у 64 країнах світу люди користуються перевагами геотермії. Однак ступінь використання енергії цього типу дуже коливаються, рис. 3.9. Широкого застосування ця енергія набула в Ісландії, де 50% енергії, що споживається, походить з геотермальних систем. Частка геотермальної енергії в опаленні становить 86%, а у виробництві



Рис. 3.10. ГеоТЕС в Каліфорнії

Ця станція знаходиться біля геотермального поля родовища Солтон, де температура досягає 360 градусів за Цельсієм на глибині 1500–2500 метрів.

Геотермальні ресурси України

Україна має в своєму розпорядженні значні ресурси геотермальної енергії.

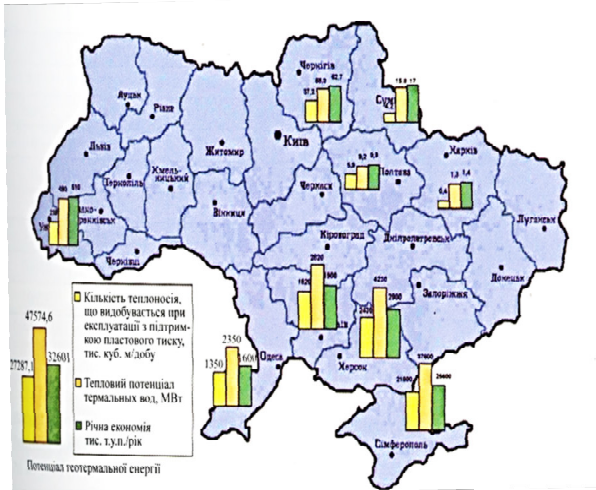


Рис. 3.11. Загальний потенціал геотермальної енергії України: в цілому в Україні експлуатаційні ресурси термальних вод за запасами тепла еквівалентні використанню близько 12 млн т у.п. на рік [3]

За різними оцінками, ресурси геотермальної теплоти з врахуванням розвіданих запасів і ККД перетворення геотермальної енергії зможуть забезпечити роботу ГеоТЕС загальною потужністю 200–250 млн кВт (при бурінні свердловин до 7 км і термінах роботи станцій

50 років), а також систем геотермального теплопостачання загальною потужністю до 1,2–1,5 млрд кВт (при глибинах буріння свердловин до 4 км, при тому ж періоді експлуатації). Це еквівалентно запасам $3,4 \cdot 10^{11}$ тонн умовного палива [11].

3.4. Принципи роботи геотЕС

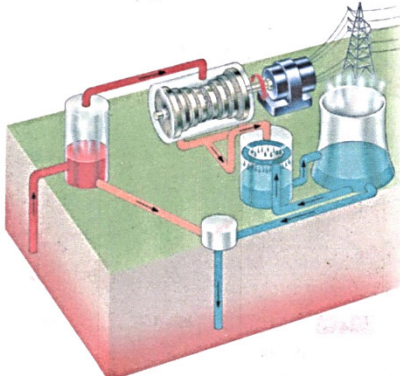


Рис. 3.12. Принципова схема роботи ГеотЕС

рюючи невелику кількість пари. На поверхні рідина разом з паром потрапляє в теплообмінник, де відбувається розділення пари високого тиску і рідини. Далі пара подається в турбіну, здійснює

обертання її ротора, який з'єднаний з електрогенератором. Далі електричний струм через трансформатор подається в високовольтну мережу. Використана вода знову закачується у підземні резервуарі, для повторного нагріву і використання [11].

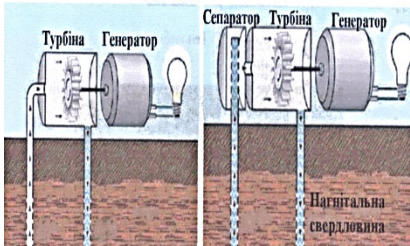


Рис. 3.13. Парогенератор і геотермальна електростанція

розігріті геотермальні води, рис. 3.13. У перших суха пара зі свердловини надходить у турбіну, а приєднаний до неї генератор виробляє електричний струм [3].

Розрізняють два види геотермальних станцій: перші для генерування струму використовують пару, другі – пере-



Рис. 3.14. Потужна ГеоТЕС, 140 МВт, Африка, Кенія

рис. 3.13. Установки, що використовують фреон як теплоносії для другого контуру, зараз підготовлені для температур 75–150° С [3], рис. 3.14.

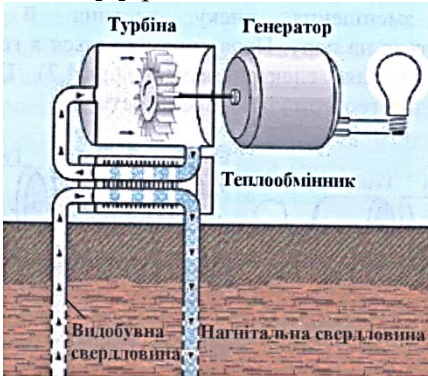


Рис. 3.15. Геотермальна електростанція з двоконтурним циклом [3]

холодна вода із наступним отриманням пари або пароводяної суміші [3].

Вогняне буріння

При створенні глибоких свердловин дуже часто виникає багато проблем, основними з яких є проходка міцних порід. Для цього часто застосовують *вогняне буріння*

При вогняному бурінні свердловин гірські породи руйнуються нагрітим до 2200° С газовим струменем, який подається на

Іншими методом виробництва електроенергії на базі геотермальних вод є використання процесу із застосуванням двоконтурного (бінарного) циклу. У цьому процесі вода, отримана з геотермічного басейну, використовується для нагрівання теплоносія другого контуру (фреону чи ізобутану), який має меншу температуру кипіння,

Значні масштаби розвитку геотермальної енергетики в майбутньому можливе 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, рис. 3.15. Тобто фактично формується штучний геотермальний резервуар, в який подається холодна вода із наступним отриманням пари або пароводяної суміші [3].

вибій свердловини з реактивного пальника. В результаті цього відбувається руйнування кристалічних зерен породи, утворюються тріщини та лушчиння породи [3], рис. 3.16.

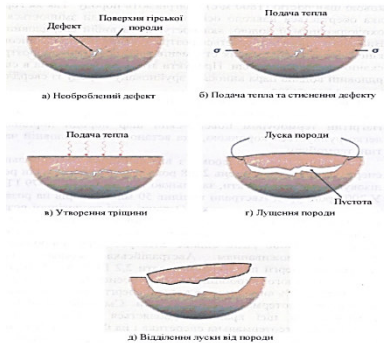


Рис. 3.16. Процес руйнування породи при вогняному бурінні



Рис. 3.17. Найпотужніша геотермальна електростанція (1517 МВт), The Geysers, Каліфорнія (США), http://www.journal.esco.co.ua/2011_8/art180.htm

Найпотужніша (2009 р.) геотермальна електростанція (1517 МВт) The Geysers, Каліфорнія (США)

The Geysers – найбільше геотермальне родовище, розташована в 116 км на північ від Сан-Франциско, Каліфорнія. Незважаючи на те, що пікова потужність 2000 МВт з середини 1980-х років знизилася на сьогодні до 1517 МВт, цей проект продовжує залишатися найбільшою геотермальною електростанцією, рис. 3.17.

На родовищі встановлено і працює 18 геотермальних електростанцій. 15 з них належить компанії Calpine Corporation – найбільшій енергетичній компанії в США за використанням геотермальної енергії.

3.5. Використання геотермальної теплоти за рахунок теплових насосів

Теплові насоси

Тепловими насосами називаються установки, призначені для підвищення потенціалу низькотемпературної теплоти за рахунок витрати електроенергії або іншої високопотенційної енергії.

Вони застосовуються для нагрівання об'єкту, наприклад для опалювання приміщень [28–40].

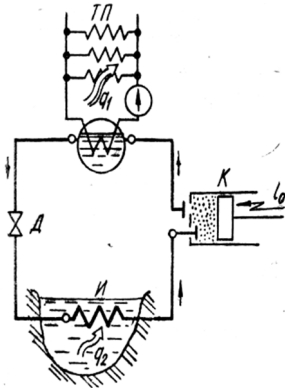


Рис. 3.18. Схема теплового насоса: K – компресор; $И$ – випарник; $Д$ – дросель; $ТП$ – теплоприймач (споживач тепла)

Як і холодильна установка, тепловий насос, рис. 3.18, працює за зворотним циклом, тобто за рахунок витрати питомої роботи l_0 в компресорі K (або теплоти іншого потенціалу), який відбирає питому теплоту q_2 з джерела низької температури $И$ і надає питому теплоту q_1 джерелу високої температури (теплоприймачу) $ТП$, причому $q_1 = q_2 + l_0$.

Робоче тіло, яке являє собою фторовані вуглеводні, залишається в герметично замкненому контурі.

Джерелом теплоти низької температури для теплового насоса служить оточуюче середовище, і в тому числі геотермальна теплота: наприклад, холодна вода свердловин і колодязів, водойм, річок і ін.

Температура нижніх шарів води в річці навіть в найсильніші морози становлять декілька градусів. Ця вода омиває випарник $И$ і випаровує в ньому холодоагент (фреон, аміак, вуглекислота). Теплоприймач (будь-який споживач теплоти, наприклад опалювальна система) теплового насоса, крім питомої «безкоштовної» теплоти q_2 , від оточуючого середовища отримують теплоту, яка еквівалентна роботі, що витрачена компресором l_0 .

Циклами теплових насосів є цикли холодильних машин, які працюють в іншому інтервалі температур. Ефективність циклу теплового насоса, який споживає для перенесення теплоти роботу, характеризується *коефіцієнтом перетворення теплоти*, або *опалювальним коефіцієнтом*

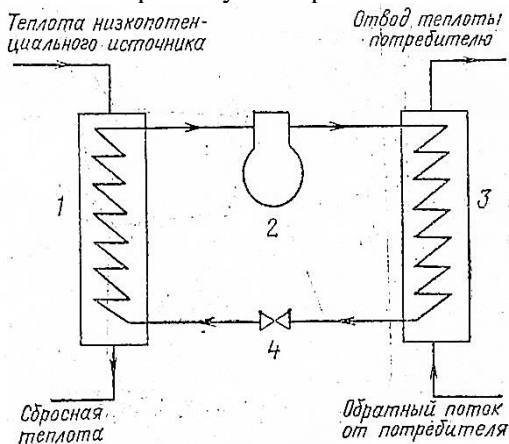
$$\psi = q_1/l_0 = (q_2 + l_0)/l_0 = \varepsilon + 1, \quad (3.6)$$

де q_1 – питома кількість теплоти, яка надається джерелу високої температури (споживачу теплоти); l_0 – витрачена в циклі питома робота; $q_2/l_0 = \varepsilon$ – *коефіцієнт холодопродуктивності*.

З виразу (3.6) випливає, що при холодильному коефіцієнті $\varepsilon = 3-4$ споживач отримує в три – чотири рази більше питомої теплоти, яка зайнята у оточуючого середовища, ніж при звичайному електрообігріванні і тієї ж питомій витраті електроенергії l_0 . В тих випадках, коли джерелом низькопотенційної теплоти є більш нагріта охолоджуюча вода промислових печей і побутові стічні води, ефективність теплового насоса також підвищується.

В багатьох випадках скидна теплота з температурою $25-30^\circ \text{C}$ може бути ефективно утилізована, якщо її покращити якісно (тобто підвищити до більш високої температури), а потім в другий раз використати у тому ж процесі, для інших установок або для цілей теплофікації, де необхідна більш високотемпературна теплота.

Ідеальний цикл теплового насоса. В енергетичному циклі теплота поступає до робочого тіла, яке потім здійснює роботу і скидає теплоту при більш низькій температурі. В циклі теплового насоса або холодильника усе відбувається у зворотному порядку. Теплота сприймається при низькій температурі, потім робочим тілом виконується робота і воно віддає теплоту при підвищеній температурі.



Теплові насоси забезпечують і охолодження і нагрівання і широко використовуються для кондиціонування повітря.

Далі розглянемо теплові насоси для нагрівання. Схема теплового насоса показана на рис. 3,19. У випарник 1 надходить потік відпрацьованого джерела

Рис. 3.19. Принципова схема теплового насоса: 1 – випарник; 2 – компресор; 3 – конденсатор; 4 – дросель

тепла з низькою температурою і при випаровуванні робочого тіла

теплота надходить в систему теплового насоса. Потім утворена пара робочого тіла проходить через компресор 2, в якому тиск і температура його підвищується. Потім робоче тіло потрапляє в

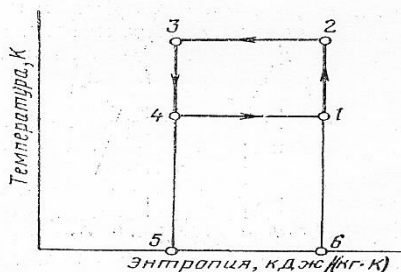


Рис. 3.20. Ідеальний цикл теплового насоса (цикл Карно):

- 1–2 – ізоентропійне стиснення;
- 2–3 – ізотермічна конденсація;
- 3–4 – ізоентропійне розширення;
- 4–1 – ізотермічне випаровування

конденсатор 3, де віддає теплоту, отриману у випарнику, і теплоту стиснення в компресорі. При цьому пара конденсується, а нагрітий конденсат проходить через дросель 4 і його температура знижується.

Ідеальний цикл теплового насоса представляється як зворотний цикл ідеального теплового двигуна (цикл Карно), як показано на рис. 3.20.

Робота теплового насоса звичайно характеризуються співвідношенням теплоти, яка віддається конденсатором, і роботи стиску компресора.

Іншими словами коефіцієнт перетворення ідеального циклу

$$\phi(\varphi) = T_1 / (T_1 - T_2), \quad (3.7)$$

де T_1 – температура конденсації, К; T_2 – температура випаровування, К.

Типовий температурний інтервал робочих температур теплового насоса 30–80° С. Тоді ідеальний коефіцієнт перетворення становить $\varphi = 353 / (80 - 30) = 7,06$. Проте на практиці тепловий насос має більш низький φ , ніж той, що передбачається циклом Карно, і він більш точно представлений в циклі Ренкіна, який показаний на рис. 3.21.

Цикл Ренкіна теплового насоса

Оскільки в процесі розширення ніяка робота не виконується, він не впливає на кількість теплоти, яка отримується в конденсаторі, але зменшує кількість теплоти, що отримується в випарнику при постійній температурі.

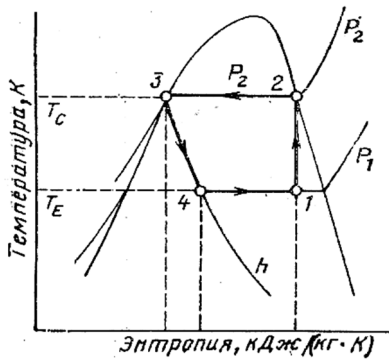


Рис. 3.21. Цикл Ренкіна для волого повітря: 1–2 – ізентропійне стискування; 2–3 – ізотермічна конденсація при постійному тиску; 3–4 – адіабатичне розширення; 4–1 – ізотермічне випарування при постійному тиску

селем.

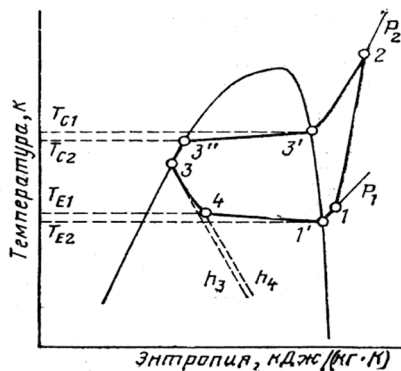


Рис. 3.22. Реальний цикл теплового насоса: 1–2 – стискування; 2–3' – зняття перегріву; 3'–3'' – конденсація; 3''–3 – охолодження; 3–4 – розширення; 4–1' – випарування; 1'–1 – перегрів

Дросель робить процес не оберненим. Після розширення робоче тіло знаходиться в стані насиченої рідини, яка в ідеальному випадку набуває теплоту у випарнику і закипає до стану насиченої пари, рис. 3.21.

Реальний цикл теплового насоса

Крім того, реальний цикл відрізняється від циклу Карно ще і тим, що стиск звичайно відбувається в зоні перегрітої пари зі зняттям перегріву в конденсаторі і має місце додаткове охолодження робочого тіла між конденсатором і дрос-

В реальному циклі тиск робочого тіла падає у відповідності з проходженням його через теплообмінник. Це показано на діаграмі, рис. 3.22.

Тепловий насос може працювати успішно, тільки якщо є відповідне джерело теплоти для випарування робочого тіла, яке циркулює в системі.

Наприклад, застосування теплових насосів кардинально покращує умови теплопостачання:

- в 2 рази може бути зменшено споживання первинної енергії (органічного палива);
- система теплопостачання стає децентралізованою,
- не потребує довгих теплових мереж;
- виробництво електроенергії і зв'язаний з ним викид продуктів згоряння палива можуть бути винесені за межі населених пунктів, рис. 3.23 і рис. 3.24.

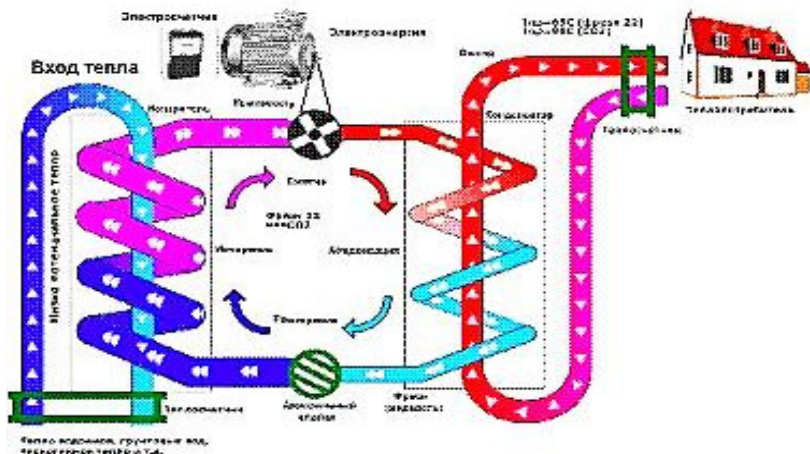


Рис. 3.23. Принципова схема теплового насоса

Схема використання теплового насоса

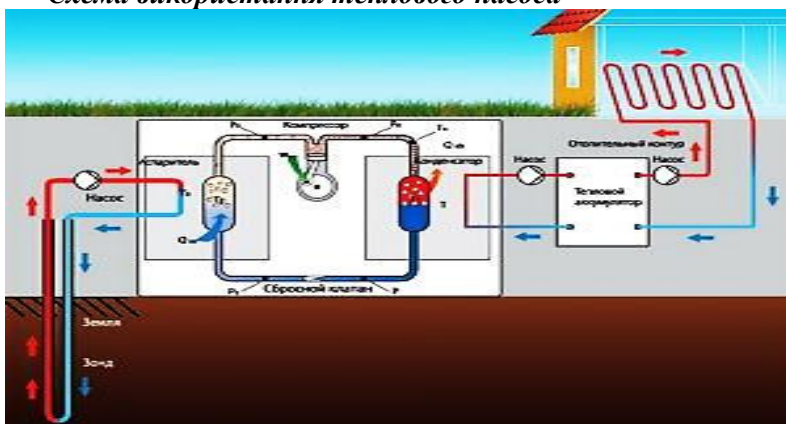


Рис. 3.24. Схема використання теплового насоса

Тепловий насос – тепла машина, призначена для підвищення температурного рівня теплоти оточуючого середовища, тобто це «холодильник навпаки». Як і в холодильних установках, в теплових насосах здійснюється перехід теплоти від тіл менш нагрітих до більш нагрітих за рахунок механічної роботи (згідно II закону термодинаміки).

Типи теплових насосів

Схематично тепловий насос можна представити у вигляді системи з трьох замкнутих контурів: в першому, зовнішньому, циркулює тепловіддавач (теплоносій, що збирає тепло навколишнього середовища), у другому – холодоагент (речовина, яка випаровується, відбираючи теплоту тепловіддавача, і конденсується, віддаючи тепло теплоприймачу), в третьому – теплоприймач (вода в системах опалення та гарячого водопостачання будівлі), рис. 3.23. По виду теплоносія у вхідному і вихідному контурах насоси ділять на шість типів: «грунт-вода», «вода-вода», «повітря-вода», «грунт-повітря», «вода-повітря», «повітря-повітря».

Переваги теплового насоса:

- Економічність: на 1 кВт теплової енергії витрачається 0,2–0,35 кВт електроенергії;
- Можливість перемикання з режиму опалення взимку на режим кондиціонування влітку;
- Висока надійність:
- Автоматичне керування роботою насоса;
- Компактні розміри;
- Під час роботи, практично безшумні.

Промислові теплові насоси

В герметичному контурі теплового насоса знаходиться холодоагент (робоче тіло), в основному, використовуються фреони, що не містять хлору і є безпечними для озонового шару нашої планети, рис. 3.25–3.27.



Рис. 3.25. Зовнішній вигляд теплового насоса для промисловості



Рис. 3.26. Промисловий тепловий насос

Робочий цикл теплового насосу заснований на перенесенні теплоти робочим тілом (холодоагентом) внаслідок зміни тиску та фазового переходу – з рідкого стану в газоподібний і навпаки, під впливом механічної дії,



Рис. 3.27. Промисловий тепловий насос

Ефективність роботи теплового насоса

Знаходячись під низьким тиском у випарнику холодоагент здатен кипіти при низькій температурі, що дозволяє відбирати тепло від низькопотенційного джерела енергії: повітря, ґрунту, води.

Далі робоче тіло (газоподібний стан) надходить в компресор, де стискається внаслідок механічної дії, що призводить до різкого підвищення температури.

Потім холодоагент подається на теплообмінник – конденсатор, де при високому тиску починає конденсуватися. Внаслідок конденсування виділяється тепло, яке передається теплоносію системи опалення.

Після конденсатора робоче тіло проходить через дросельний клапан, який знижує тиск, що призводить і до зниження температури. На цьому термодинамічний цикл замикається і холодоагент знову готовий до кипіння та відбору тепла у випарнику, рис. 3.28.

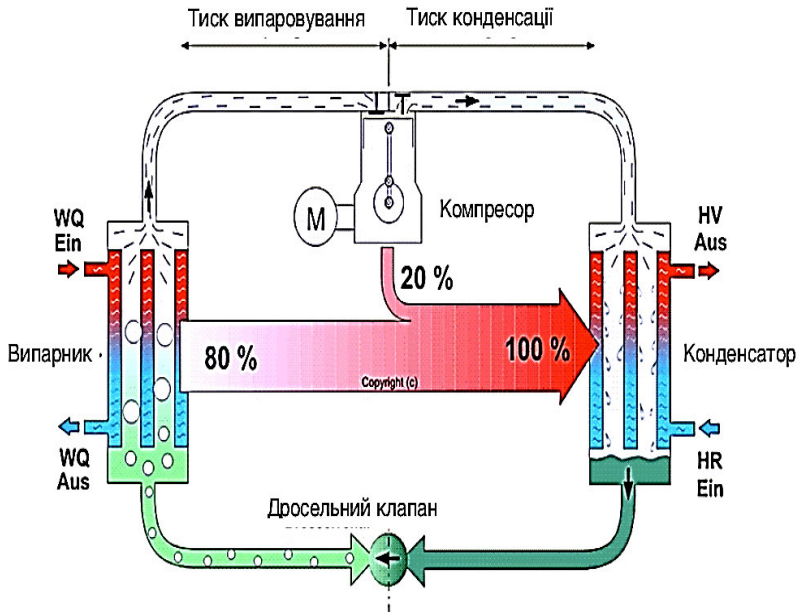


Рис. 3.28. Ефективність роботи теплового насоса:
<http://сахара.ua/ru/informaciya/statti/teplovoj-nasos-tehnologija-scho-postijno-rozvivajetsja>

Таким чином теплова потужність теплових насосів на 80% складається з відновлювальної енергії навколишнього середовища і лише 20% енергії використовується для роботи самого теплового насоса.

Теплові насоси забезпечують опалення приміщень та гаряче водопостачання. А за наявності в контурі теплового насоса реверсивного вентиля, здатні працювати в зворотному режимі – здійснювати охолодження приміщень.

3.6. Компресори теплових насосів

Серцем теплового насоса звичайно є компресор, від якого в основному і залежать технічні характеристики установки. Основні типи компресорів, що використовуються в парокompresорних теплонасосних установках, наведені нижче.

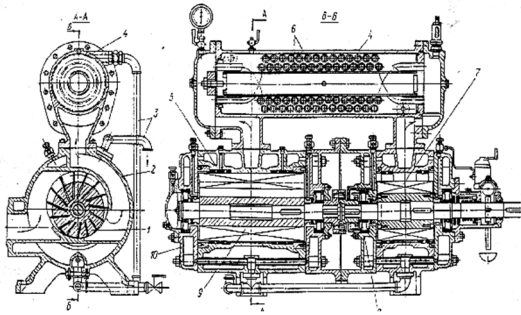


Рис. 3.29. Двороторний пластинчастий компресор

дійністю.

Завдяки такій конструкції компресор може працювати при низькій швидкості обертання, тим самим зменшуючи кількість циклів пуску та зупинок, що суттєво підвищує ефективність роботи теплових насосів.

Застосування двох роторів також дозволяє знизити вібрацію та шум.



Рис. 3.30. Спіральний компресор теплового насоса:

<http://сахара.ua/ru/informaciya/statti/teplovoj-nasos-tehnologija-scho-postijno-rozvivajetsja>

Роторні компресори, в основному застосовуються для установок невеликої потужності. В сучасних повітряних теплових насосах найчастіше використовуються двороторні компресори, які характеризуються збільшеним ресурсом та на-

Спіральні компресори

Спіральні, найпоширеніші для комплектації теплових насосів малої та середньої потужності.

Переваги таких компресорів: висока ефективність, безшумність під час роботи, довговічність, висока надійність (незначна кількість рухомих деталей).

Застосування інверторної техніки дозволяє забезпечувати високу ефекти-

вність теплових насосів із спіральними компресорами у всьому діапазоні потужності. Для будівництва теплових насосів середньої та більшої потужності використовується поєднання двох компресорів, так званий тандем. Такі установки гарантують високу ефективність при зміні теплового навантаження, оптимально пристосовуючись до умов експлуатації.

Поршневі і гвинтові компресори, рис. 3.31–рис. 3.33.

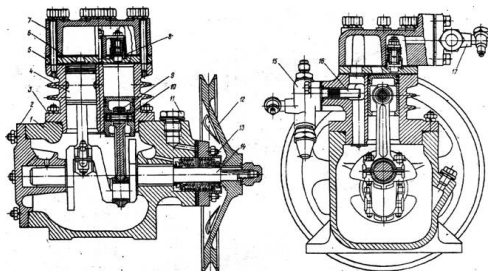


Рис. 3.31. Двопоршневий фреоновий компресор ФВ-0,7 (2ФВ-4/4,5)

<http://docs.chdkt.cv.ua/uploads/complex/lekci/16.htm>

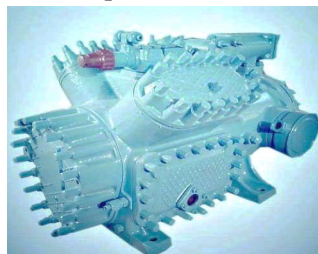


Рис. 3.32. Поршневий компресор V-подібної компоновки,

<https://www.olx.ua/obyavlenie/kompressor-4pb28-dlya-holodilnoy-ustanovki-IDuW6h8.html#28eaf257d>

Рекомендують компресори:

поршневі, для установок середньої та великої потужності;
гвинтові, для систем великої потужності до 1000 кВт.

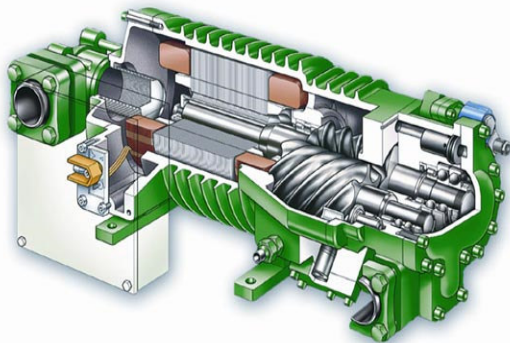


Рис. 3.33. Гвинтовий компресор з повітряним охолодженням
<http://www.holodilnye-ustanovki.ru/catalog/>

3.7. Теплонасосні установки

Типи теплонасосних установок

Умовою роботи теплового насосу є наявність джерела енергії, тепло з якого буде відбиратись для забезпечення процесу кипіння робочого тіла у випарнику. За типом джерела тепла насоси поділяються на наступні групи:

геотермальні: використання тепла ґрунту або підземних вод;

повітряні: використання тепла навколишнього повітря.

Окремо можна виділити теплові насоси, що використовують вторинне тепло іншого теплового процесу, яке потребує утилізації – наприклад, тепло технологічного процесу чи стічні води.



Рис. 3.34. Типи низькопотенційних джерел енергії для теплових насосів

Використання низькопотенційної теплоти

Ще в 1855 австрійський інженер Петер фон Ріттінгер спроектував та виготовив перший відомий прототип теплового насосу. Масове використання теплових насосів для опалення будівель почалось в 60–70-х роках ХХ століття. Одним із піонерів використання технології теплових насосів для теплопостачання був німецький інженер Клеменс Оскар Ватеркотте, який в 1968 виготовив та змонтував перший в Німеччині геотермальний тепловий насос, для опалення власного будинку.

Тепловий насос – інноваційна технологія, що постійно розвивається.

Найважливіша особливість теплонасосних установок – універсальність по відношенню до виду використовуваної енергії

(електричної, теплової). Це дозволяє оптимізувати паливний баланс енергоджерела шляхом заміщення більш дефіцитних енергоресурсів менш дефіцитними.

Ще одна перевага теплонасосних установок – широкий діапазон потужності (від одного до десятків тисяч кіловат), який переважає потужності будь-яких існуючих теплогерел, в тому числі малих і середніх ТЕЦ.

У США, Японії, Німеччини, Швеції, Швейцарії, Австрії, Фінляндії такі установки впроваджуються просто швидкісними темпами. Справжнім лідером використання теплових насосів є все-таки Швеція, що здійснює тотальну програму їх впровадження. У цій країні для роботи теплових насосів використовується вода Балтійського моря з температурою +4° С. Станція потужністю 320 МВт розташована на шести баржах, причалених до берега. До теперішнього часу в світі експлуатуються понад 15 млн теплових насосів потужністю від декількох кіловат до сотень мегават, а ринок щорічних продажів становить близько мільйона установок.

Застосування і особливо виробництво теплових насосів в Україні розвивається з великим запізненням. Піонером в області створення і впровадження теплових насосів в колишньому СРСР був ВНПхолодмаш. У 1986–1989 рр. У ВНПхолодмаш був розроблений ряд парокомпресорних теплових насосів теплопродуктивністю від 17 кВт до 11,5 МВт дванадцяти типорозмірів «вода-вода» (в тому числі морська вода в якості ІНТ для теплових насосів теплопродуктивністю 300–1000 кВт), «вода-повітря» (теплові насоси на 45 і 65 кВт). Велика частина теплових насосів цього ряду пройшла стадію виготовлення і випробування дослідних зразків на п'яти заводах холодильного машинобудування. Чотири типорозміри випускалися серійно (теплові насоси теплопродуктивністю 14; 100; 300; 8500 кВт). Загальний їх випуск з 1987 р. і майже до 1992 р може бути оцінений в 3000 одиниць. Теплова потужність діючого парку цих теплових насосів оцінюється в 40 МВт. В Україні теплові насоси тільки починають з'являтися. <http://www.bestreferat.ru/referat-184652.html>

Перспективним напрямом енергозберігаючої технологічної політики України, що дозволить забезпечити значну економію традиційного палива, є використання геотермальної енергії для опалення, водопостачання і кондиціонування повітря в житлових і громадських будинках і спорудах у містах і сільській місцевості, а також технологічне використання глибинного тепла Землі в різних галузях промисловості та сільського господарства, [10].

Приклади розв'язання задач

Задача 3.1

Запроектувати теплонасосну установку з газомоторним приводом (ТНУ-ГП) у вигляді дизельного двигуна внутрішнього згоряння (ДВС), яка використовує як

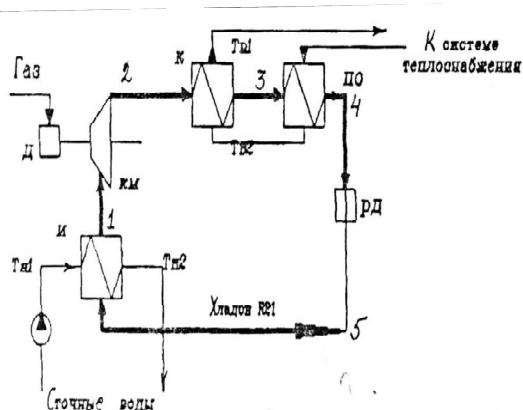


Рис. 3.35. Схема теплонасосної установки з газомоторним приводом: *КМ* – компресор; *К* – конденсатор; *Д* – двигун внутрішнього згоряння; *ПО* – охолоджувач хладагону; *РД* – редукційний клапан; *И* – випарник

горючі гази з метантенків, так і низькопотенційну теплоту очищених стічних вод. На очисних спорудах обробляється 1 м³/с стічних вод. Схема теплонасосної установки наведена на рис. 3.35, [27, с. 59–61].

Для розрахунку одноступінчастого теплового насоса з хладагентом R21 застосовуються наступні вихідні дані. Стічна вода потрапляє у випарник з температурою $t_{n1} = 10^\circ \text{C}$, а виходить із нього при $t_{n2} = 6^\circ \text{C}$; температура води з системи теплопостачання поступає в охолоджувач при $t_{no} = 35^\circ \text{C}$, а виходить з конденсатора при $t_{o1} = 70^\circ \text{C}$.

Стічна вода потрапляє у випарник з температурою $t_{n1} = 10^\circ \text{C}$, а виходить із нього при $t_{n2} = 6^\circ \text{C}$; температура води з системи теплопостачання поступає в охолоджувач при $t_{no} = 35^\circ \text{C}$, а виходить з конденсатора при $t_{o1} = 70^\circ \text{C}$.

В метантенках при мезофільному процесі зброджування на 1 м^3 стічних вод виділяється до $0,035 \text{ м}^3$ горючого газу, що на 70% складається з метану. Нижча теплота згоряння такого газу $Q_{н}^p = 27 \text{ МДж/м}^3$. Таким чином, на $1 \text{ м}^3/\text{с}$ стічних вод енергія, що втрачається становить $q_{г} = 0,035 \cdot 27000 = 942 \text{ кДж/с}$

Розв'язання

Ефективна потужність ДВС, які працюють на зазначеному газі з ефективним ККД $\eta_{ef} = 35\%$, становить

$$N_{ef} = q_{г} \cdot \eta_{ef} = 942 \cdot 0,35 = 330 \text{ кВт.}$$

В якості приводу ТНУ в цьому випадку може використовуватися, наприклад, дизель загального призначення 6ЧН 21/21 з шістьма циліндрами [97].

Зовнішній вигляд дизеля наведено на рис. 3.36.



Рис. 3.36. Зовнішній вигляд дизеля 6ЧН 21/21 (210D-2)

Технічні характеристики дизеля 6ЧН 21/21 (210D-2):

Силовий агрегат.....СА-10-1;
 Потужність.....375 кВт;
 Частота обертання вала.....1200 об/хв;

Ресурс до капітального ремонту.....60000 годин;
 Маса.....9000 кг.

<https://spbdiesel.ru/uslugi/postavka-dizelnyh-dvigatelj/6chn21-21>

Дизелі 6ЧН21/21 – чотиритактні, шестициліндрові, тронкові, з вприском палива, газотурбінним наддувом і охолодженням наддувочного повітря, в рядному виконанні, рис. 3.37.

Для розрахунку одноступінчастого теплового насоса

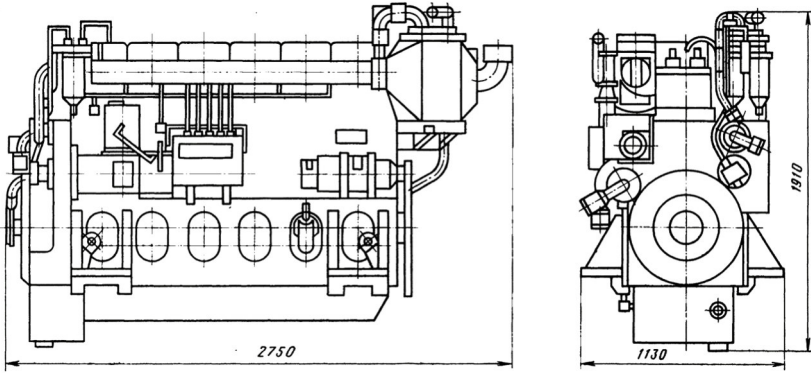


Рис. 3.37. Габаритні креслення дизеля 6ЧН 21/21

<http://www.propulsionplant.ru/dvigateli/dizelnye-dvigateli/proizvodstvennoe-obedinenie-volgodizelmash/dizeli-6chn2121.html>

[97; 98] з холодоагентом R21 застосовується наступний порядок.

Температура випаровування R21 при різниці температур

$$\Delta t_n = 2,5^\circ \text{C}$$

$$t_o = t_{n2} - \Delta t_n = 6 - 2,5 = 3,5^\circ \text{C}.$$

Температура конденсації при кінцевій різниці температур Δt_k

$$= 5^\circ \text{C}$$

$$t_k = t_{e1} + \Delta t_k = 70 + 5 = 75^\circ \text{C}.$$

За діаграмою $p-h$, рис. 3.38, знаходимо параметри робочого агента для вказаних на цьому рисунку характерних точок:

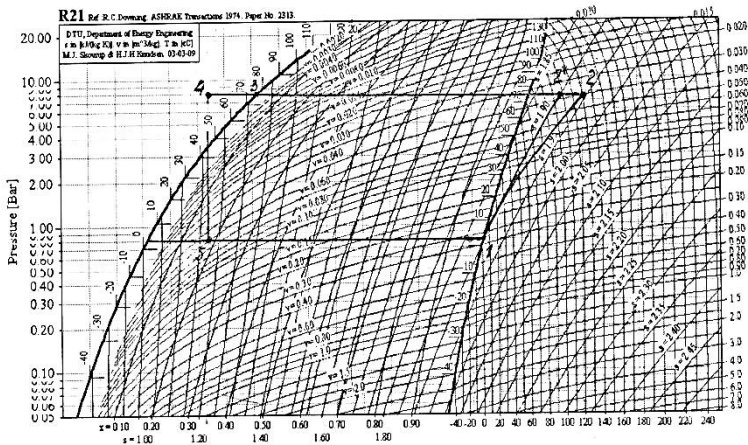


Рис. 3.38. Діаграма $p-h$ для фреону R21

1. $t_1 = t_o = 3,5^\circ \text{C}$; $p_1 = 0,08 \text{ МПа} = 0,8 \text{ бар}$; $h_1 = 448 \text{ кДж/кг}$;
2. $p_2 = 0,78 \text{ МПа} = 7,8 \text{ бар}$; $h_2' = 508 \text{ кДж/кг}$; $t_2' = 110^\circ \text{C}$;
3. $t_3 = 75^\circ \text{C}$; $p_3 = p_2 = 0,78 \text{ МПа} = 7,8 \text{ бар}$; $h_3 = 282 \text{ кДж/кг}$;
4. $t_4 = t_{no} + \Delta t_{no} = 35 + 10 = 45^\circ \text{C}$; $p_4 = p_3 = p_2 = 0,78 \text{ МПа} = 7,8 \text{ бар}$;
 $h_4 = 248 \text{ кДж/кг}$;
5. $t_5 = t_1 = 3,5^\circ \text{C}$; $p_5 = p_1 = 0,08 \text{ МПа} = 0,8 \text{ бар}$; $h_5 = 248 \text{ кДж/кг}$;

Ентальпія хладону R21 на виході з компресора при його внутрішньому ККД $\eta_i = 0,8$ становить

$$h_2 = h_1 + l_w / \eta_i = 448 + \frac{508 - 448}{0,8} = 523 \text{ кДж/кг};$$

Внутрішня робота компресора

$$l_w = h_2 - h_1 = 523 - 448 = 75 \text{ кДж/кг};$$

Питома теплота навантаження випарника

$$q_o = h_1 - h_5 = 448 - 248 = 200 \text{ кДж/кг};$$

Питома теплота навантаження конденсатора

$$q_k = h_2 - h_3 = 523 - 282 = 241 \text{ кДж/кг};$$

Питома теплота навантаження охолодника

$$Q_{no} = h_3 - h_4 = 282 - 248 = 34 \text{ кДж/кг};$$

Якщо механічне ККД компресора прийняти $\eta_m = 0,9$; то питома робота компресора

$$l_k = l_w / \eta_m = 75 / 0,9 = 83,3 \text{ кДж/кг.}$$

Масова витрата хладону R21

$$G = N_e / l_k = 330 / 83,3 = 3,96 \text{ кг/с.}$$

Кількість теплоти, яка поступає в випарник,

$$Q_o = q_o G = 200 \cdot 3,96 = 792 \text{ Вт.}$$

Витрата стічної води через випарник

$$G_{cm} = [Q_o / (t_{n2} - t_{n1})] / c_s = \frac{792 / (10 - 6)}{4,19} = 47,25 \text{ кг/с.}$$

Кількість теплоти, яка поступає в систему теплопостачання

$$Q_{mn} = (q_k + q_{no}) \cdot G = (241 + 34) \cdot 3,96 = 1089 \text{ кВт.}$$

Витрата в системі теплопостачання

$$G_{mn} = \frac{Q_{mn} (t_{s1} - t_{no})}{c_s} = \frac{1089 (70 - 35)}{4,19} = 7,42 \text{ кг/с.}$$

Коефіцієнт трансформації теплоти

$$\mu = \frac{q_k + q_{no}}{l_k} = \frac{241 + 34}{83,3} = 3,3.$$

З розрахунку виходить, що частка теплоти стічних вод в теплоті систем опалення і гарячого водопостачання для ТНУ складає

$$Q_o / Q_{mn} = 792 / 1089 = 0,727.$$

Крім того, утилізація тепла відхідних газів і води систем охолодження ДВС дозволяє отримати

$$Q_q = q_n (1 - 0,727) = 942 \cdot 0,273 = 257 \text{ кВт.}$$

Таким чином, в систему теплопостачання сумарно може поступати до $1089 + 257 = 1346$ кВт теплової потужності.

При теплоті природного газу середнього складу $Q_n^p = 35,7$ МДж/м³ його економія при спалюванні в котельній ($\eta_{ка} = 0,9$) складе

$$B = \frac{Q_{mn} + Q_q}{Q_n^p \cdot \eta_{ка}} = \frac{1089 + 257}{35700 \cdot 0,9} = 0,042 \text{ м}^3/\text{с.}$$

Річна економія при ресурсі робочого часу 8000 годин становить

$$G_{річ} = B \cdot 8000 \cdot 3600 = 0,042 \cdot 8000 \cdot 3600 = 1,209 \cdot 10^6 \text{ м}^3.$$

Наведені розрахункові дані свідчать про доцільність проведення проектних розробок в області утилізації стічних вод і використання горючого газу метантенків очисних споруд.

Контрольні питання

1. Що таке геотермальна енергія?
2. Яку будову має планета Земля?
3. З яких елементів складається земна кора?
4. Як утворюються геотермальні води?
5. Як класифікуються джерела геотермальної енергії?
6. Яка природа гейзерів?
7. Як використовують гарячі сухі породи, які розташовані на великій глибині?
8. Як характеризується геотермальне джерело?
9. Як використовується геотермальна енергія в Світі і Україні?
10. Які принципи роботи ГеоТЕС?
11. Як виконується вогневе буріння?
12. Як працює тепловий насос?
13. Які термодинамічні процеси відбуваються в циклах Карно і реальному циклі теплового насоса?
14. Як визначається коефіцієнт перетворення теплового насоса?
15. Які переваги теплового насоса?
16. Як ілюструється ефективність теплового насоса?
17. Які типи компресорів використовують в теплових насосах?
18. Які використовують типи теплових установок?
19. Які обсяги використання низькопотенційної теплоти доквілля в Світі?

4. ВІТРОВА ЕНЕРГІЯ

4.1. Енергетичний потенціал вітрової енергетики в Україні

Джерело вітроенергетики – сонце, так як воно є відповідальним за утворення вітру. Атмосфера землі вбирає сонячну радіацію нерівномірно через неоднорідності її поверхні та різний кут падіння світла в різних широтах в різну пору року. Повітря розширюється та підіймається догори, утворюючи потоки. Там де повітря нагрівається більше ці потоки підіймаються вище та зосереджуються у зонах низького тиску, а холодніше повітря підіймається нижче, створюючи зони високого тиску. Різниця атмосферного тиску змушує повітря пересуватися від зони високого тиску до зони низького тиску з пропорційною швидкістю. Цей рух повітря і є тим, що ми називаємо вітром, рис. 4.1.

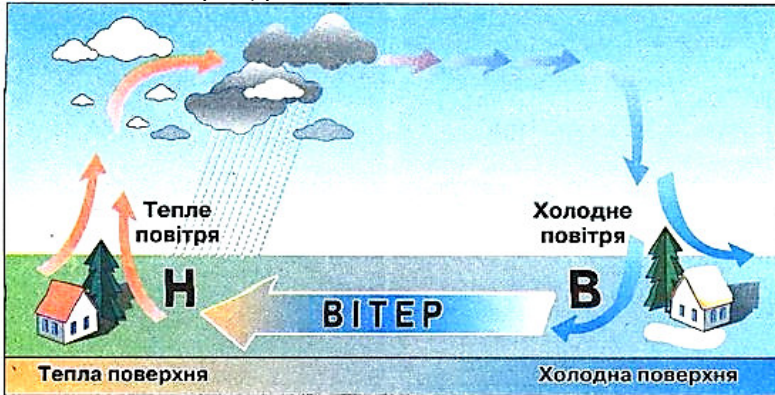


Рис. 4.1. Схема утворення вітру: Н – низький тиск; В – високий

Енергія руху атмосферних потоків, тобто енергія вітру є перетвореною формою сонячної енергії. Вітер виникає через різницю в температурі нагрівання континентів і морів, полюсів і екватора, тобто через різницю тисків між окремими тепловими зонами, а також через силу Коріоліса, пов'язану з обертальним рухом Землі. Відомо, що близько 1–2% сонячної енергії, що дохо-

дить до поверхні Землі, перетворюється на кінетичну енергію вітру, яка складає близько 2700 ТВт, ($1 \text{ ТВт} = 10^{12} \text{ Вт}$). Приблизно 25% цієї енергії припадає на стометрову товщину шару атмосферного повітря, що оточує безпосередньо поверхню Землі.



Рис. 4.2. Вітродуй

Вітри, що дмуть над поверхнею континентів (якщо врахувати різні види втрат, а також можливості розміщення вітрових інсталяцій), мають енергетичний потенціал потужністю 40 ТВт. Лише 10% цієї потужності перевищує весь потенціал кінетичної водної енергії та в 20 разів більше, ніж

потужність всіх існуючих на сьогоднішній день у світі електростанцій [11].

Ресурси енергії вітру

Ресурси енергії вітру є невичерпними, оскільки виникнення вітрів постійно підтримується сонячною енергією, рис. 4.3. Для використання енергії вітрів у відкритому морі – там, де дозволяє глибина дна, встановлюють вітрові електростанції, енергетична потужність яких оцінюється у 20 ТВт.



Рис. 4.3. Прояви сили вітру

З точки зору можливості використання вітру в енергетичних цілях для його характеристики аналізують дві величини: швидкість і повторюваність. Оскільки швидкість вітру найменша поблизу землі і зростає зі збільшенням висоти, вітрогенератори

розміщують на висоті від кількох десятків до близько 100 м. **Оптимальна середня швидкість вітру для енергетичного використання становить 4–25 м/с.** При швидкості вітру нижче мінімального порогу аеродинамічна сила вітру не створює необхідного обертового моменту турбіни, в той час як при перевищенні максимальної швидкості вітру створюється обертовий момент, що може спричинити механічне пошкодження вітрової енергетичної установки (ВЕУ) [11].

Повторюваність проявів енергії вітру

Повторюваність – це сума годин на рік, протягом яких вітер дме з визначеною швидкістю. Від цього показника залежить

доцільність побудови вітрових електростанцій. При повторюваності приблизно 2000 год/рік та більше спорудження вітроенергетичних установок (ВЕУ) вважають рентабельним.

Для обчислення енергетичних запасів вітру необхідні багаторічні метеорологічні спостереження. На першому етапі оцінюються регіональні ресурси (макропоказники) [11].



Рис. 4.4. Збір метеоданих
<https://ru.depositphotos.com/173488074/stock-photo-engineer-using-tablet-computer-collect.html>

Потенціал вітрової енергії України

Україна має досить високий кліматичний потенціал вітрової енергії, рис. 4.5.

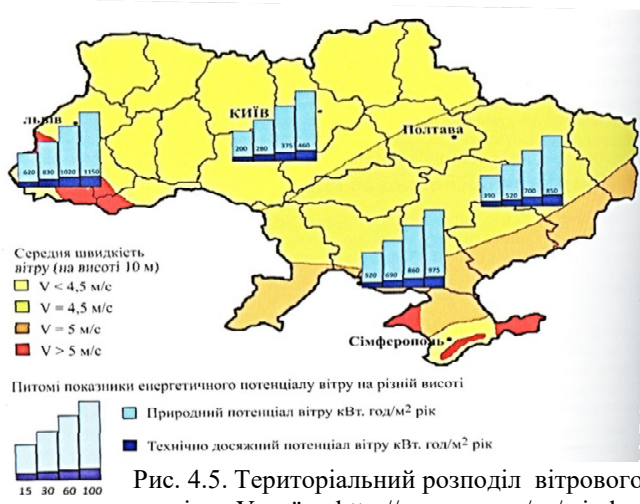


Рис. 4.5. Територіальний розподіл вітрового потенціалу України <http://sace.gov.ua/ae/windenergy>

Вважається, що досяжна потужність вітроелектричних станцій (ВЕС) в складі централізованої енергосистеми України може скласти до 16000 МВт, а досяжне виробництво електроенергії може становити 25–30 ТВт·год/рік.

Цю величину часто приймають як потенціал вітроенергетики України. Необхідна площа під спорудження ВЕС становить 2500–3000 км², що досить реально з урахуванням мілководної частини Азовського та Чорного морів. За іншими оцінками в Україні можна використати 7000 км² земель для будівництва ВЕС сумарною потужністю 35000 МВт, що дозволить забезпечити біля 2,5 відсотків від загального річного електроспоживання в Україні [11], рис. 4.6.



Рис. 4.6. Відновлювальна енергетика України

Інститутом відновлюваної енергетики НАН України проведено дослідження і створено «Атлас енергетичного потенціалу відновлюваних джерел енергії України», що має вигляд збірника картографічних, табличних і текстових

матеріалів, систематизованих за основними напрямками впровадження відновлюваних джерел енергії на рівні областей України і АР Крим [11]. Вітроенергетичний потенціал різних територій України характеризується середньорічними швидкостями вітру на рівні 7,0–8,5 м/с (на континенті – на висотах близько 100 м, а на акваторіях – близько 50 м), що дозволяє використовувати віротехніку мегаватного класу потужності і з річним коефіцієнтом використання потужності на рівні 0,3–0,4; тобто досить ефективно.

Деякі дані про потенціал вітрової енергетики в Світі наведено на рис. 4.7.



Рис. 4.7. Розвиток вітрової енергетики в Світі

4.2. Вітер як джерело енергії

За останні 50 років у світі спожито стільки енергії, скільки її використали за 10 попередніх століть. Недалеко той час, коли світові запаси мінерального палива і води будуть вичерпані. Значний крок вперед – використання атомної енергії. Проте цей вид енергії має недоліки – дорожнеча, небезпека для обслуговуючого персоналу, невирішеність питань видалення радіоактивних відходів. Тому тепер більше уваги приділяють одному з дуже поширених і невичерпних джерел енергії – енергії вітру.

В невеликих об'ємах ця енергія використовувалась з давніх давен – вітряні млини. Що розуміється під енергією вітру?

Вітер фактично є похідною формою сонячної енергії: рух повітряних потоків – це наслідок нерівномірного нагрівання Сонцем поверхні Землі.

Вітер – це переміщення повітряних мас, яке спричинене глобальними перепадами тиску на різних географічних широтах між морями та суходолами.

На перепади тиску впливає нерівномірний розподіл сонячного випромінювання по поверхні землі від екватора до полюса. Вітер має швидкість та напрям. Із області з високим тиском відбувається відтік повітря у місце з більш низьким тиском. Відтік повітря продовжується то тих пір, поки не зникне різниця тисків.

Величина різниці тисків характеризується **баричним градієнтом**, тобто горизонтальним градієнтом тиску, який дорівнює різниці тисків, що приходиться на одиницю відстані. За останню прийнято 1” меридіану (111,1 км). Чим більше баричний градієнт тим більша швидкість вітру. В останній час за відстань беруть 100 км.

Сукупність повітряних течій великого масштабу складає загальну циркуляцію атмосфери. Безпосереднім механізмом переміщення повітряних мас є **циклони і антициклони**. Ці хвильові і вихрові рухи великого масштабу є джерелом сильних вітрів, рис. 4.8 і рис. 4.9.

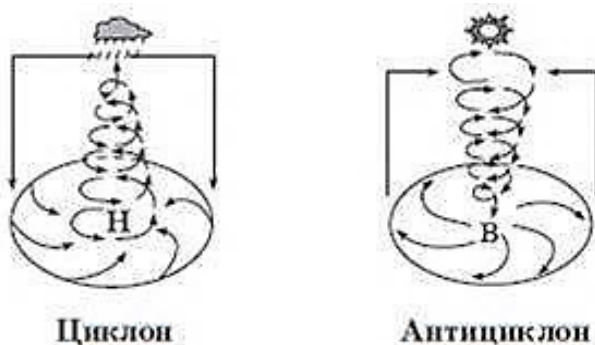


Рис. 4.8. Механізми переміщення повітряних мас

Використання енергії вітру є одним з найбільш економічних способів отримання електроенергії. Енергія вітру відрізняється своєю доступністю та дешевизною. Повсюдність, екологічна чистота, практична невичерпність – основні переваги вітрової енергії.

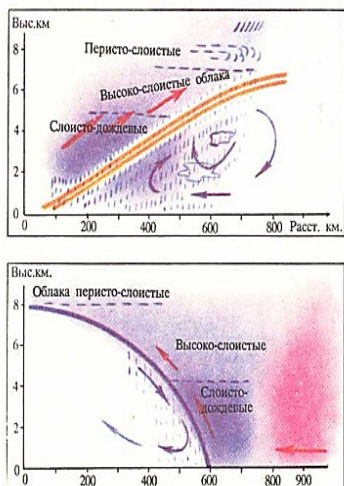


Рис. 4.9. Атмосферний фронт та атмосферні опади [3]

Вадами цієї енергії є мала концентрація на одиницю поверхні, нерегулярність у просторі та часі, низькі питомі значення потенціалу (наприклад, питома потужність вітрового потоку зі швидкістю вітру 12 м/с складає близько 300 Вт/м²), залежність швидкості вітру від метеорологічних даних, кліматичних і топографічних умов, а також поривчастість вітру, яка впливає на якість здобутої енергії.

Людина почала використовувати енергію вітру ще до того, як навчилась приборкувати річки. Спочатку силу вітру використовували мореплавці ще за 3500 років до Н.Е. Прості вітряки використовувалися у Китаї 2200 років тому. Млини персів з вертикальною віссю для перемелювання зерна склалися з в'язок очерету і кріпилися до дерев'яної рами, яка оберталася від подуву вітру.

Вітроенергетика – це перетворення вітрової енергії у корисний вид енергії за допомогою вітряних турбін, вітрових насосів чи парусів, рис. 4.10. Причиною виникнення вітрів є поглинання земною атмосферою сонячного випромінювання, що призводить до розширення повітря і появи конвекційних течій. У глобальному масштабі на ці термічні явища накладається ефект обертання Землі, спричиняє появу напрямків вітру.

Люди застосовують енергію вітру щонайменше протягом 5500 років. Спочатку її застосовували у мореплавстві та для вентиляції будинків. Перші вітряки почали застосовувати у 7 ст. н. е.



Рис. 4.10. Вітряки – народний голландський символ:
<https://sites.google.com/site/vitraki3344/istoria/vitraki-narodnij-gollandskij-simvol>



Рис. 4.11. Вітряні млини Нідерландів <https://photographers.ua/photo/vitryaki-1194038/>

для зрошування та створення борошна в Афганістані, Ірані та Пакістані [3].

У Нідерландах сьогодні збереглася приблизно тисяча вітряних млинів. З них близько 600 в робочому стані, в чому можна переконатися лише один раз за весь рік, в День мірошника рис. 4.11.

Історія розвитку використання вітряної енергії

Після XI сторіччя в Європі вітряні млини поступово вдосконалювалися голландцями та англійцями і нарешті набули горизонтальну вісь. У XVIII сторіччі тільки у Нідерландах було більше ста тисяч вітряних млинів для перемелювання зерна, для подавання води та розпилювання деревини.

В старих вітряках лопаті були дерев'яні і спроможні використовувати близько 7% енергії вітру. Ефективність установки збільшилась удвічі (до 15%) після заміни дерев'яних лопатей на лопаті з вигнутого металу.

В Україні у 1917 р. налічувалося 20–30 тисяч вітряків, які виробляли 150–200 тисяч кВт. год енергії. Але поступово до 1955 р число вітряків зменшилось до 8500, рис. 4.12. В теперішній час на Україні розпочалося інтенсивне будівництво вітроенергетичних установок потужністю 100 кВт кожна переважно в Кримській області.



Рис. 4.12. Вітряки України

<https://photographers.ua/photo/vitryaki-1194038c>

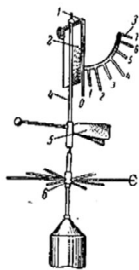
За кордоном є приклади вмілого використання енергії вітру. Так на горі Грандіас-Ноб (штат Вемонт США) споруджений вітроагрегат потужністю 1000 кВт з діаметром робочого колеса 54 м. Існує багато установок з потужністю 100–500 кВт.

Використання всього 0,2% від наявних запасів вітроенергії дозволяє покрити сучасне енергонавантаження всього сільського господарства.

4.3. Елементи теорії використання енергії вітру

Класифікація вітрів

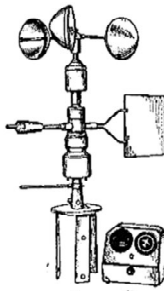
Вітрові умови районів характеризуються гідроенергетичним кадастром, який містить в собі характеристики, що приводяться також у довідковій літературі: середньорічні та середньомісячні



Анемометр с дошкою: 1 – вісь; 2 – дошка металева; 3 – сектор з 8 штифтами; 4 – шток; 5 – показчик напрямку вітру; 6 – державка



Ручний індукційний анемометр



Анемометр електричний (АК-РМЕ-1): а – блок датчика швидкості; б – приймальна частина з вимірвальним пристроєм



Ручний анемометр з напівсферами для вимірювання середніх швидкостей вітру: 1 – рухоме колечко для пуску приладу

швидкості вітру, повторність значень та напрямків швидкості вітру на протязі року, місяця, доби; дані про поривчастість, затишшя та максимальне значення швидкості вітру; зміну швидкості вітру з висотою тощо, рис. 4.13.

Рис. 4.13. Анемометри

Класифікація вітрів

У вітроенергетиці використовується вітер приземного шару, який характеризується напрямком, швидкістю переміщення та структурою.

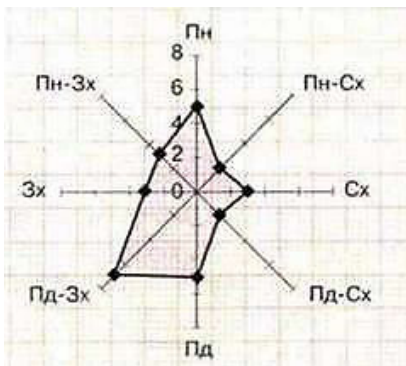


Рис. 4.14. Роза вітрів: <https://pred-metu.in.ua/viter-postijni-ta-zminni-vitri>

У метеорології напрямок вітру визначається флюгером, а швидкість вітру анемометром з анемографом. Роза вітрів вказує напрямки характерних вітрів, рис. 4.14.

Роза вітрів – це своєрідна схема-діаграма. Вона наочно показує повторюваність вітрів різних напрямків за певний час (місяць, рік), рис. 4.15 і табл. 4.1.

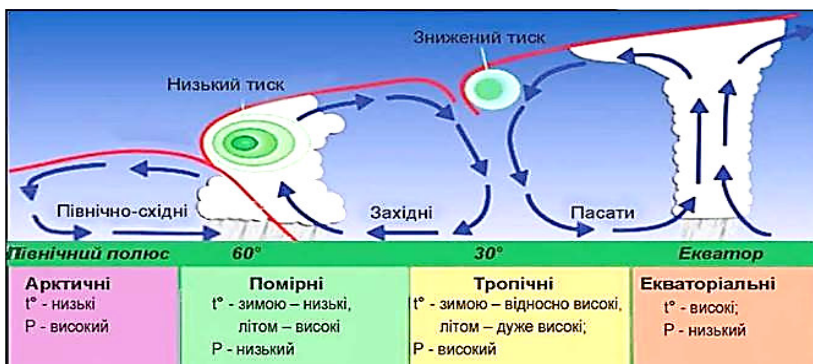


Рис. 4.15. Типи вітрів

За способом утворення вітрового потоку вітер поділяється на три категорії: а) вітер у вигляді потужних вихорів, б) місцеві вітри: неперіодичні холодні (бора, містраль, кривець); неперіодичні теплі (сироко, фен, самун); періодичні (мусони, бризи), в) вітри загальної циркуляції атмосфери, які включають регулярні вітри теплої зони і домінуючі вітри помірної та полярної зони, рис. 4.16.

Силу вітру та межі зміни швидкості можна визначити за шкалою, яка розроблена у 1809 р. адміралом британського флоту Френсісом Бофортом, табл. 4.1.

Таблиця 4.1

Класифікація вітрів за шкалою Бофорта

Бали шкали	Швидкість вітру, м/с	Потенційна питома потужність, Вт/м ²	Характеристика вітру	Характерні особливості вітру
1	2	3	4	5
0	0–0,4	0–0,04	штиль	Дим піднімається вертикально угору
1	0,4–1,8	0,04–3,8	тихий	На воді з'являються брижі, флюгер не рухається
2	1,8–3,6	3,8–30,3	легкий	Шелест листя, на воді виразне хвилювання
3	3,6–5,8	30,3–126,8	слабкий	Коливається листя на деревах, розвиваються легкі прапори
4	5,8–8,5	126,8–400	помірний	Коливаються тонкі гілки, піднімається пил
5	8,5–11	400–665	свіжий	Розгойдуються листяні дерева, усі хвилі баранцем
6	11–14	665–1783	сильний	Розгойдуються товсті гілки, гудять телефонні мережі
7	14–17	1783–3193	міцний	Усі дерева розгойдуються, з гребнів хвиль зривається піна
8	17–21	3193–6020	дуже міцний	Ламаються гілки дерев, важко іти проти вітру
9	21–25	6020–10158	шторм	Зриваються димарі, невеликі руйнування
10	25–29	10156–15853	сильний шторм	Дерева вириваються з коренем, значні руйнування
11	29–34	15853–25550	жорсткий шторм	Широкомасштабні руйнування
12	>34	>25550	ураган	Спустошувальні руйнування

Особливості енергії вітру

Енергія вітру має цілий ряд особливостей, які відрізняють її від інших джерел енергії (палива, води і ін.). До цих властивостей можливо віднести: *змінність за часом, розкиданість в просторі, повсюдна розповсюдженість, безперервна відновлюваність, залежність швидкості вітру від рельєфу місцевості і характеру поверхні землі:*



Рис. 4.16. Напрямок типових вітрів України

<https://geografiamozil2.jimdo.com/>

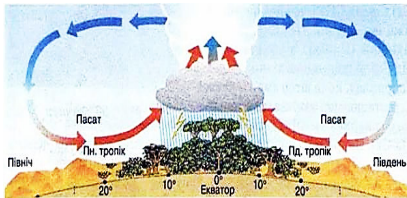


Рис. 4.17. Утворення пасатів

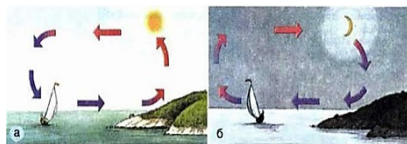


Рис. 4.18. Утворення денного (а) і нічного (б) бризу
<https://predmety.in.ua/viter-postijni-ta-zminni-vitri/>

В долинах швидкість вітру навіть при загальному напрямі вздовж долини, все ж зменшується.

В гірських плато спостерігається значне підсилення вітру на підвищеннях з правильними, добре обтічними повітрям схилами без різкої зміни рельєфу.

Пункти, хоча й найбільш підвищені, але з крутими кам'янистими схилами, відрізняються малими швидкостями.

На рівнині великого протягу (до 200 км) при одноманітному, але не різко виявленому рельєфі мають місце великі швидкості в тих точках, які розташовані вище загального рівня долини.

Найбільші швидкості при таманні окремим підвищенням з правильними схилами, рис. 4.17 і рис. 4.18.

Підвищення втрачають свої властивості збільшення швидкостей при вітрі, який напрямлений у бік перерізаного

рельєфу.

Різниця між швидкостями вітру на підвищених пунктах серед рівнин, або на низьких точках серед самої рівнини особливо різка в період нічних спостережень, вдень же вона значно зменшується. Якщо вітер проноситься над великою котловиною, то лінії току розходяться і швидкість вітру зменшується, табл. 4.2.

Таблиця 4.2

Таблиця повторюваності вітрів

Напрям ві- тру	Пд	Пн	Сх	Зх	Пн- Сх	Пн- Зх	Пд- Сз	Пд- Зх
Повторю- ваність, %	40	20	4	10	12	8	30	6



Рис. 4.19. Вплив щільної лісової смуги на швидкість вітру



Рис. 4.19. Зростання швидкості вітру після лісової смуги

вання його швидкості.

Швидкістю вітру називають відстань яку повітряний потік проходить за одиницю часу, рис. 4.20 і рис. 4.21.

Ліс значно зменшує швидкість вітру. Спостереження за швидкістю вітру на різних відстанях від лісу дали такі результати:

Відстань від лісу в метрах 50 100 150 200 300.
Швидкість вітру, м/с 1,5 2,2 3,3 4,0 4,0.

В цих прикладах видно, що коли вітер дує з боку лісу у відкрите поле, то швидкість його значно зростає, рис. 4,19.

На узбережжі швидкість повітря суттєво збільшується за рахунок зменшення тертя.

Досить важливою особливістю вітру, як джерела енергії, є безперервні коли-

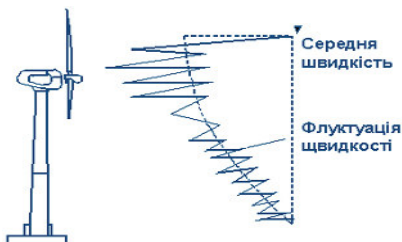


Рис. 4.20. Епюра швидкостей вітру

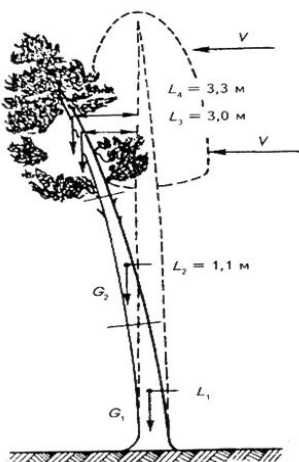


Рис. 4.21. Вплив зелених насаджень на режим вітру
<https://studopedia.info/1-62625.html>

Вона позначається буквою v і вимірюється в м/с. Швидкості вітру, які виміряні за дуже короткий період (0,5–2) секунди, називають миттєвими або дійсними. Швидкості вітру, які отримують як середні арифметичні значення миттєвих швидкостей, називають середніми швидкостями за даний відтинок часу. Якщо скласти швидкості вітру, які заміряні на протязі доби через рівні проміжки часу і поділити суму на кількість замірів, то одержимо середньодобову швидкість вітру. Склавши середньодобові швидкості вітру за місяць і поділивши їх на кількість днів у місяці, отримаємо середньомісячну швидкість вітру. Поділивши суму середньомісячних швидкостей вітру за рік на 12, одержимо середньорічну швидкість вітру.



Неоднорідність розподілу швидкості вітру у приземному шарі атмосфери перешкоджає точності визначення загальної картини режиму вітру в заданому районі місцевості. В зв'язку з цим виникла необхідність введення поняття *репрезентативності*,

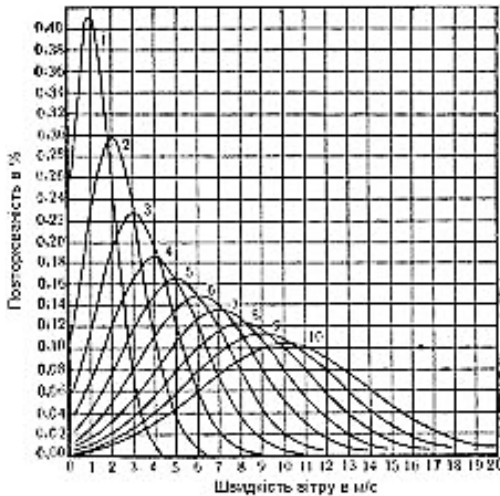


Рис. 4.22. Криві повторюваності вітрів

вітрогенератори розміщують на висоті від кількох десятків до близько 100 м.

4.4. Енергія вітру і робота повітряного потоку

Повітряний потік, як і будь-яке рухоме тіло, має енергію руху, або кінетичну енергію. Одним із видів використання кінетичної енергії є перетворення її в механічну роботу. Згідно з законами механіки кінетичну енергію рухомої маси повітря можливо виразити таким рівнянням

$$E = mv^2/2, \tag{4.1}$$

де m – маса повітря, кг; v – швидкість руху повітря, м/с. Маса повітря, яке проходить крізь контур площею F (м²) за одну секунду визначається рівнянням

$$m = \rho_n Fv, \tag{4.2}$$

де ρ_n – густина повітря, кг/м³; F – площа поверхні, яка окреслюється колесом вітродвигуна, м²; рис. 4.23.

рис. 4.22. Результати вимірювання швидкості вітру можливо вважати репрезентативними, якщо вони залишаються вірними в межах заданої точності для будь-якої точки вказаної області в визначений момент часу або для будь-якого заданого відтинку часу в визначеній точці простору.

Оскільки швидкість вітру найменша поблизу землі і зростає зі збільшенням висоти,

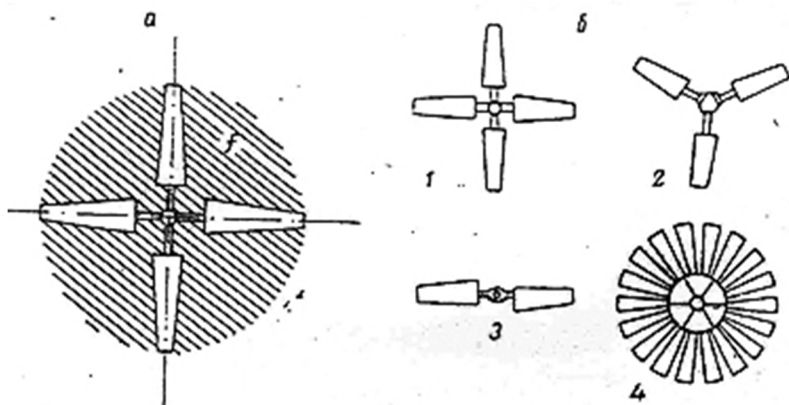


Рис. 4.23. Типи крильчастих вітродвигунів: *a* – площа F , яка окреслюється колесом вітродвигуна; *b* – крильчастий вітродвигун; 1, 2, 3 – швидкохідні малолопатеві; 4 – тихохідний багато лопатевий

Підставивши (4.2) у (4.1), одержимо енергію, яка утримується у повітряному потоці, що проходить в одну секунду крізь контур площею F

$$N = E_c = \rho_n F v^3 / 2. \quad (4.3)$$

З цього виразу видно, що енергія вітру пропорційна кубу швидкості. В механічну роботу вітродвигун може перетворювати тільки частину цієї енергії, яка визначається коефіцієнтом використання енергії вітру ξ . Тоді секундна робота, яка розвивається вітроколесом площею F , буде

$$N = E_c = \rho_n F v^3 \xi / 2. \quad (4.4)$$

Коефіцієнт використання енергії вітру в залежності від типу вітроколеса і режиму його роботи дорівнює $\xi = 0,25-0,35$. Фактично вираз (4.4) дає потужність вітроколеса у ватах. Густина повітря приймається $\rho_n = 1,23 \text{ кг/м}^3$ при температурі повітря $t = 15^\circ \text{ C}$ і атмосферному тиску 760 мм рт. ст.

Як відомо площа круга

$$F = \pi D^2 / 4, \quad (4.5)$$

де D – діаметр вітроколеса, м. З урахуванням прийнятих значень величин формула (4.4) для визначення потужності вітроколеса в кВт набуває такого вигляду

$$N = D^2 v^3 \xi / 2080. \quad (4.6)$$

Експлуатаційні параметри вітронасосних установок характеризуються коефіцієнтом використання потужності вітрогенератора. Цей коефіцієнт визначається відношенням фактичного виробітку вітрогенератора за даний період T до того виробітку, яку він міг би дати, якщо працював би весь цей період з встановленою потужністю (тобто з потужністю вітрогенератора при швидкості вітру 8 м/с).

$$K = A_{\text{фак}} / (N_y T) = N_{\text{сер}} / N_y, \quad (4.7)$$

де $A_{\text{фак}}$ – фактичний виробіток, кВт·год; N_y встановлена потужність вітрогенератора, кВт; $N_{\text{сер}}$ середня потужність вітрогенератора за період часу T , кВт; T – період часу, за який підраховується фактичний виробіток, год.

Цей коефіцієнт змінюється в залежності від середньодобових, середньомісячних і середньорічних швидкостей вітру. Для закордонних вітроустановок він становить 0,25–0,3, а для умов України поки що 0,09–0,12.



Рис. 4.24. Типи вітрогенераторів:

http://www.lp.edu.ua/sites/default/files/dissertation/2017/5493/dis_shchur_v_i_1.pdf

4.5. Типи вітрогенераторів

Вітрові електростанції (ВЕС) – комплекси сучасного обладнання, що складаються з вітрогенератора потужністю від 100 Ват до 10 МВт, контролера заряду, комплексу акумуляторних батарей та інвертора напруги. ВЕС призначені для перетворення чистої природної енергії вітру в електрику, що широко використовується в повсякденному житті. Вітрогенератори бувають з горизонтальною або вертикальною віссю, рис. 4.24. Сучасний вітровий електрогенератор з горизонтальною віссю більш розповсюджений, має більший КПД (майже в 3 рази), легкий в регулюванні і здійсненні штормового захисту та має

більш низьку вартість, рис. 4.25 і рис. 4.26.



Рис. 4.25. Загальний вигляд дослідних зразків ВЗУНТ 2х0,5 кВт ліворуч – з діаметром вітрових коліс 2,2 м; праворуч – с діаметрами ВК 1,5 м



Рис. 4.26. Робоче вітрове колесо парусного типу

Одночасно вітрогенератор малої потужності до 1 кВт з вертикальною віссю має перевагу в роботі від слабких вітрів усіх напрямків, легкий в конструюванні і майже не створює шум. Такий вітрогенератор незважаючи на набагато більшу вартість знайшов деяке застосування, рис. 4.27. Але в основному використовуються вітрогенератори з горизонтальною віссю, що виробляють 95% вітрової електроенергії.



Рис. 4.27. Вітрогенератори з вертикальною віссю

Вітрові електрогенератори найбільш вигідно використовувати в місцях, де неможливо провести загальну електромережу, або підключення є дуже витратним, а також – у місцях з частими відключеннями електрики. Також потрібно врахувати середньорічну швидкість вітру та встановлювати там де цей показник перевищує 3 м/с. <http://www.ecosvit.net/ua/vitrogeneratori>

Вертикальні вітрогенератори перетворюють кінетичну енергію вітру в механічну енергію обертання приводного валу. Вертикальна вісь вітрової турбіни з'єднана з ротором, що працює також у вертикальному положенні. Ротор і генератор розташовані в нижній частині башти.

Лопаті вітряка приєднані прямо до центральної осі, з'єднаної з ротором генератора. Генератор розташовується в нижній частині установки, іноді навіть на рівні землі.

Таким чином, при обертанні лопатей гвинта ротор генератора також починає рухатися і, отже, з'являється можливість вироблення електроенергії.

Дані вітряки не потребують додаткового обладнання, яке визначає напрямок вітру і коригує положення вітряка у відповідність з ним. Крім того, ці турбіни більш стійкі до турбулентності, ніж стандартні горизонтальні.

Ортогональні вертикально-осьові ветрогенератори



Рис. 4.28. Ортогональні вертикально-осьові ветрогенератори
<https://alternative-energy.com.ua>

У таких вітрогенераторів вертикальна вісь обертання. Лопаті віддалені від осі на певну відстань і розташовані паралельно їй, рис. 4.28.

Переваги: напрямок вітру не має значення, тому що направляючі механізми не потрібні.

Завдяки вертикально розташованому головному валу такий вітрогенератор простий в експлуатації, оскільки установка приводного обладнання

може бути проведена на рівні землі.

Недоліки: низький термін служби опорних вузлів. Це пояснюється тим, що з'являються додаткові навантаження, оскільки при обертанні ротора напрямок підйомної сили від кожної лопаті змінюється на 360°.

У ортогональних вітрогенераторів масивніша лопатева система, ніж у горизонтально-осьових.



Рис. 4.29. Вітрогенератор з Савоніуса

Вітрогенератор з ротором Савоніуса

Характерна особливість – використання напівциліндрів в якості лопатей.

Переваги: висока технологічність виробництва і пусковий крутячий момент, а також робота, що проходить на малих швидкостях.

Недоліком є велика витрата матеріалів при виробництві. Ефективність роботи лопатевої системи нижче ніж у горизонтальних вітряних генераторів. <https://alternative-energy.com.ua>

Вітрогенератор з ротором Дар'є

Вертикальна вісь обертання з двома-трьома лопатями, що являють собою плоску смугу рис. 4.30.

Переваги:

Напрямок вітру не має значення; Простота виготовлення лопатей;

Завдяки вертикально розташованому головному валу такий

вітрогенератор простий в експлуатації, оскільки можна розташувати установку приводного обладнання на рівні землі.

Недоліки:

Робота лопатевої системи менш ефективна;

Низький термін служби опорних вузлів. Це пояснюється тим, що з'являються додаткові навантаження, оскільки при обертанні ротора напрямок підйомної сили від кожної лопаті змінюється на 360 градусів;

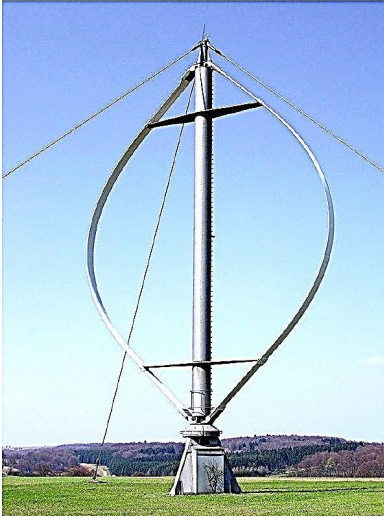


Рис. 4.30. Вітрогенератор з ротором Дар'є

бництва, що підвищує ціну.

Неможливий самостійний запуск вітрогенератора з двома лопатями при рівномірному потоці. <https://alternative-energy.com.ua>

Вітрогенератор з гелікоїдним ротором

Вітрогенератори з гелікоїдним ротором є модифікацією ортогонального ротора, тільки термін служби значно більший, оскільки через закрутки лопатей ротор обертається більш рівномірно, що знижує навантаження на опорні вузли, рис. 4.31.

Недолік: закручені лопаті ускладнюють технологію вироб-



Рис. 4.31. Вітрогенератор з гелікоїдним ротором

<https://alternative-energy.com.ua>



Рис. 4.32. Вітрогенератор Ленця

Вітрогенератор Ленця

Вітрогенератори Ленця тихохідні і безшумні. Завдяки магнітному підшипнику вітрогенератор має легкий старт обертання і високу зносостійкість.

Вертикальний вітрогенератор Ленця можна використовувати як єдине джерело електроенергії, так і паралельно з електромережею. Його установка може проводитися на будь-якій поверхні, в тому числі на дахах будинків і на балконах квартир. Лопаті такого вітрогенератора кру-

тяться паралельно землі і напрямок вітру не має значення для їх руху.

Принцип дії

Принципом дії вертикального генератора є принцип магнітної левітації, закон електромагнітної індукції Лоренца – Ленца. Простіше кажучи, замість звичайних підшипників, які часто виходять з ладу через постійне механічне навантаження, використовуються магнітні. Ротор вітряного генератора утримуються за допомогою магнітного поля, тобто фактично висить в повітрі в певній точці простору, опираючись на підшипники.

При обертанні утворюються 3 види сили: підйомна, імпульсна і проста сила гальмування. Завдяки двом першим лопаті пристроя крутяться, що сприяє створенню ротором магнітного поля, яке і виробляє електрику.

Застосування принципу магнітної левітації при створенні і дало таку назву вітрогенератора. Також завдяки застосуванню магнітного підшипника (правило Ленца), такий вітрогенератор є одним з найефективніших генераторів, який вирізняється легкістю старту обертання і високою зносостійкістю.

<https://alternative-energy.com.ua>

Вітрогенератор багатолопатевий з напрямним апаратом

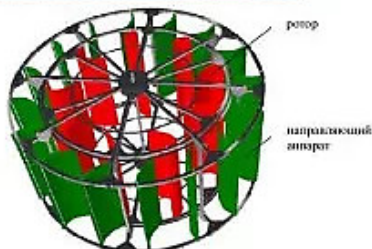


Рис. 4.33. Вітрогенератор багатолопатевий з напрямним апаратом

Багатолопатеві вітрогенератори з напрямним апаратом – це модифікація ортогонального ротора, рис. 4.33. Virізняється наявністю двох рядів лопатей. Перший, нерухомий ряд – це апарат, який захоплює вітровий потік, стискає його зі збільшенням швидкості і подає на другий ряд – обертаний ротор.

Переваги:

Найвища ефективність роботи;

Робота при низькій швидкості вітру.

Недолік: Використовується велика кількість

лопатей, що спричиняє високу ціну.

<https://alternative-energy.com.ua>

Вітрогенератор Оніпка

Президент ВГО «Українська Академія Наук», заслужений винахідник, лауреат Державної премії України в галузі науки і техніки, доктор технічних наук Олексій Оніпка створив незвичайний вітрогенератор з високою ефективністю, рис. 4.34.

Ідею свого вітряного ротора автор розробляв близько 15 років. Перший патент на експериментальний виріб отримав 2008 року. Відтоді триває процес вдосконалення конструкції, розробка різних форм і розмірів генераторів.

Більшість існуючих вітрогенераторів зроблені таким чином, що починають розкручуватися при початковому вітрі 2,5–3 м/с. Вироблення потужності, зазначеної в паспорті генератора, можлива при швидкості вітру більше 8 м/с. На території України не

так багато місць, де є такі вітрові умови. Тому винахідники постійно прагнуть удосконалити конструкцію вітрогенераторів, які були б здатні працювати в українських умовах.

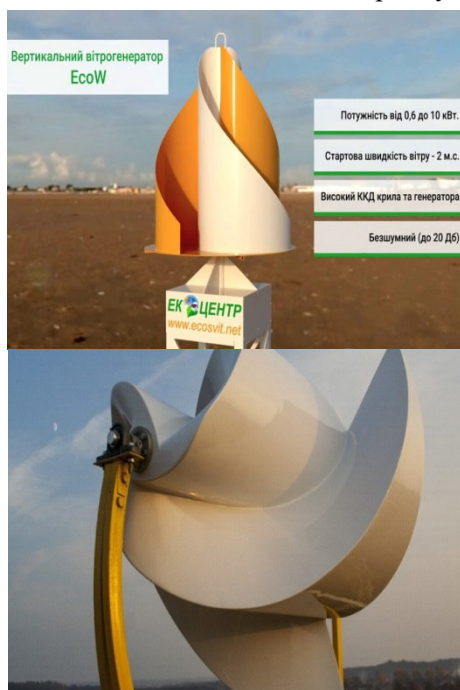


Рис. 4.34. Вітрогенератори Оніпка
<https://day.kyiv.ua/uk/news/140316-ukrayinskyy-inzhener-stvoryv-unikalnyy-vitrogenerator-z-vysokoju-efektyvnistyu>

Одним з таких винахідників є Олексій Оніпка, який зробив діючу модель нового типу вітрогенератора, здатного розпочати роботу при швидкості вітру менше 1 м/с. Така конструкція дозволяє мати типорозміри для генерації в межах від 500 до 10000 Вт. При цьому рівень шуму низький, конструкція не вимагає високої шогли.

Робоча поверхня турбіни нового типу ефективніше площі класичної турбіни, відповідного діаметру. Крім підйомної сили крила, тут ще використовується енергія тиску вітру. Сама турбіна може бути виготовлений з металу, скловолокна або пластику.

може бути виготовлений з металу, скловолокна або пластику.

4.6. Методи і засоби перетворення вітрової енергії

Вітряні енергетичні установки

Принцип дії вітроенергетичних установок (ВЕУ) полягає в тому, що потік повітря, як потік води, діє на лопаті вітрового колеса, змушує його обертатися і передавати отриману енергію ро-

тору генератора електричного струму. Потужність ВЕУ збільшується пропорційно збільшенню поперечного перерізу потоку F , що може привести до значного збільшення вартості вітроколеса, гіршому використанню малих швидкостей вітру тощо. Тому площу, яку використовують, можна збільшити за рахунок збільшення кількості ВЕУ із заданим діаметром колеса. Групу спільно працюючих ВЕУ називають **вітроелектричною станцією (ВЕС)**, рис. 4.35.



Рис. 4.35. Швеція побудує найбільшу ВЕС у Європі;
<https://www.facebook.com/enextukraine>

Шведська компанія Svevind, яка виробляє «зелені» енергогенератори, отримала дозвіл на будівництво комплексу ВЕС у регіоні Норботтен на півночі країни. За повідомленням шведського новинного радіо Ekot, проектом заплановано зведення 1100 вітроелектричних установок на площі, що перевищує площу Стокгольма. Реалізація проекту обійдеться у 6–8 млрд доларів.

Класифікація ВЕУ

ВЕУ класифікують за такими ознаками:

- За функціональним призначенням:
- – **мережеві** – для виробництва електроенергії – працюють в комплексі з промисловою електромережею;
- – **автономні** – потребують спеціального технічного і технологічного забезпечення;
- – **для виконання механічної роботи**, в тому числі і для водопідйому.
- За потужністю – малої потужності – до 100 кВт, середньої – від 100 до 500 кВт, мегаватного класу – більше 0,5 МВт.
- **За напрямком осі вітроприймального устаткування** – з горизонтальною віссю обертання – а) паралельно напрямку віт-

ряного потоку (типу вітряк), б) перпендикулярно напрямку вітряного потоку (типу водяного колеса); з вертикальною віссю обертання перпендикулярно напрямку вітряного потоку: а) з двоюрисними вертикальними лопатями на загальному валу, б) з двома лопатями у вертикальній площині, які розташовані на візках і нахилені в зовнішній бік від осі, а також об'єднані горизонтальним крилом у єдину конструкцію з центральною опорою. в) з багатьма лопатями розміщеними на візках, які зв'язані поміж собою і рухаються по колу з діаметром набагато більшим за висоту (до 20 висот). Це своєрідний замкнений у кільце поїзд, який рухається по кільцевій колії.

- **За числом лопатей вітроколес:** дволопатеві, трилопатеві, багатолопатеві.
- **За типом вітроколеса:** крильчасті, ротори.
- **За швидкохідністю:** тихохідні, швидкохідні
- **За умовами роботи:** ізольовані, у енергетичному комплексі з НС, ГЕС, ГАЕС, СЕС та дизельними установками.

Найбільше розповсюдження дістали вітроколеса з горизонтальною віссю обертання, яка розташована паралельно вітрового потоку, і з вертикальною віссю обертання, рис. 4.36 і рис. 4.37, табл. 4.3.



Рис. 4.36. Вітроенергетична установка на узбережжі



Рис. 4.37. Тарханкутська ВЕС, Україна, 2008 р.

Тарханкутська ВЕС розташована на мисі Тарханкут у Криму і введена в експлуатацію в 2001 році. На кінець будівництва її проектна потужність склала 70 МВт, а кількість вітроустановок буде доведена до 700. У 2008 році станція включала 127 вітроустановок типу USW56-100 загальною установленою потужністю

13,5 МВт і чотири – типу Т600-48 потужністю 1,8 МВт
<http://energetika.in.ua/ua/books/book-5/part-1/section-2/2-2/2-2-2>

Таблиця 4.3

Структура виробництва електроенергії в Україні

Тип електростанції	Виробництво електроенергії, %					
	1990	1995	2000	2005	2010	2015
ТЕС	70,3	58,2	48,0	47,5	47,1	41,2
АЕС	26,0	36,5	45,0	45,5	46,0	53,7
ГЕС	3,7	6,3	7,0	7,0	6,9	4,2
ВЕС СЕС	-	-	-	не-значне	не-значне	0,9

4.7. Конструкції вітроенергетичних установок

Крильчасті вітродвигуни складаються з наступних основних частин: вітроколеса, головки, хвоста, башти, вертикального вала, редуктора, механізму регулювання, рис. 4.38.

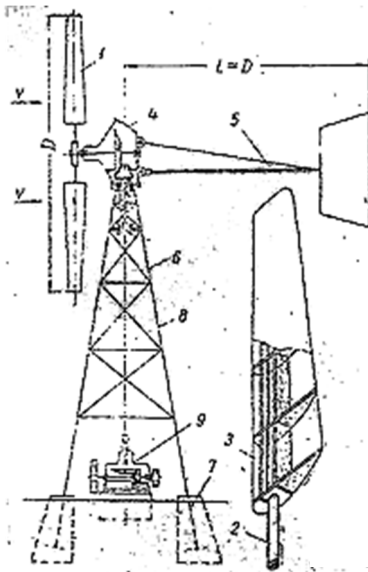


Рис. 4.38. Конструкція крильчастого вітродвигуна

Вітроколесо 1 перетворює енергію повітряного потоку в механічну роботу і складається із ряду крил. Кожне крило складається з маху 2 і лопаті 3 і закріплюється на валу вітроколеса перпендикулярно до осі вала.

Головка 4 слугує опорою для вала вітроколеса і верхнього передатного механізму. Головка вільно обертається навколо вертикальної осі.

Хвіст 5 закріплюється

позаду головки, автоматично повертає головку і встановлює вітроколесо проти вітру. У швидкохідних вітродвигунів з вітроколесами діаметром більш ніж 15 м для встановлення вітроколеса проти вітру передбачаються два додаткові вітроколеса невеликого розміру (віндрози), які закріплюються позаду головки вітродвигуна з площиною обертання, що перпендикулярна площині обертання вітроколеса, рис. 4.39.

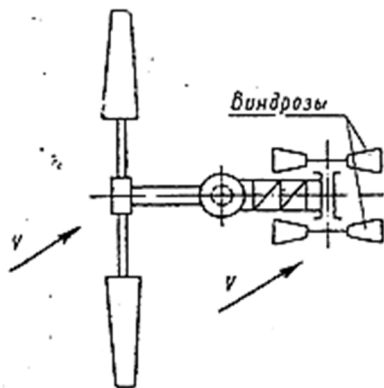


Рис. 4.39. Установка вітроколеса на вітер віндрозами

Віндрози приходять в обертання, коли вітер починає дути під деяким кутом до основного вітроколеса: при цьому головка повертається до установлення площини вітроколеса проти вітру, тоді віндрози стають паралельно напрямку вітру і зупиняються.

Башта 6 забезпечує висотне розташування вітроколеса, при якому на вітер не впливають різного роду перешкоди (будівлі, дерева і ін.). Звичайно висота башти приймається в

межах від 10–20 м і до 100 м. Вона може бути виконана в вигляді просторової металевої ферми з ногами, які закріплюються у фундамент 7. Для малих вітродвигунів в якості опори використовують трубчасті щогли, які закріплюються розтяжками. Для великих вітродвигунів виготовляють високі залізобетонні башти. Швидкість вітру збільшується з висотою, тому зростання висоти башти збільшує потужність вітродвигуна.

Вертикальний вал 8 передає обертання від верхньої передачі редуктору.

Редуктор 9 передає рух робочим машинам.

Механізм регулювання призначений для автоматичного обмеження і регулювання числа обертів вітроколеса. Регулювання вітродвигунів обумовлюється різкими коливаннями їх потужно-

сті при зміні швидкості вітру (пропорційно третій степені швидкості вітру).

Регулювання здійснюють виводом вітроколеса з під вітру, повертанням лопати або частини її навколо осі маху, повітряним гальмом.

Для прикладу на рис. 4.40 подані схеми регулювання шляхом виводу вітроколеса з-під вітру: а) На головці вітродвигуна позаду вітроколеса встановлена лопата 1, яка виступає за межі площі що окреслює вітроколесо, а з другого боку голови – пружина 3, яка своїми кінцями закріплена до важеля 4 і до хвоста 5.

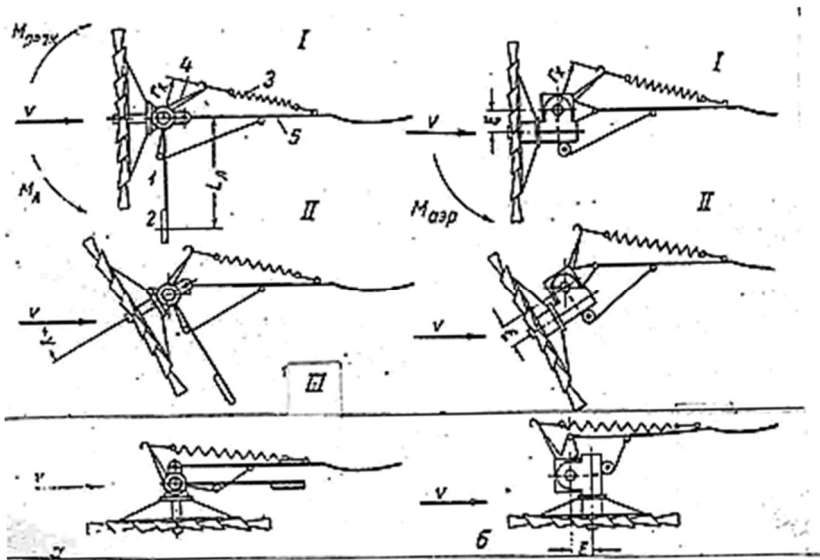


Рис. 4.40. Регулювання вітродвигуна шляхом виводу вітроколеса з-під вітру: а) боковою лопатою; б) ексцентричним розташуванням вітроколеса

Хвіст 5 з'єднано з головкою за допомогою шарніру. Діючий на лопату вітер намагається повернути головку з вітроколесом в бік лопати, а пружина відтягує головку назад. Чим більша швидкість вітру, тим більше кут повороту вітроколеса. б) Колесо розміщено ексцентрично до вертикальної осі і повертається під дією

вітру. Пружина повертає колесо в вихідне положення при зменшенні сили вітру.

Уніфікована вітроенергетична установка УВЕУ-(1-4)-6

Установка призначена для механізації підйому води із бурових свердловин, шахтних колодязів і відкритих вододжерел, використовується в районах, де середньорічні швидкості вітру не нижчі 4 м/с, рис. 4.41.

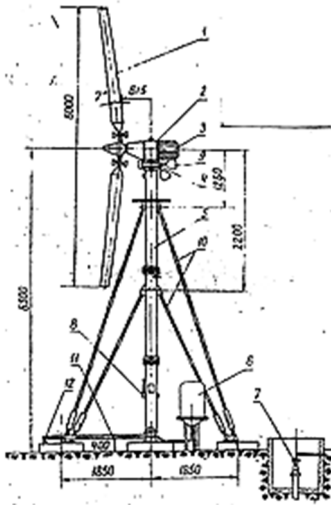


Рис. 4.41. Схема уніфікованої вітроелектричної установки УВЕУ-(1-4)-6

Установка під час бурі витримує швидкості вітру до 50 м/с. Установка може працювати в умовах сильних злив, снігових хуртовин, ожеледиці.

Уніфікація даного агрегату полягає у тому, що в залежності від вітрових умов району при одному і тому ж діаметрі вітроколеса 6 м в агрегаті використовують один з трьох електричних блоків, потужність яких складає: 1 кВт при середньорічній швидкості вітру до 4 м/с; 2 кВт – при 4–6 м/с; 4 кВт – при 6 м/с і більше. Вказані генераторні блоки забезпечують початок подачі електроенергії при швидкостях вітру відповідно 4 м/с; 4,5 м/с; 5 м/с. Продуктивність установки складає 2,5 м³/год.

Агрегат включає: 1 – вітроколесо, 2 – редуктор, 3 – генератор трифазний безконтактного типу ($n=1500$ об/хв, напруга 380/220 вольт), 4 – редуктор віндроз, 5 – трубчаста башта, 6 – блок автоматичного управління установкою, електричний занурений відцентровий насос, 8 – рукоятка механізму пуску і зупинки, 9 – віндрози автоматичної установки на вітер, 10 – тросові розтяжки, 11 – стріла для підйому та опускання вітродвигуна у випадку огляду і ремонту, 12 – фундамент для розтяжок, див. рис. 14.41.

Агрегат УВЕУ-(1-4)-6 одна з сучасних електричних насосних установок, яка відповідає усім вимогам в умовах сільського господарства

Тихохідні вітронасосні установки показані на рис. 4.42 і рис. 4.43.



Рис. 4.42. Вітронасосна установка



Рис. 4.43. Вітронасосна установка ВУ-1,5

Агрегат вітроелектричний

Агрегат вітроелектричний призначений для перетворення енергії вітру в електричну, рис. 4.44.

Призначення:

- електроживлення автономних споживачів;
- підйом і подача води з колодязів і свердловин; опалення і гаряче водопостачання житлових будинків і виробничих приміщень;
- опріснення і конденсація води;
- аерація водоймищ;

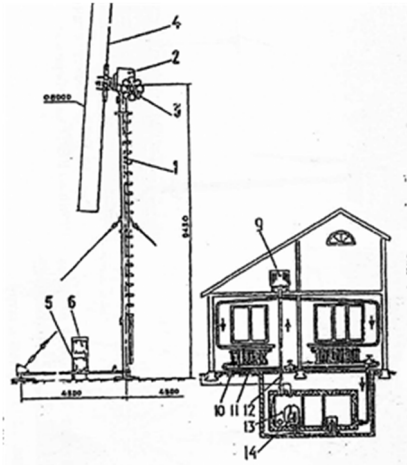


Рис. 4.44. Агрегат вітроелектричний:
 1 – опора; 2 – головка; 3 – віндроза;
 4 – лопати; 5 – блок управління;
 6 – блок збудження; 9 – бак розши-
 рювальний; 10 – батарея; 11 – магіст-
 раль зворотна; 12 – кран-регулятор;
 13 – тепло-акумулятор; 14 – нагрівач

- електрохімічний захист від корозії сталевих трубопроводів і конструкцій;
- виробництво електроенергії з приєднанням до загальної мережі.

Технічні характеристики:

Потужність.....8 кВт;
 Діаметр вітроколеса... 8 м;
 Висота від фундаменту до осі вітроколеса.....9450 мм;
 Робочий діапазон швидкостей вітру..... 3,5–25 м/с;
 Розрахункова швидкість вітру для досягнення максимальної потужності.....9 м/с;
 Кількість лопатей3 шт;
 Номінальне напруження.....400/230 В;
 Кількість фаз.....3;

Частота електричного струму.... $50 \pm 1,5$;

Маса агрегату (без фундаменту).....950 кг;

Система орієнтації вітроколеса на вітер віндрозний механізм;

Регулювання частоти обертання вітроколеса автоматична;

Розрахунковий строк служби.....30 років.

- Вітроагрегат опалювальний в комплекті з теплоакумулятором призначений для одержання гарячої води і обігріву приміщень – житлових будинків, теплиць, ферм. Температура гарячої води регулюється в межах 40–90° С. Теплоакумулятор підключається до системи опалення. Площа опалювального приміщення знаходиться в межах 100–200 кв. м.

Експлуатація вітродвигунів

Основні правила обслуговування вітродвигунів полягають у

наступному:

Його механізми щоденно оглядаються машиністом; наявними технічними засобами своєчасно проводиться профілактичний ремонт механізмів; при пуску установки в роботу поступово збільшують частоту обертання вітрового колеса шляхом повільного обертання рукоятки або штурвала лебідки; зупинку вітро-двигуна виконують тільки лебідкою. При її несправності для зупинки двигуна піднімаються на балкон башти або головки, накидають кінець ланки на хвіст і за її вільний кінець виводять з землі колесо з під вітру, після чого усувають несправність механізму зупинки.

В обумовлені строки виконують змащування окремих вузлів вітро-двигуна; поточний ремонт виконується не рідше одного разу на рік; капітальний – раз у три роки. В зимовий період своєчасно видаляють лід і сніг з шестерень головки і привідної лебідки, з пружин регулювання і інших частин вітро-двигуна. На балкон башти не допускаються сторонні особи; люк балкона закривають замком; ключ від нього знаходиться у машиніста.



Рис. 4.45 Сучасна вітро-енергетична установка (ВЕУ)

4.8 Розвиток вітроенергетичних установок

Вітроенергетика України. Факти і коментарі

Сумарна потужність вітрових електроустановок (ВЕУ) сьогодні на Україні перевищує 30 МВт. В кінці 1999 р. – 11,4 МВт, а в кінці 2000 р. – 24,15 МВт. Тобто зростання більше ніж 100%. Україна є єдиною країною колишнього СРСР, де активно розвивається вітроенергетика. Тут було налагоджено серійне виробництво ліцензійних ВЕУ USW 56–100 потужністю 107,5 кВт, рис. 4.45.

В країні діяла комплексна програма будівництва ВЕУ. Фінансування програми мало відбуватися за рахунок надбавок, які передбачені в тарифах на електроенергію у розмірах 0,75% від її реалізації.

На жаль ВЕУ USW 56-100, яка розроблена в 80-х роках, морально застаріла. Діаметр вітроколеса дає 2,11 м²/кВт. Теоретично коефіцієнт використання потужності при швидкості вітру 6,2 м/с дорівнює лише 0,186. Типове значення цієї величини для сучасних західних ВЕУ становить 0,25–0,35. Очевидно, що майбутнє української вітроенергетики пов'язане з використанням ВЕУ з потужністю 600 кВт і більше.

Розвитку вітроенергетики за кордоном

В теперішній час найчастіше використовують вітроенергетичні установки потужністю до 600 кВт, але майже у всіх країнах з'являються тенденції до створення ВЕУ мегаватного типу.

В Німеччині було проведено техніко-екологічне дослідження роботи в прибережних водах (глибина до 30 м) групи з 30 ВЕУ потужністю кожна 7 МВт. Двохлопатові (повертання лопаті регулюється) вітроколеса (діаметром 100 м) віддалені один від одного на 7 діаметрів. Маса кожного 40 т., частота обертання 0,412 с⁻¹; швидкохідність 8,66; коефіцієнт використання вітру 0,43; розрахункова швидкість вітру 15 м/с; максимальна – 25 м/с; передаточне співвідношення редуктора 60:1. Опори – сталеві трубчасті башти, які встановлені на залізобетонних опорах. Вважається, що гарантований строк експлуатації ВЕУ – 30 років. Вартість спорудження ВЕУ дорівнює 1366\$ за 1 кВт. Вартість електроенергії – 6,3 цента за 1 кВт. год. В цій же країні розробляється проект вітрогенератора потужністю 5 МВт «Winergy-5000».

В США в 1982 р. впроваджена ВЕУ МОД-2 потужністю 2,5 МВт з вітроколесом діаметром 92 м, за 1992 р. вона виробила біля 5,8 тис. МВт-год електроенергії. На Гавайських островах працює ВЕУ МОД-5В потужністю 3,2 МВт з дволопатовим вітровим колесом діаметром 97,5 м і висотою башти 100 м, яка виготовлена фірмою «Boeing Aerospace», США.

В Канаді, в районі м. Квебек працює ВЕУ EOLE, яка має вертикальну вісь обертання, потужністю 4 МВт, діаметром ротора 64 м і висотою 96 м.

Сучасний розвиток вітроенергетики отримала у 1979 році після серійного виробництва вітряних турбін датськими виробниками. Ранні турбіни були досить малими порівняно з сьогоdnішніми стандартами і мали потужності 20–30 кВт кожна. З того часу, вони значно виросли у розмірах та потужностях, рис. 4.46.

У наш час найбільшою вітровою турбіною у світі є прототип фірми Gamesa, який у 2009 році було встановлено в Іспанії. Вітрогенератор G10X має ротор діаметром 128 м. Попередній рекорд належав двом Німецьким компаніям

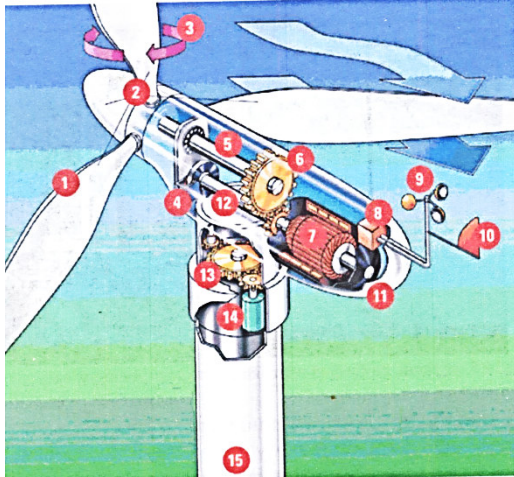


Рис. 4.46. Принципова схема вітряної турбіни: 1 – лопаті; 2 – ротор; 3 – поворот; 4 – тормоз; 5 – низько обертовий вал; 6 – коробка передач; 7 – генератор; 8 – контролер; 9 – анемометр; 10 – флюгарка; 11 – обтікаюча поверхня; 12 – високообертовий вал; 13 – настроювач напруги; 14 – двигун; 15 – опора [3]

Enercon та Re-power, які у 2007 році створили турбіну Enercon E-126 із потужністю 7 МВт, висотою 198 м та діаметром ротора 126 м.

Найважливішим елементом вітроелектростанції є вітрова турбіна, яка перетворює енергію вітру в механічну енергію, що передається до генератора. Більшість лопатей виконані зі скловолокна, підсиленого поліестером. Будову вітрової турбіни зображено на рис. 4.47, натомість на рис. 4.48, представлено монтаж промислових вітрових електростанцій фірми Vestas, які працюють для потреб загальних електромереж [3].

Крім вказаних на рисунку систем часто встановлюють систему для зміни кута (0–80°) встановлення лопатей ротору завдяки

застосуванню гідравлічних приводів.

Ротор вітрової турбіни встановлюється на повільнообертovому валу, оберти якого через редуктор передаються до швидкообертovому валу. Швидкообертovий вал сполучається з валом генератора.

Рис. 4.47 Основне обладнання сучасної вітрової електростанції

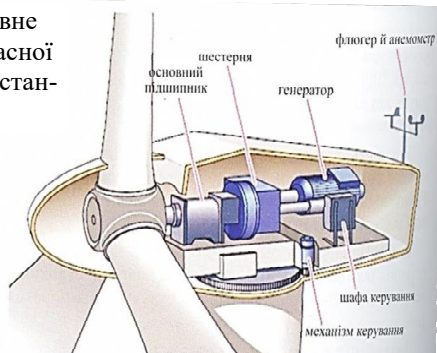


Рис. 4.48. Гондоли вітрових електростанцій у стадії будівництва

Знайшли використання й системи без редуктора. Найчастіше ротор обертається зі швидкістю 15...30 об/хв, а редуктор збільшує швидкість обертання в 30 разів до 1500 об/хв. В якості генераторів найчастіше застосовують синхронні електрогенератори [11].

Вітрові турбіни обладнані стійкою і надійною системою безпеки, в тому числі аеродинамічною системою гальмування. Для аварійного гальмування або призупинки ротора під час сервісних чи ремонтних робіт застосовують, зазвичай, дискові гальма.

Вітрогенератори набувають гігантських розмірів, рис. 4.49–рис. 4.51.



Рис. 4.49. Нижня частина опори потужної вітроенергетичної установки



Рис. 4.50. Монтаж вітроенергетичної установки – встановлення внутрішнього обладнання гондולי

У 2010 році норвезька фірма Sway оголосила про створення прототипу вітряної турбіни потужністю 10 МВт. Проектна висота 162,5 м, а діаметр колеса –145 м, рис. 4.52.



Рис. 4.51. Сухопутні ветряки пока що більше морських. (Фото Enercon.)



Рис. 4.52. Монтаж вітрового колеса

Найвищою вітряною турбіною станом на 2010 рік був вітрогенератор Fuhrlander Wind Turbine Laasow висотою 205 м.

Данські інженери збираються будувати вітрогенератори

майже 200 метрів заввишки. Потужність кожної установки становитиме 7 МВт. Система V164 спроектована фірмою Vestas. Висота вітрогенератора, що встановлюється в море неподалік від узбережжя, становить 187 м, а 80-метрові лопаті можуть покрити площу понад 21000 м². Це втричі більше стандартного футбольного поля.

Потужний електрогенератор E112, який використовує енергію вітру, був введений в експлуатацію (2002 р) поблизу міста Магдебурга. Найбільші технічні труднощі при монтажі цього вітряка обумовлені великою вагою. Бетонна башта висотою 120 м важить 440 т. Довжина кожної з трьох лопатей складає 52 м, а ширина – до 6 метрів. Щоб величезні лопаті створювали якнайменше шуму, їх кінці були загострені як ножі. Цей пристрій виробляє до 4,5 МВт електроенергії, що достатньо для забезпечення 15-тисяч будівель. Проте світовий рекорд має свою ціну – транспортування великих частин генератора здійснювалося рікою Емза на спеціальних баржах, тоді як вітряки стандартних розмірів легко доставлялися вантажними автомобілями. Програма федерального уряду передбачає зростання долі енергії вітру в енергетиці Німеччини к 2020 р. до 30–ти відсотків.



Рис. 4.53. Вітряна електростанція Танет

Вітряна електростанція Танет в 11 км від узбережжя округу Танет в графстві Кент в Англії. Це найбільша вітряна електростанція у відкритому морі. Її потужність становить 300 МВт, а вартість 1,2–1,4 млрд доларів.

Введена в експлуатацію в 2010 р. Проект займає територію 35 кв. км, відстань між турбінами 500 м, між рядами 800 м. Середня глибина 20–25 м. Ця станція обслуговує 240000 будинків, рис. 4.53.



Рис. 4.54. Вітрова електростанція в прибережній зоні

За період с 1981 по 1983 рр. в штаті Каліфорнія (США) була введена в експлуатацію ВЕС, яка складається з 3600 вітроагрегатів сумарною електричною потужністю 240 МВт. Питомі капітальні вкладення в ці установки оцінюються в 1,5 тис. доларів США на кВт, рис. 4.54.

У Великобританії розробляється проект ВЕУ потужністю 6 МВт для прибережної зони. Далі планується поєднати 320 таких ВЕУ в одну групу з потужністю 2,0 ГВт. Ця група буде витягнута в море на 1 км. Лише так ВЕУ будуть енергетично і економічно ефективні і не порушать екологічну рівновагу і ландшафт.

Вітроенергетика США: 7 ГВт введено в експлуатацію за підсумками 2017

Американська асоціація вітроенергетики підвела підсумки минулого року. У США було введено в експлуатацію трохи більше 7 ГВт вітрових електростанцій. За мірками Штатів – це хороший, «міцний», але не рекордний показник, за світовими мірками – можна порівняти з Німеччиною (2–3 місце в світі).

Встановлена потужність вітроенергетики США перевищила 89 ГВт (друге місце в світі після Китаю).

Серед штатів за встановленою потужністю з великим відривом лідирує нафтовий Техас (22,6 ГВт). Це більше, ніж у наступних за ним Оклахоми, Айови і Каліфорнії разом узятих Якби Техас був країною, він був би на шостому місці в світі за встановленою потужністю вітроенергетики, випереджаючи такі потужні вітроенергетичні держави, як Великобританія і Бразилія.

Вітроенергетика штату вже обійшла за встановленою потужністю вугільну генерацію, і очікується, що незабаром обійде і по виробленню.

Примітно, що три найбільші вітрові електростанції, введені в експлуатацію в 2017 році (приблизно 300 МВт кожна), належать європейським енергетичним компаніям – E.ON, Enel і Iberdrola.

Нагадаю, що вітроенергетика США – надзвичайно ефективний сектор, який працює з високим КВВП. Управління енергетичної інформації прогнозує, що в 2018–2019 роках вітрові електростанції обженуть за виробітком американські ГЕС

Вежі вітроустановок встановлюються на фундаменти з паль, забитих в дно. Для установки паль, спеціально було побудовано судно, що володіє можливістю стабілізувати себе за допомогою шести опор на морському дні. Глибина, де встановлюються офшорні вітроустановки не перевищує 30 метрів, рис. 4.55 і рис. 4.56.



Рис. 4.55. Найпотужніша (2009) офшорна вітрова електростанція (209,3 МВт), Horns Rev 2, на півострові Ютландія, Данія, <http://renewable.com.ua/renewable/32-desjat-samyh-moschnyh-proektov-vozobnovljaemoj-energetiki-v-mire-2010.html>



Рис. 4.56. Найпотужніша (2009) офшорна вітрова електростанція (209,3 МВт), Horns Rev 2, на півострові Ютландія, Данія, http://www.journal.esco.co.ua/2011_8/art180.htm

Здавалося б, якщо вітер дує безкоштовно, виходить, і електроенергія має бути дешевою. Але це далеко не так. Річ в тім, що будівництво великого числа вітроагрегатів вимагає значних капітальних витрат, які входять складовою частиною в ціну виробленої енергії. При порівнянні різних джерел, зручно зіставляти питомі капіталовкладення, тобто витрати для виробництва 1 кВт виробленої потужності. Для АЕС ці витрати рівні близько 250 грн/кВт, а для

вітроустановки 1500 грн/кВт. А якщо врахувати, що вітер дме зі швидкістю в 3–4 рази менше максимальної, то реальні витрати будуть в 20 разів вище, ніж для АЕС, рис. 4.57. <http://www.my-shared.ru/slide/1241768>



Рис. 4.57. Налагодження роботи вітроустановки

продуктом прискіпливої інженерної думки, результатом точних розрахунків і довгого проектування, з метою отримати ефективний і надійний перетворювач енергії вітру в електричну енергію,

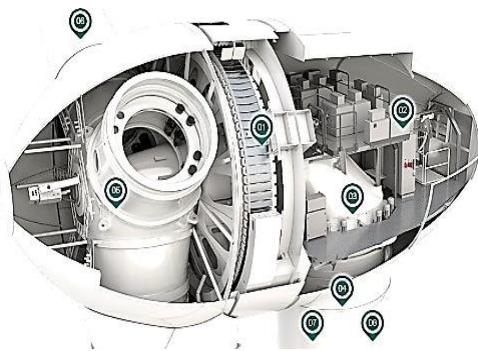


Рис. 4.58. Гондла вітрогенератора Enercon E-126

вітрогенератора. Вона виготовляється суцільно із залізобетону шляхом послідовної заливки в опалубку або збирається з коротких залізобетонних кілець, які встановлюють послідовно одне на

І вже зараз можна впевнено говорити про те, що потужний промисловий вітрогенератор (як наприклад Enercon E-126), потужністю 6–8 МВт, будучи інтегрований в систему електропостачання невеликого містечка, зможе забезпечити потреби його жителів і потреби електрифікованої інфраструктури.

Давайте, однак, звернемося до суті, і розглянемо пристрій промислового вітрогенератора. Адже будь-який вітрогенератор є

тому кожна деталь величезної конструкції аж ніяк не випадкова. Для прикладу будемо звертатися до конструкції вітрогенератора Enercon E-126, і розглянемо основні його частини, рис. 4.58.

Вежа

Вежа висотою в десятки метрів є опорою промислового

інше, і з'єднують, простягаючи через них каркасні триси, рис. 4.59. Армований бетон має достатню міцність, щоб утримати на висоті важку турбину і гондолу, а також протистояти навантаженню, що виникає при роботі вітрогенератора, перешкоджаючи перекиданню споруди.



Рис. 4.59. Вежі для вітрогенераторів різної потужності

Розширена біля основи, вежа надійно утримує всю конструкцію в правильному положенні. Лопаті (6) и ротор (5) промислового ветрогенератора виготовляють зі спеціального композитного волокна на основі сталі, рис. 4.61.

- Підстава вежі розміщується на залізобетонному фундаменті, вагу якого можна порівняти з вагою самої вежі, рис. 4.60.

Для прикладу, вітрогенератор Enercon E-126 має фундамент загальною вагою близько 6000 тонн. Опора за формою не є циліндром, вона має форму ближче до зрізаного конусу,



Рис. 4.60. Підстава і фундамент вежі



Рис. 4.61. Лопать і трійчаста втулка – хаб робочого колеса вітрогенератора

Лопаті набираються з окремих сегментів, або виготовляються як моноліт, в залежності від їх розмаху. Для кріплення лопатей до ротору застосовують, як правило, болти и хаб. Самі лопаті кріпляться до хабу, а хаб – безпосередньо до ротору генератора.

Обертання турбіни навколо вежі



Рис. 4.62. Асинхронні електродвигуни для повертання турбіни навколо вежі.

Для обертання турбіни навколо вежі застосовується асинхронний двигун (3), з'єднаний зубчастою передачею з кільцем біля основи гондоли, рис. 4.62. Таких двигунів може бути від одного до трьох, залежно від розміру вітрогенератора і від його потужності.

Якщо раніше в якості генераторів для вітряків застосовувалися агрегати близькі по конструкції до стандартних синхронних генераторів, то на початку 2000-х з'явилося таке нововведення, як кільцевий генератор.

Тут ротор турбіни, з'єднаний з хабом, є одночасно і ротором генератора, рис. 4.63.



Рис. 4.63. Кільцевий електрогенератор нової конструкції для вітроагрегатів

в машинному відділенні гондоли.

На кільцевому роторі розташовані обмотки незалежного збудження, що формують магнітні полюси, а на статорі, відповідно, – обмотка статора. Обмотка статора розділена на частини (у разі Enercon E-126 - на чотири частини), кожна з яких підключена до індивідуального випрямного блоку. Контролер генератора розташований в

Інвертор

Після випрямлення, постійна напруга номіналом в 400 вольт подається на інвертор, встановлений в основі вежі, де енергія перетворюється на змінний струм, і після трансформації подається на ЛЕП, рис. 4.64.



Рис. 4.63. Інвертор

Ми розглянули ключові складові частини сучасного промислового вітрогенератора на прикладі моделі Enercon E-126, вперше встановленого поблизу німецького міста Емден в 2007 році. Потужність генератора на даний момент становить 7,58 МВт, чого достатньо для цілорічного забезпечення електроенергією 4500 котеджів. На сьогоднішній день компанією Enercon зведено понад 13000 подібних вітрогенераторів по всьому світу, їх сумарна встановлена потужність вже в 2010 році перевищувала 2846 МВт, рис. 4.64.



Рис. 4.64. Транспортування лопатей вітрогенератора автотранспортом, Венесуела. <http://gruzavtoperevozki.ru/perevozka-negabarita-po->

Освоєння енергії вітру по всьому світу, в останні роки, відбувається досить стрімко. Лідерами на даний момент є Китай і США, однак і решта світу поступово розвиває цей перспективний напрям «чистої» енергетики, що базується на невичерпному природному ресурсі – енергії вітру. З кожним роком в світі встановлюється все більше і більше вітрогенераторів, і в наявності тенденція до подальшого поширення технології,

<http://electricalschool.info/energy/1539-jenergija-vetra-preimushhestva-i.html>

- **Переваги**



Рис. 4.65. Підняття вітроколеса на вежу

1. Використовується повністю поновлюване джерело енергії, рис. 4.65. В результаті дії сонця, в атмосфері постійно рухаються повітряні потоки, для створення яких не потрібно добувати, транспортувати, і спалювати ніяке паливо. Джерело принципово невичерпне.

2. В процесі роботи вітряної електростанції повністю відсутні шкідливі викиди. Це означає, що відсутні як будь-які парникові гази, так і які б то не було відходи виробництва

взагалі. Тобто технологія екологічно безпечна.

3. Вітряна станція не використовує воду для своєї роботи.

4. Вітряна турбіна і основні робочі частини таких генераторів розташовані на значній висоті над землею. Щогла, на якій встановлена вітряна турбіна, займає невелику площу на землі, тому навколишній простір може бути з успіхом використана для господарських потреб, там можуть бути розміщені різні будівлі і споруди, наприклад, для сільського господарства.

5. Застосування вітрогенераторів особливо виправдано для ізольованих територій, куди звичайними способами електроенергію не доставити, і автономне забезпечення для таких територій є, мабуть, єдиним виходом.

6. Після введення в експлуатацію вітряної електростанції, вартість кіловат-години генерованої таким чином електроенергії значно знижується. Наприклад, в США спеціально досліджують роботу знову встановлених станцій, оптимізують ці системи, і таким чином дається знижувати вартість електроенергії для споживачів до 20 разів від початкової вартості.

7. Технічне обслуговування в процесі експлуатації мінімальне

Ботієвська вітрова електростанція повністю введена в експлуатацію, <http://uwea.com.ua/ru/news/entry/botievskaya-ves-polnost-yu-vvedena-v-ekspluataciyu/>

ДТЕК завершив введення в експлуатацію 35 вітроустановок другої черги Ботієвської вітроелектростанції (ВЕС), вийшовши на проектну потужність станції 200 МВт. Найбільша в Україні ВЕС дозволить виробляти близько 600 млн кВт год екологічно чистої електроенергії щорічно.

Будівництво Ботієвської ВЕС було розпочато в 2011 році, введення в роботу віротурбін першої черги потужністю 92,25 МВт ДТЕК завершив у 2012 році. Монтаж вітроустановок другого етапу будівництва станції почався у вересні 2013 року. У квітні 2014 року компанія завершила запуск 35 вітроустановок другої черги сумарною потужністю 107,625 МВт. Виробник вітряних турбін - датська компанія Vestas.

Ботієвська вітрова електростанція – один з найбільших інвестиційних проєктів ДТЕК; вкладення в будівництво станції склали близько 340 млн євро. Для фінансування першої і другої черги проєкту ДТЕК залучив близько 245 млн євро в німецькому банку LandesBank Berlin.

Відповідно до прес-релізу компанії Вінд Пауер (ДТЕК) від 24 квітня 2014 року, тривають також роботи з будівництва двох інших ВЕС вітропарку «ДТЕК Приазовський» в Запорізькій області – Приморської і Бердянської. Повне введення в експлуатацію трьох станцій вітропарку «ДТЕК Приазовський» загальною

потужністю 550 МВт очікується до кінця 2017 року.

Хто сказав, що вітряки - безпечні джерела енергії?

<https://dezinfo.net/foto/47258-kto-skazal-chno-vetryaki-bezopasnye-istochniki-yenergii.html>

У гонитві за екологічно чистими джерелами енергії американці на своїх пустирях вже наставили вітряків. Виявилось що ці величезні вентилятори не так безпечні, як здається. І падають, і вибухають, і розлітаються на частини. Загалом, варто триматися від них подалі, рис. 4.66 і рис. 4.67.

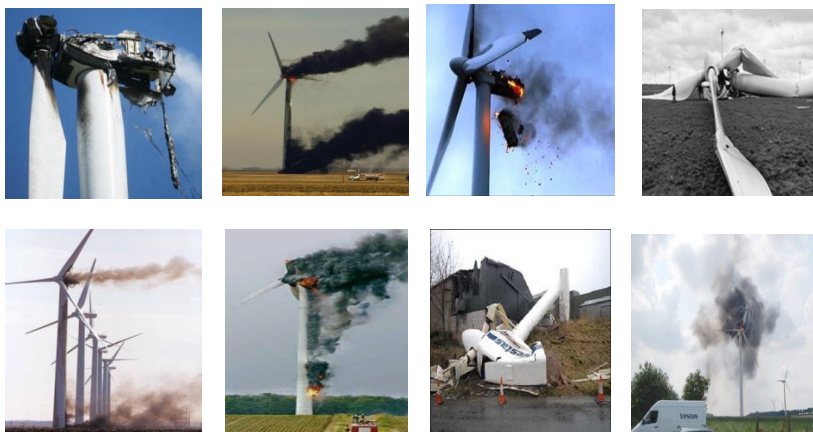


Рис. 4.66. Аварії вітроенергетичних установок,
<https://dezinfo.net/foto/47258-kto-skazal-chno-vetryaki-bezopasnye-istochniki-yenergii.html>



Рис. 4.67. Аварії і пожежі вітроенергетичних установок
не виключаються

4.9. Екологічні аспекти вітроенергетики

В останній час будівництво ВЕС проводиться на акваторіях морів, заток, озер. Це обумовлено в основному двома факторами: економією земельних угідь і більш високим потенціалом вітру на акваторіях, ніж на суходолі.

Не зважаючи на абсолютну екологічну чистоту вітроенергетики негативний вплив ВЕС на природу все ж існує. Розміщення ВЕУ у вітропарку повинно здійснюватися за умов мінімуму взаємовпливу ВЕУ при різних можливих напрямках вітру та меншій площі відчуження ними території.

Визначається, що оптимальною відстанню між сусідніми ВЕУ у всіх напрямках є 6–18 діаметрів вітроколеса, тобто при його діаметрі 100 м необхідна територія тільки для однієї ВЕУ складає 5–7 км², а для ВЕС – десятки квадратних кілометрів.

Спорудження ВЕУ змінює ландшафт і у ряді випадків робить територію під ними непридатною для неенергетичного використання. Опори ЛЕП, допоміжне устаткування, підстанції, під'їзні колії практично можуть зайняти всю відведену територію. Тут також відзначимо негативний вплив потужного електромагнітного поля від густої сітки високовольтних ЛЕП.

При використанні вітроколес з вертикальною віссю обертання частина негативного впливу ВЕС на навколишнє середовище відпадає.

Значним негативним фактором впливу ВЕС на навколишнє середовище є також шумовий ефект. При роботі ВЕС виникає шум, який супроводжується коливаннями повітря. Шумові ефекти від ВЕУ можуть бути механічні та аеродинамічні. Аеродинамічний вплив може бути низькочастотним (менше за 16–20 Гц) та високочастотним (від 20 Гц до декількох десятків кГц). У безпосередній близькості від установки шум може досягти величини 50–80 дБ. Відзначимо, що гранична витривалість людського вуха дорівнює 130 дБ, а найменший приріст сили звука з вуха дорівнює 1 дБ.

ВЕС також створюють значні перешкоди для птахів та літаючих комах у районі її експлуатації.

Потужні обертові вітрові колеса горизонтальних ВЕС створюють екранувальний вплив, аналогічний впливу височини у декілька сотен метрів. Це створює перешкоди для прийому телевізійних та радіо передач. Такі перешкоди виникають і від роботи ВЕУ.

При аварійних ситуаціях на ВЕУ існує небезпека розкиду пошкоджених частин вітроколів.

В той же час ВЕС сприяють зменшенню сили вітру, зниженню вітрової ерозії ґрунту, зменшенню вітру з акваторії водосховищ та водоймищ.

Сучасні вітроустановки є складними комплексами, які збирають в себе новітні досягнення в розвитку науково-технічного прогресу. Їх подальше вдосконалення, поліпшення енергетичних показників тісно пов'язані з рівнем застосовуваних технологій, розвитком теорії, методів проектування, вдосконаленням аеродинаміки, електромеханічних перетворювачів, систем управління, регулювання та захисту. Однією з головних проблем цього перспективного напрямку розвитку енергетики є створення високоекономічних і надійних електричних машин, здатних тривалий час працювати в напружених динамічних режимах, при частих перевантаженнях, електродинамічних та температурних напружених, несприятливих умовах навколишнього середовища.

Приклади розв'язання задач

Задача 4.1

Визначити швидкість потоку вітру w , м/с, на висоті $H=22$ м, якщо середня швидкість на висоті $h = 10$ м дорівнює $w_1 = 12$ м/с.

Розв'язання

Швидкість потоку вітру визначається за формулою

$$w = w_1(H/h)^{0,2} = 12(22/10)^{0,2} = 14,05 \text{ м/с.}$$

Задача 4.2

При якій швидкості вітру вітроустановка генеруватиме кількість енергії, яка достатня для забезпечення енергією середнього котеджного будиночка, якщо радіус ротора $R = 2,0$ м, коефіцієнт

використання вітру $\xi = 0,43$; ККД редуктора $\eta_{ред} = 0,81$; ККД генератора $\eta_{ген} = 0,87$: розрахункова швидкість вітру $w = 6,4$ м/с. Для забезпечення енергією середнього ко-теджного будиночка необхідно мати установку середньої потужності $N = 3$ кВт [99].

Розв'язання

Потужність потоку вітру у відповідності з формулами (4.2)–(4.5) обчислюється за формулою, Вт:

$$N = \xi \cdot \pi R^2 \cdot 0,5 \cdot w^3 \cdot \rho_n \cdot \eta_{ред} \cdot \eta_{ген}, \quad (4.8)$$

ξ – коефіцієнт використання енергії вітру; R – радіус вітроколеса, м; w – швидкість повітряного потоку, м/с; ρ_n – щільність повітря, $\rho_n = 1,225$ кг/м³.

Потужність вітрового потоку при заданій швидкості вітру за формулою (4.8)

$$N = 0,43 \cdot 3,14 \cdot 2^2 \cdot 0,5 \cdot 6,4^3 \cdot 1,225 \cdot 0,81 \cdot 0,87 = 624,7 \text{ Вт} = 0,625 \text{ кВт}.$$

З рівняння (4.8) визначаємо мінімальну необхідну швидкість потоку вітру для створення заданої потужності $N = 3$ кВт = 3000 Вт.

$$w = [N / (\xi \cdot \pi R^2 \cdot 0,5 \cdot \rho_n \cdot \eta_{ред} \cdot \eta_{ген})]^{0,333}. \quad (4.9)$$

$$w = \left[\frac{3000}{0,43 \cdot 3,14 \cdot 2^2 \cdot 0,5 \cdot 1,225 \cdot 0,81 \cdot 0,87} \right]^{0,333} = 10,85 \text{ м/с}.$$

Таким чином для забезпечення енергією середнього ко-теджного будиночка вітроустановкою з прийнятими параметрами необхідна швидкість вітру $w = 10,85$ м/с.

Задача 4.3

Визначити основні параметри вітроенергетичної установки (ВЕУ) при наступних вихідних даних: номінальна швидкість вітру $w = 4$ м/с; раціональна швидкохідність вітроколеса $z_{opt} = 5$; коефіцієнт потужності використання енергії вітру $\xi = 0,4$; потужність генератора $N = 6$ кВт; ККД генератора $\eta_{ген} = 0,85$; ККД редуктора-мультиплікатора $\eta_{ред} = 0,8$; густина повітря $\rho_n = 1,225$ м/с.

Розв'язання

1. Розрахунок потужності на валу вітроколеса (без урахування втрат у мультиплікаторі), [9].

$$N_l = N/\eta_{ген} = 6/0,85 = 7,06 \text{ кВт:}$$

2. Радіус вітроколеса R з формул (4.4) і (4.5):

$$R = \sqrt{\frac{2N_l}{\xi \rho_n \pi w^3}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 7,06 \cdot 10^3}{0,4 \cdot 1,225 \cdot 3,14 \cdot 4^3}} = 11,95 \text{ м.}$$

Приймаємо $R = 12 \text{ м.}$

3. Швидкохідність вітрового колеса визначається залежністю [9]

$$Z = \frac{\omega R}{w}, \quad (4.10)$$

де ω – кутова частота обертання вітроколеса, 1/с причому

$$\omega = 2\pi n, \quad (4.11)$$

де n – швидкість обертання робочого колеса, об/с.

З рівнянь (4.10) і (4.11) знаходимо

$$n = \frac{Zw}{2\pi R}. \quad (4.12)$$

$$n = \frac{5 \cdot 4}{2 \cdot 3,14 \cdot 12} = 0,265 \text{ об/с} = 15,9 \text{ об/хв.}$$

4. Розрахунок передавального числа мультиплікатора $i_l = 50/n = 50/15,9 = 3,15$.

5. Корегування передавального числа мультиплікатора з врахуванням його ККД.

$$i = i_l/\eta_{ред} = 3,15/0,8 = 3,94. \text{ Приймаємо } i = 4.$$

Задача 4.4

Модель ВЕУ з вертикальною віссю обертання має чотири стаціонарних лопаті типу «Банан» [100] і шість вітронапрямних екрани; радіус ротора $R = 0,11 \text{ м}$, площа міделя ротора $A = 0,0598 \text{ м}^2$. Характеристики, які отримані при дослідженнях моделі: швидкість вітру $w = 6,8 \text{ м/с}$; оберти вітротурбіни $n = 131 \text{ об/хв}$, коефіцієнт крутячого моменту $C_m = 0,284$ [50].

Яка ефективність ВЕУ?

Розв'язання

1. Визначаємо швидкісний напір

$$q = \rho_n w^2/2 = 1,225 \cdot 6,7^2/2 = 27,495 \text{ Па.}$$

2. Визначаємо крутячий момент

$$M_{кр} = C_m A R q = 0,284 \cdot 0,0598 \cdot 0,11 \cdot 27,495 = 0,05136 \text{ кг}\cdot\text{м.}$$

3. Визначаємо кутову швидкість обертання вітротурбіни
 $\omega = \pi n / 30 = 3,14 \cdot 131 / 30 = 13,71 \text{ 1/с.}$

4. Потужність установки

$$N = M_{кр} \omega = 0,05136 \cdot 13,72 = 0,70466 \text{ кг}\cdot\text{м/с} = 6,908 \text{ Вт.}$$

Традиційна установка той же площі має максимальний коефіцієнт використанні енергії вітру $\xi = 0,45$. Потужність традиційної установки

$$N_{mp} = \xi \rho_n A w^3 \cdot 0,5 = 0,45 \cdot 1,225 \cdot 0,0598 \cdot 6,7^3 \cdot 0,5 = 4,957 \text{ Вт.}$$

Відношення потужності розробленої установки до потужності традиційної установки:

$$N/N_{mp} = 6,908/4,957 = 1,393.$$

Контрольні питання

1. Як виглядає процес утворення вітру?
2. Як розуміти термін «повторюваність вітру»?
3. Який потенціал вітрової енергії в Україні?
4. Що називають баричним градієнтом?
5. Чому дорівнює радіус меридіану?
6. Який механізм руху повітряних мас утворює загальну циркуляцію атмосфери?
7. Які шляхи історичного розвитку вітряків?
8. Яка прийнята класифікація вітрів?
9. Як утворюються пасати і бризи?
10. Як впливає ліс на швидкість вітру?
11. Чому дорівнює робота повітряного потоку?
12. Чому дорівнює коефіцієнт використання вітру?
13. Чому дорівнює коефіцієнт використання потужності вітродвигуна в Україні?
14. Які існують типи вітродвигунів?
15. Яку долю вітрової енергії використовують вітрогенератори з горизонтальною віссю обертання?
16. При якій середньорічній швидкості вітру доцільно встановлювати вітрогенератор?
17. Які переваги вітрогенераторів з вертикальною віссю обертання?

18. У чому переваги вітрогенератора Оніпко у порівнянні з іншими вітрогенераторами?

19. За рахунок чого вітрогенератор Ленця вважається тихим, безшумним і одним з найефективніших?

20. Що називають вітроелектричною станцією (ВЕС)?

21. Як класифікують ВЕС?

22. Яка конструкція вітрогенератора з горизонтальною віссю обертання?

23. Які правила обслуговування використовують при експлуатації вітрогенераторів?

24. Чим характеризується розвиток вітроенергетичних установок в Україні?

25. Який стан розвитку вітроенергетичних установок за кордоном?

26. Які небезпечні випадки трапляються при експлуатації вітроустановок?

27. Які аспекти вітроенергетики необхідно враховувати при їх будівництві і експлуатації?

5. ЕНЕРГІЯ ВОДНИХ РЕСУРСІВ

5.1. Гідроенергетичні ресурси в світі і Україні



► **Вода** – одна з численних хімічних сполук, які відомі на Землі, з простою формулою H_2O . Проте ще з минулого століття почали з'ясовувати, що майже всі фізико-хімічні властивості води – *суцільні аномалії в природі*. Вчені вже чимало порозкривали таємниці води, але чим більше вони вивчають її властивості, тим більше впевнюються в їх невичерпаності. Іноді відкриваються властивості настільки неочікувані, що трудно піддаються поясненню. Вода є самою диво-

вижною речовиною у світі.



Рис. 5.1. Кругообіг води

Дуже важливою властивістю води є її *велика теплоємність*.

У керосину, наприклад, питома теплоємність в два рази нижча ніж у води, а у ртуті менша в 3000 разів. Охолоджуючи 1 м^3 води на 1°C , можливо 1000 м^3 повітря нагріти на 3°C .

Завдяки цій властивості вода пом'якшує клімат на Землі, рис. 5.1.

Є ще важлива аномальна властивість води – *висока схована теплота плавлення*. Щоб розтопити, наприклад 1 кг льоду потрібно витратити 334 Дж . У сталі цей показник вдвічі менше, а у свинцю він менше в 15 разів. Повільне танення снігу і льоду рятує

нас від катастрофічних весняних повеней, а родючий ґрунт встигає ввібрати в себе достатню кількість вологи на літо.



Рис. 5.2. Вода – життя

Аномальних фізичних і хімічних властивостей води багато і вони зробили воду тим, чим вона є. Вода – найважливіша в природі рідина. В воді народилося життя. Без води неможливе існування тваринного і рослинного світу. Життя є тільки там, де є вода, рис. 5.2. Якщо людина не поповнить неминучих втрат води з організму, то наступають серйозні розлади життєво важливих функцій. Без води людина гине через декілька діб

[92; 93].

Вода має найбільше розповсюдження на нашій планеті, вона всюдисуща, табл. 5.1. Все живе і неживе вміщує її. Людський організм на 2/3 складається з води. Підраховано, що загальна маса живих організмів, яка знаходиться на поверхні Землі, становить $2 \cdot 10^{11}$ млрд т. Це означає, що в них зосереджено $14 \cdot 10^{10}$ млрд т води.

Таблиця 5.1

Запаси води в гідросфері

Частини гідросфери	Об'єм води, тис. км ³	% загального об'єму
Світовий океан	1370323	93,96
Підземні води	60000	4,12
В тому числі зони активного водообміну	4000	0,27
Льодовики	24000	1,65
Озера і водосховища	280	0,019
Ґрунтова волога	85	0,006
Пара атмосфери	14	0,001
Річкові води	1,2	0,0001
Всього:	1454193	100

З табл. 5.1 визначаємо, що *запаси прісної води* в гідросфері, тобто тієї води, яка для людства поки ще є найбільш цінною, становить 29000 тис. км³, тобто менше 2% об'єму гідросфери. Це чимало, але з цієї кількості 24000 тис. км³ (83%) зосереджено в льодовиках і тільки 271,2 тис. км³ – в озерах і ріках. Додамо до них ґрунтову вологу і вологу пари в атмосфері, отримаємо 380 тис. км³. На рис. 2.2 ліворуч наочно показаний об'єм всіх водних ресурсів Землі у вигляді

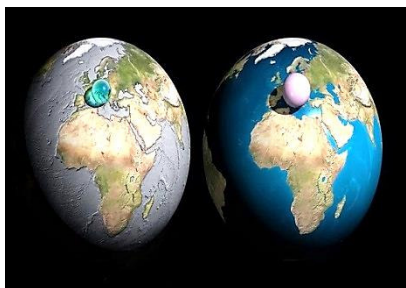


Рис. 5.3. Водні ресурси Землі

водних ресурсів Землі у вигляді водяної краплі (14087 млрд. км³), а праворуч об'єм всього повітря атмосфери, сконцентрований у сферу з густиною води, рис. 5.3.

Запас прісної води, яка придатна для підтримання життя, складає крапельку від загальної кількості води, всього 2%, і ті дуже нерівномі-

рно розташовані на планеті, рис. 5.4.

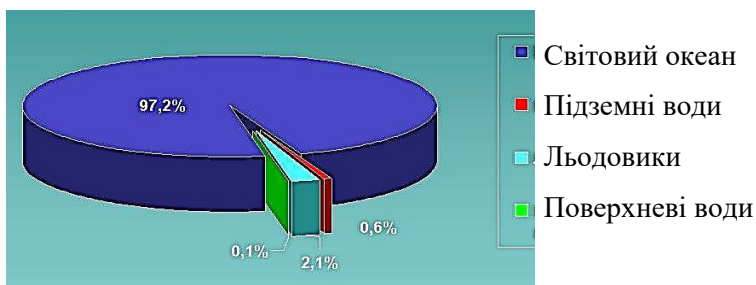


Рис. 5.4. Водні ресурси Землі

Україна належить до найменш водозабезпечених країн світу. Згідно з водогосподарськими балансами та урахуванням якості води її дефіцит коливається в межах 10–15 км³. Дефіцитними залишається більшість природних водних джерел, а водні ресурси дедалі більше стають головним лімітуючим чинником розвитку і розміщення продуктивних сил України.

Упродовж тривалого історичного розвитку в Україні сформувався водогосподарський комплекс, який являє собою величезні гідротехнічні споруди, канали для пересилки води з багатководних у маловодні райони, гідромеліоративні системи, великі і малі водосховища, озера і лимани, ставки і водойми, річкову мережу, всі водогосподарські організації, науково-дослідні і навчальні заклади, проектно-конструкторські, будівельні і пошукові організації.

Завдання полягає в тому, щоб на основі всіх досягнень науково-технічного прогресу перетворити його в автоматизовану систему регулювання водності рік, природних і штучних водойм і водозабезпечення господарського комплексу України. В Україні і надалі має тривати водогосподарське будівництво з тим, щоб досягти максимального забезпечення водою всіх господарських потреб.

Водні ресурси – це води (поверхневі і підземні), які людина використовує в побуті, промисловості і сільському господарстві.

5.2. Етапи розвитку гідроенергетики

Винахід водяних турбін, електрогенераторів и засобів передачі електричної енергії на великі відстані дозволило з кінця XIX – початку XX століть почати будівництво гідроелектричних станцій, які виробляють дешеву енергію.

В 1913 р. сумарна потужність всіх електростанцій Росії становила 1,2 млн кВт. Гідроелектростанцій було всього 50, а їх сумарна потужність 16 тис. кВт. Найпотужнішою була Гіндукушська ГЕС на р. Мургаб потужністю 1300 кВт [51–54].

Прискорення соціально-економічного розвитку суспільства у другій половині XX століття вимагало швидкого збільшення як виробництва електроенергії, так і використання водних ресурсів. Енергетика, будучи основним рушійним фактором розвитку економіки та підвищення добробуту населення, характеризується найбільш високими темпами зростання. При цьому різко зросло значення гідроенергетики – найефективнішого із відновлювальних джерел енергії, – яка є також основою комплексного використання водних ресурсів.

Сучасний етап розвитку гідроенергетики характеризується широким будівництвом великих ГЕС із водосховищами комплексного призначення у багатьох країнах світу, значним збільшенням використання гідроенергетичних і водних ресурсів, що пов'язано з необхідністю задоволення різко зростаючих потреб в електроенергії та воді міст, промисловості та сільського господарства, що швидко розвиваються, а також захисту від паводків. Крім того, в умовах збільшення частки електроенергії, що виробляється великими базисними ТЕС та АЕС, гідроелектростанції служать їх оптимальним доповненням в якості маневрених потужностей, рис. 5.5–рис. 5.8.

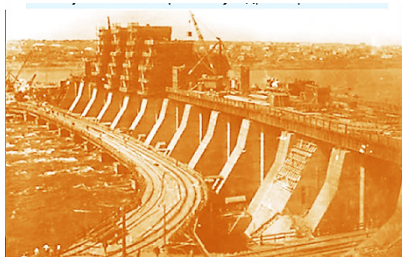


Рис. 5.5. Будівництво Дніпрогесу. Лівобережна гребля. 1930 р.



Рис. 5.6. Угличська ГЕС. Загальний вигляд



Рис. 5.7. Другий агрегат Угличської ГЕС (початок експлуатації 1941 р.)



Рис. 5.8. ГЕС Гранд-Кулі у Північній Америці. р. Колумбія. 1942 р.

Однак створення водосховищ, виявляючись активним втручанням в екологічні умови, що склались, справляючи значний

вплив на них, може призвести до негативних наслідків для навколишнього природного середовища та умов життя населення. Багато негативних наслідків при створенні водосховищ (особливо у 50–70-ті роки ХХ ст.) мають історичні корені, обумовлені відомими труднощами соціально-економічного та політичного розвитку суспільства, а також недооцінкою впливу техногенної дії на навколишнє природне та соціальне середовище, недостатністю природоохоронних та компенсаційних заходів, порушенням режимів експлуатації, рис. 5.9.



Рис. 5.9. ГЕС Даніель Джонсон (Канада)

Крім того, *оцінки впливу водосховищ* на навколишнє середовище у багатьох випадках мали поверховий обмежений характер.

В останні десятиріччя ХХ ст. проблеми впливу ГЕС та водосховищ на навколишнє середовище стали предметом глибокого вивчення, найважливішого значення набувають комплексні роботи по вивченню та прогнозуванню наслідків їх спорудження. Практично у всіх країнах законодавчі акти, державна політика особливу увагу приділяють захисту навколишнього середовища, обов'язковою стає експертиза впливу об'єкту на навколишнє середовище, висновки якої стають визначальним фактором при прийнятті рішення щодо будівництва ГЕС [94; 95].

Практика тривалої експлуатації багатьох ГЕС з великими водосховищами комплексного призначення, де в повному обсязі були виконані природоохоронні та компенсаційні заходи, показала можливість *мінімізації негативних наслідків* та збереження

екологічної рівноваги.

На 2000 р. у світі при виробленні ГЕС 2650 млрд кВт·год. було освоєно біля третини економічно ефективного гідроенергетичного потенціалу, причому розвинуті країни використали його більш ніж на 70%, а багато які з країн Західної Європи (Франція, Швейцарія, Італія) використали економічно ефективний потенціал на 95–98%, Японія – на 90%, США – на 82%, Канада – на 65%, інтенсивне гідроенергетичне будівництво ведеться в Азії, особливо в Китаї, Індії, у Південній Америці та Африці. У 1992 р. у Китаї розпочались роботи зі спорудження найпотужнішої у світі ГЕС «Три ущелини» рис. 5.10.

Величезний набутий досвід послужить подальшому розвитку гідроенергетики у XXI столітті, рис. 5.11–рис. 5.17.

На 2008 р. у світі потужність ГЕС досягла 887 млн кВт, а вироблення – 3050 млрд кВт·год, у Китаї потужність ГЕС склала 171 млн кВт, вироблення – 684 млрд кВт·год, і він вийшов на перше місце у світі, у США відповідно – 78,2 млн кВт та 270 млрд кВт·год, у Канаді – 72,7 млн кВт та 350 млрд кВт·год.

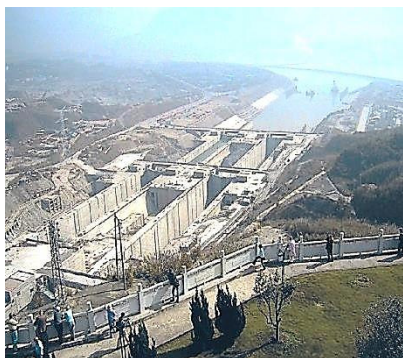


Рис. 5.10. Спорудження найпотужнішої в світі ГЕС «Три ущелини» (Китай) почалося у 1992 р.

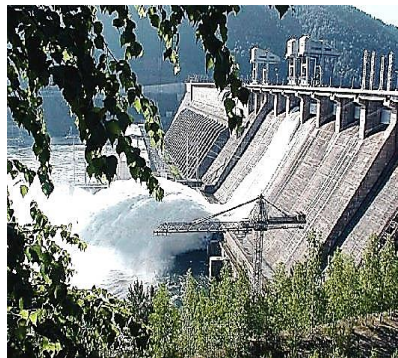


Рис. 5.11. Красноярська ГЕС – перша гідроелектростанція на річці Єнісей

В Україні за проектами Укргідропроекту, який на даний час став однією із головних міжнародних фірм, що спеціалізуються в інжинірингових послугах з проектування гідроенергетичних і водогосподарських об'єктів, будується Ташликська ГАЕС на р. Пі-

вденний Буг потужністю 900 МВт у складі Південно-Українського енергокомплексу, куди також входить Південно-Українська АЕС потужністю 3000 МВт, найбільша в Європі Дністровська ГАЕС на Дністрі потужністю 2268 МВт.

У 1990 р. потужність ГЕС досягла 65 млн кВт, а виробництво 233 млрд кВт·год і ЄСРР вийшов по встановленій потужності ГЕС на друге місце у світі після США, а з виробництва електроенергії на ГЕС – на третє місце в світі після Канади і США. Зростання потужності і виробництва електроенергії показано на рис. 5.18.

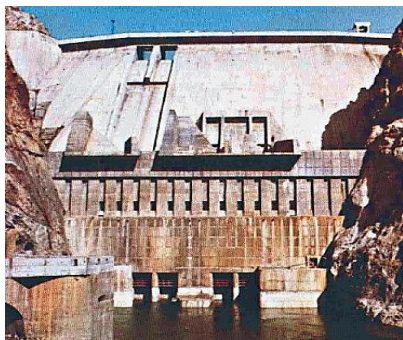


Рис. 5.12. Токтогульська ГЕС

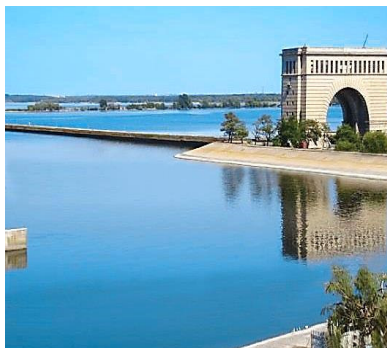


Рис. 5.13. Вид на Каховське водосховище

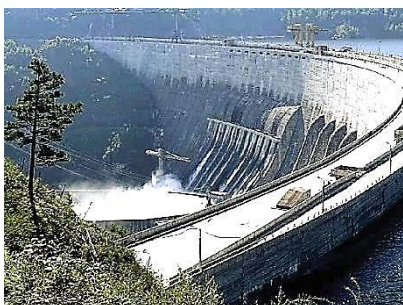


Рис. 5.14. Саяно-Шушенська ГЕС – найпотужніша ГЕС Росії



Рис. 5.15. Дністровська ГЕС. Вигляд з нижнього б'єфа

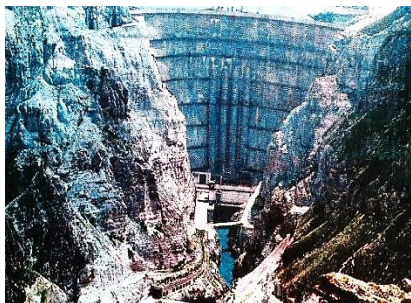


Рис. 5.16. Чиркейська ГЕС. Вигляд з нижнього б'єфа



Рис. 5.17. На будівництві Бурейської ГЕС (Амурська обл.) Росія. 2004

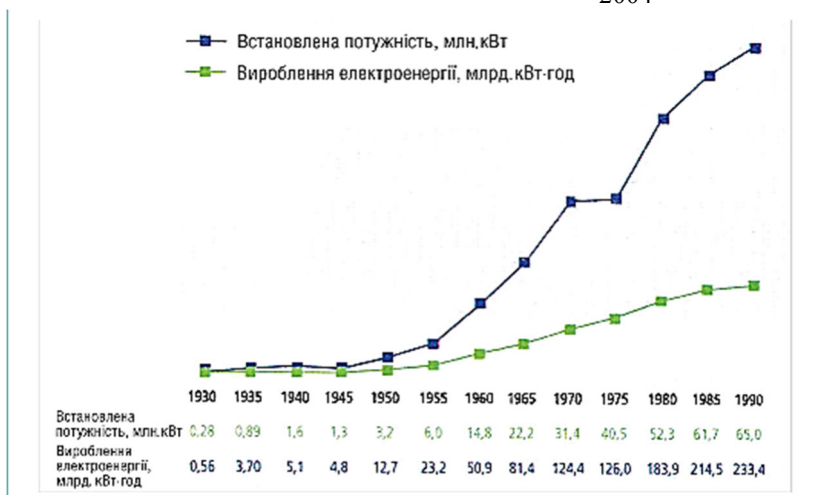


Рис. 5.18. Зростання встановленої потужності і виробництва електроенергії на ГЕС СРСР

Після розпаду СРСР у країнах СНД у період до 2000 року в умовах економічного спаду, що затягнувся, структурних змін в економіці, інвестиційної кризи різко знизилась капіталовкладення і відповідно темпи будівництва ГЕС і ГАЕС, а будівництво ряду об'єктів було законсервовано.

Так, у Росії за цей період на ГЕС було введено в експлуатацію біля 600 МВт нових потужностей, з 2001 р. ведуться роботи

з добудови і введення Бурейської, Богучанської, Усть-Середньоканської та ряду інших ГЕС, спорудження яких було розпочато до 1991 р. В Україні у 1996–2002 рр. була виконана перша черга реконструкції ГЕС Дніпровського каскаду, стала до ладу Дністровська ГЕС-2 потужністю 41 МВт на Дністрі. У 2007 р. введені в експлуатацію два агрегати Ташликської ГАЕС загальною потужністю 302 МВт, а в 2009 р. перший агрегат Дністровської ГАЕС потужністю 324 МВт, здійснюється друга черга реконструкції ГЕС Дніпровського каскаду.

5.3. Перспективи розвитку гідроенергетики

В умовах *подальшого розвитку об'єднаних енергосистем* в основному за рахунок введення великих базисних ТЕС і АЕС зростає значення ГЕС та АЕС як джерел високоманевреної потужності у регулюванні добових графіків навантажень із покриттям пікової частини та заповненням нічних провалів, у виконанні функцій аварійного і навантажувального резервів енергосистем. Із досвіду роботи об'єднаних енергосистем з переважанням потужних ТЕС або АЕС випливає, що для їх оптимальної роботи доцільно мати ГАЕС потужністю до 10–12% загальної потужності всіх електростанцій. У випадку виникнення найважчих системних аварій у таких енергосистемах, що спричинюють розвал енергосистеми, саме у першу чергу ГАЕС і ГЕС дозволяють їх запобігти або пом'якшити наслідки, швидше відновити роботу енергосистем.

ГЕС і ГАЕС у порівнянні з іншими об'єктами електроенергетики забезпечують *найефективніший процес* вироблення електроенергії при найнижчих експлуатаційних витратах і найдовшому терміну експлуатації. Враховуючи старіння з часом споруд і обладнання, важливого значення набуває реконструкція існуючих ГЕС і ГАЕС, спрямована на подальше вдосконалення технологічного процесу на основі сучасних технологій, підвищення їх потужності й виробітку, забезпечення сучасних вимог з безпеки гідротехнічних споруд та екологічної безпеки, продовження терміну служби, рис. 5.19.



Рис. 5.19. Карта українських ГЕС на Дніпрі

ність 3,94 тис. МВт із річним виробітком біля 10 мільярдів кіловат-годин електричної енергії, що в енергетичному балансі України складає 6% частка ТЕС 42–43%, АЕС – 47–48%, блок-станцій і комунальних ТЕЦ – 4%. Слід також зауважити, що в загальному електроенергетичному балансі України гідроенергетика складає лише біля 9%.



Рис. 5.20. Дніпровська ГЕС
<https://uprom.info/news/energy/ukrgi-droenergo->

Нині основою гідроенергетики України є каскад Дніпровських ГЕС, рис. 9.20, унікальність якого полягає в тому, що він розташований по Дніпру майже на тисячу кілометрів, має потуж-

ність 3,94 тис. МВт із річним виробітком біля 10 мільярдів кіловат-годин електричної енергії, що в енергетичному балансі України складає 6% частка ТЕС 42–43%, АЕС – 47–48%, блок-станцій і комунальних ТЕЦ – 4%. Слід також зауважити, що в загальному електроенергетичному балансі України гідроенергетика складає лише біля 9%.

З 1996 року, з огляду на особливу роль Дніпровської ГЕС в енергосистемі України, почата її великомасштабна реконструкція. У період 1996 до червня 2002 року проводився перший етап реконструкції всіх ГЕС «Дніпроенерго» за рахунок кредиту Світового банку, гранту Уряду Швейцарії та власних коштів, рис. 5.20.

Встановлена потужність ГЕС «Дніпроенерго» після завершення реконструкції становила 38938 МВт, у тому числі встановлена потужність Дніпровської ГЕС-1538, 2 МВт.



Рис. 5.21. Київська ГЕС,
https://uhe.gov.ua/media_tsentr/pres_kit
з екологічно чистою турбіною, додаткова потужність 5,8 МВт. При цьому досягнуто збільшення коефіцієнту корисної дії гідроагрегатів понад 4%.

З урахуванням великого неосвоєного гідроенергетичного потенціалу в світі основне гідроенергетичне будівництво із водосховищами комплексного призначення буде здійснюватись в Азії, Південній Америці та Африці у слабозвинутих країнах і країнах, що розвиваються.

У даний час у світі будуються ГЕС загальною потужністю 170 млн кВт (що складає 19% потужності ГЕС, які експлуатуються), з них ГЕС потужністю 136 млн кВт споруджуються в Азії, ще ГЕС потужністю порядку 500 млн кВт плануються до будівництва. На даний час у світі ведеться будівництво ГАЕС сумарною потужністю 30 млн кВт.

В Україні при загальній потужності ГЕС 4,6 млн кВт освоєно 60% економічно ефективного гідроенергетичного потенціалу. Потужність ГАЕС (із введенням перших агрегатів на ГАЕС, що споруджуються) складає 0,85 млн кВт (2009 р.), здійснюється бу-

Виконано повну реконструкцію 19 агрегатів (турбіна і генератор), одержано приріст потужності 88,1 МВт і приріст вироблення електроенергії 95 млн кВт·год на рік в тому числі: на Київській ГЕС – 9 агрегатів з встановленням додаткової потужності понад 40 МВт; Дніпровській ГЕС – 6 агрегатів, додаткова потужність – 42 МВт; на Каховській ГЕС – 1 гідроагрегат

дівництво двох ГАЕС: найбільшої в Європі Дністровської потужністю 2,27 млн кВт і Ташликської потужністю 0,9 млн кВт, що складає єдиний енергокомплекс з Південно Українською АЕС, проектується Канівська ГАЕС потужністю 1 млн кВт, рис. 5.22.



Рис. 5.22. Дністровська ГАЕС – нижній б’єф <https://ukr.lb.ua/society/2015>

В ОЕС України, де на ГЕС виробляється лише 6% загальної кількості електроенергії, а на АЕС біля 50%, існує надзвичайно гострий дефіцит високоманеврених потужностей, що вимагає прискорення введення в експлуатацію потужностей ГАЕС, які будуються, для покриття пікової частини і заповнення нічних провалів у графіку навантажень, забезпечення швидкодіючого аварійного і частотного резервів в ОЕС України.

І хоча при створенні водосховищ ГЕС чиниться великий вплив на рельєф, клімат, господарську діяльність людини в районах затоплення, в той же час, водосховища дозволяють вирішити питання водопостачання споживачів, розташованих як в басейні ріки, так і на значній відстані. Особливо велике значення водосховищ ГЕС Дніпровського каскаду для водопостачання маловодних районів Центру та Півдня країни. В цілому, штучно створені водосховища забезпечують 35% промислових потреб України. Так тільки Каховське водосховище забезпечує подачу води до підприємств Криворізького залізорудного басейну. Крім того раніше була можливість по Північнокримському каналу подавати воду на зрошення в Криму та водопостачання в Керч і Феодосію. Ріки з Донбасу є маловодними і основне живлення отримують з Дніпродзержинського водосховища.

У стратегії розвитку гідроенергетики на найближчі два десятиріччя Міністерство палива та енергетики України вбачає можливим введення в експлуатацію незавершених об’єктів Дністровської та Ташликської ГАЕС, які мають високий ступінь будівельної готовності, а також будівництво нових ГЕС у басейнах рік

Тиса і Верхнього Дністра в комплексі з протиповеневими заходами, рис. 5.23.



Рис. 5.23. Дністровська ГАЕС – верхнє водосховище

5.4. Класифікація малих ГЕС

Мала енергетика – це на сьогоднішній день найбільш економічне рішення енергетичних проблем для територій, що належать до зон децентралізованого електропостачання. Забезпечення енергією віддалених і енергодефіцитних регіонів вимагає значних витрат. І тут далеко не завжди вигідно використовувати потужності існуючої енергосистеми. Набагато економічніше розвивати потужності малої енергетики.

Сучасна гідроенергетика, в порівнянні з іншими традиційними видами електроенергетики, є найбільш економічним і екологічно безпечним способом отримання електроенергії.

Малі та мікро-гідроелектростанції призначені для забезпечення електричною енергією ізольованого від енергетичної системи споживача, але в окремих випадках можуть використовуватися в якості додаткового або резервного джерела електроживлення.

Мікро і малі ГЕС – надійні, екологічно чисті, компактні джерела електроенергії для сіл, хуторів, дачних селищ, фермерських господарств, а також млинів, хлібопекарень, невеликих виробництв у віддалених гірських і важкодоступних районах, де немає поблизу ліній електропередач, а будувати такі лінії зараз і довше і дорожче, ніж придбати і встановити ГЕС.

Мала або мікро-гідроелектростанція не вимагає при експлуатації постійної присутності обслуговуючого персоналу. Є успішний досвід експлуатації обладнання на перепадах вже існуючих гребель, каналів, систем водопостачання, і водовідведення промислових підприємств і об'єктів міського господарства, очисних споруд, зрошувальних систем і питних водогонів.

Мікро ГЕС включає наступні основні частини:

- Енергоблок;
- Блок навантаження;
- Пристрій автоматичного регулювання.

Для роботи гідроелектростанції будь-якого типу обов'язковою умовою є наявність напору (різниці рівнів) води. Напір може бути отриманий за рахунок різниці відміток рівнів води між:

- двома річками;
- озером і річкою;
- на одній річці, за рахунок випрямлення вигину.

Отримання напору можливо також при спорудженні греблі.

Мала гідроенергетика в Україні має всі шанси стати перспективним напрямом розвитку відновлюваної енергетики. «Зелений» тариф і наявність вже існуючої інфраструктури, що дісталася в спадок від СРСР, забезпечують інтерес інвесторів до даного сегменту ринку. Малі ГЕС можуть значно поліпшити енергопостачання віддалених і важкодоступних районів України, сприяючи їхньому економічному розвитку. Однак існує ряд факторів, які уповільнюють розвиток сегмента малої гідроенергетики, рис. 5.24.

Мала гідроелектростанція або мала ГЕС (МГЕС) – гідроелектростанція, яка виробляє порівняно малу кількість електроенергії. Загальноприйнятого для всіх країн поняття малої гідроелектростанції немає, як основну характеристику таких ГЕС прийнята їх встановлена потужність.

Найчастіше до малих гідроелектростанцій відносять гідроенергетичні установки, встановлена потужність яких не перевищує 5 МВт (Австрія, Німеччина, Польща, Іспанія та ін.). У Латвії і Швеції, малими вважають ГЕС зі встановленою потужністю до 2 МВт, в деяких інших країнах – до 10 МВт (Греція, Ірландія, Португалія). Також відповідно до постанови Європейської Асоціації Малої Гідроенергетики вважаються малими ГЕС до 10 МВт.

Згідно закону України «Про альтернативні джерела енергії» потужність мікроГЕС до 200 кВт; мініГЕС від 200 кВт до 1 МВт; малих ГЕС від 1 МВт до 10 МВт.

Всього в світі налічується близько 190 ГВт встановленої потужності згаданих категорій ГЕС, рис. 5.25 і рис. 5.26.

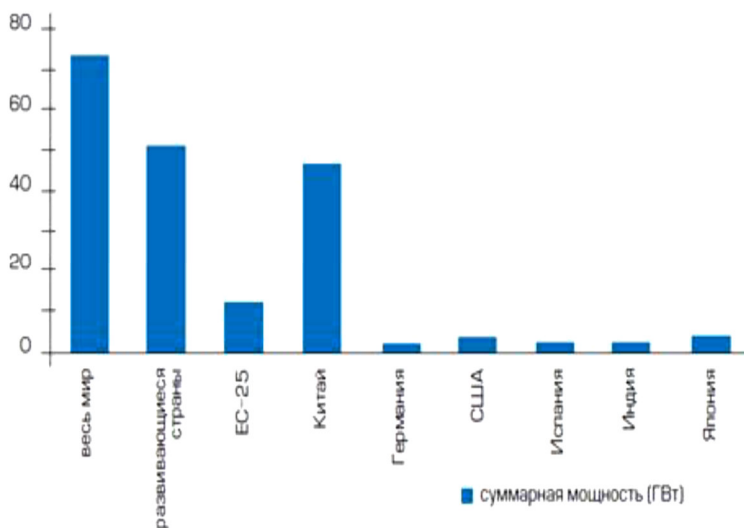


Рис. 5.24. Сумарна потужність малих ГЕС



Рис. 5.25. ГЕС «Біле вугілля»
(П'ятигорська ГЕС)



Рис. 5.26. Машинна зала ГЕС
«Біле вугілля» на річці Підкумок

5.5. Аналіз стану малих ГЕС України

Незважаючи на те, що в Україні зростає виробництво і експорт електроенергії, залишається проблема з безперебійним постачанням нею віддалених і важкодоступних районів країни. Знос обладнання на підприємствах електроенергетики становить понад 60%, а втрати електроенергії при транспортуванні досягають 12%. Використання малих ГЕС може істотно поліпшити ситуацію з енергопостачанням віддалених районів і збільшити їх енергонезалежність. Малі ГЕС можуть виступати як в ролі аварійних, так і основних джерел електроенергії, сприяючи децентралізації об'єднаної енергетичної системи.

У 50-х роках минулого століття в Україні функціонувало близько тисячі малих ГЕС. Потужність більшості з них не перевищувала кількох десятків кіловат. З розвитком централізованого енергопостачання і атомної енергетики увагу до них стало знижуватися.

На сьогодні в Україні функціонує близько 80 малих ГЕС загальною потужністю 111 МВт, що складає 5% технічно досяжного гідроенергетичного потенціалу країни. Малі ГЕС, що експлуатуються в Україні, мають потужність 0,1–7 МВт. Їх розвитку сприяє впровадження «зеленого» тарифу, який діє з 2009 року і за станом на серпень 2012-го становить 84,14 коп / кВт год (без ПДВ).

У Верховній Раді України прийняли за основу законопроект від 03.07.2012 № 10 183 про внесення змін до Закону України

«Про електроенергетику» (щодо стимулювання виробництва електроенергії з альтернативних джерел енергії), яким пропонується розділити малі ГЕС, в залежності від їх потужності, на мікро, міні і малі, а також фактично подвоїти коефіцієнт «зеленого» тарифу, встановивши його на рівні: 2,0 – для електроенергії, виробленої мікро-гідроелектростанціями; 1,6 – міні-гідроелектростанціями; 1,2 – малими гідроелектростанціями. У зв'язку з тим що діяти «зелений» тариф в Україні буде до 2029 року, все більше інвесторів звертають свою увагу на малі ГЕС.

Капіталовкладення на реконструкцію і модернізацію існуючих малих ГЕС приблизно складають 800 \$ / кВт, а на відновлення списаних ГЕС – 1–1,5 тис. \$ / кВт, що визначає термін їх окупності в межах п'яти-восьми років. При будівництві нової станції питомі капіталовкладення на 1 кВт можуть досягати \$ 2,5–4 тис., що здатне збільшити термін окупності до 12 і більше років. На відновлення недіючої малої ГЕС буде потрібно до трьох років, а будівництво нової ГЕС, з урахуванням отримання всіх дозволів і експертних висновків, може зайняти до шести років. Незважаючи на довгий період окупності і чималі капіталовкладення, собівартість введення 1 МВт на відновленої малої ГЕС залишається однією з найнижчих серед доступних альтернативних джерел електроенергії. На малих ГЕС цей показник становить приблизно \$ 0,8–2,5 за 1 Вт, для сонячної електростанції – \$ 3–3,5 за 1 Вт, а для вітрогенераторів вартість введення становить \$ 1,5–2,1 за 1 Вт.

На відміну від вітрогенераторів і сонячних електростанцій, основне обладнання для малих ГЕС виробляють на території України. Його якість не поступається продукції західних виробників, а за ціною дешевше в кілька разів. Вітчизняні виробники мають великий досвід роботи в даному напрямку і технологічні напрацювання, які важливі для будівництва нових гідроелектростанцій. Головними виробниками обладнання для ГЕС на території України є Сумське НВО ім. Фрунзе, «Турбоатом», «Южелектромаш», Полтавський турбомеханічний завод, Ніжинський ремонтно-механічний завод та ін.

В Україні діє близько 30 приватних компаній, що інвестують в поновлювану енергетику, найбільші з них: ЗЕА «Новосвіт»,

ТОВ «Енергоінвест» і ін. Інвестиції спрямовані переважно в Вінницьку, Черкаську, Хмельницьку, Тернопільську та Житомирську області. На сьогоднішній день тут розташовано 64% від загальної кількості станцій, тоді як технічний гідро-енергетичний потенціал малих річок в цих областях складає всього 14% від загального показника. Вельми перспективними є Закарпатська та Львівська області, де зосереджено близько 70% гідроенергетичного потенціалу.

На Закарпатті, в рамках реалізації першого етапу державної програми «Енергія природи», з метою поліпшення постачання регіону електроенергією, планується побудувати 330 малих ГЕС; приблизно 20 – в Львівській області та від 50 до 150 – в Івано-Франківській і Чернівецькій областях, рис. 5.27.

При всій екологічній чистоті гідроенергії стимулювання будівництва малих ГЕС без урахування впливу будівництва на навколишнє середовище призвело до неоднозначного відношення суспільства до їх зведення і виникнення соціальної напруги в західних областях України.

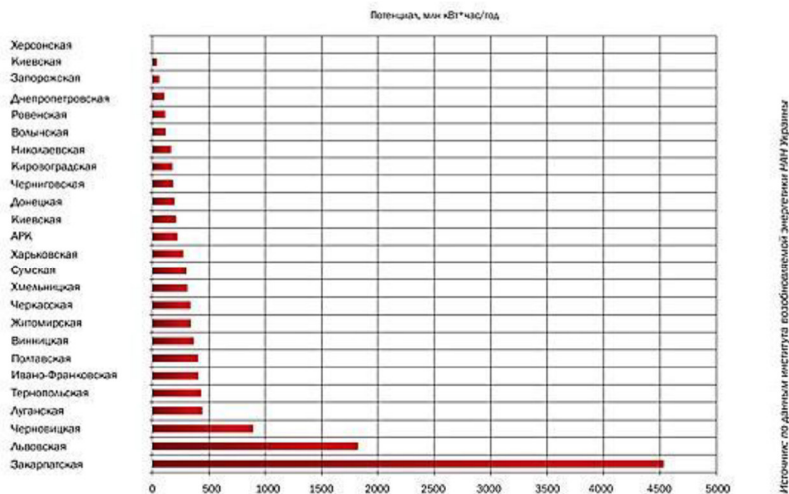


Рис. 5.27. Розподіл загального гідроенергетичного потенціалу малих річок по областям України
<http://director.com.ua/reitingi-i-statistika>

Так, в березні цього року біля Міністерства екології та природних ресурсів відбулася акція протесту проти будівництва 550 малих ГЕС у Карпатах. Протестуючі природоохоронні організації вважають, що це може привести до загибелі деяких видів флори і фауни, занесених до Червоної книги, а також завдати шкоди туристичній галузі Карпатського регіону. У зв'язку з даними ризиками, владою Івано-Франківської області прийняли рішення призупинити будівництво малих ГЕС на річках в Карпатах. Їх зведення буде можливо тільки після проведення всіх необхідних експертиз у відповідних спеціалізованих науково-дослідних установах.

Крім того, недостатність «зеленого» тарифу, що залежить від потужності малої ГЕС, – ще один стримуючий фактор розвитку галузі. Оскільки вода – це контрольований державою природний ресурс, на відміну від інших альтернативних джерел енергії (наприклад, сонця і вітру), є ризик бюрократії і тривалої процедури введення об'єктів в експлуатацію. У деяких випадках можливі проблеми і з природоохоронними організаціями.

Ринок альтернативної енергетики України вражає динамікою розвитку, яка радує, на жаль, не всіх. З одного боку, населення, ще не в повній мірі приймає економічний і альтернативний спосіб життя, неминучий для кожного вже в недалекому майбутньому. Населення, яке помилково вважає сонячні батареї і вітрові станції задоволенням не по кишені, ГЕС – небезпечними, а поновлювані джерела енергії нестабільними і нереальними для нашої держави. На тій же стороні також інтереси традиційної енергетики, які вимірюються величезною кількістю нулів, і, звичайно ж, державні. З іншого боку барикад – не виробники, як можна було б припустити, а прогрес, новації та енергетична безпека держави.

Незважаючи на деякі ризики і вищевказані фактори, переваги малих ГЕС очевидні і роблять цю галузь особливо привабливою для інвесторів. По-перше, собівартість введення 1 МВт на відновленої малої ГЕС відносно невисока. По-друге, малі ГЕС відрізняються порівняно нескладною технологією виробництва електроенергії, тривалим терміном служби і простотою в управлінні. Мала гідроенергетика має більш високу незалежність від

метеоумов, на відміну від інших джерел альтернативної енергетики, і забезпечує стабільне постачання енергією своїх споживачів. Наявність на території України існуючої інфраструктури, що включає в себе виробників основного обладнання, – ще один плюс на вагах «за» гідро, «за» альтернативну енергетику в цілому як основу енергетичної безпеки країни, рис. 5.28 і рис. 5.29. <http://director.com.ua/reitingi-i-statistika>

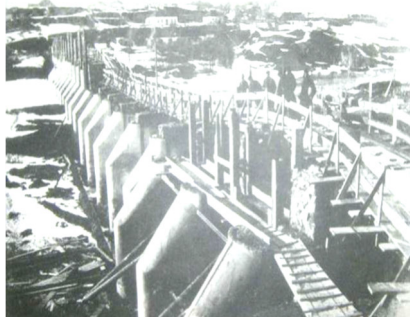


Рис. 5.28. Будівництво Корсунської ГЕС, 1934, яка стала базовою для першої в Україні сільської енергосистеми



Рис. 5.29. Глибочецька ГЕС

Корсунська станція стала основою для першої в Україні сільської енергосистеми, яка почала функціонувати в 1953 році. Крім Корсунської туди увійшли Стеблівська та Дибінська ГЕС, а також Юрковська паротурбінна станція.

Пік будівництва гідроелектростанцій припав на 1950-ті роки, а їх кількість досягла піку в 1960-і – на той час в Україні працювало близько 1 тис. малих ГЕС.

«У 1970–1980-і роки з розвитком великих теплових, атомних і гідроелектростанцій, зростанням централізації енергопостачання, а також низькими цінами на паливо і електроенергію в відомствах і підприємствах, на балансі яких перебували МГЕС, інтерес до них зник, почалася їх консервація та стихійний демонтаж», – йдеться в книзі Мала гідроенергетика.

У 2008 році в Україні працювала 81 мала ГЕС, зараз – близько сотні. На деяких з них впроваджуються сучасні технології. Наприклад, Лоташівська і Звенигородська станції управляються

дистанційно з Гордашевської ГЕС (всі – Черкаська обл.). Причому на останній крім гідроагрегату, встановлена і сонячна батарея.

Але роль «малюків» в енергетиці невелика. «Мала енергетика України через її незначну частку (0,2%) в загальному енергобалансі не може значно впливати на умови енергозабезпечення країни. В останні роки активно обговорювалося будівництво нових малих ГЕС, перш за все на гірських річках Карпат. Однак ця ідея зустріла опір екологів і протести місцевих жителів, рис. 5.30–5.32.



Рис. 5.30. Напірний трубопровід малої ГЕС дериваційного типу;

<http://korrespondent.net/ukraine/events/35001>

94

З метою зменшення собівартості виробництва електричної енергії на малих ГЕС проводиться автоматизація управління ними, зокрема Лоташевська і Звенигородська ГЕС, які розташовані в Черкаській області, вже управляються дистанційно з Гордашевської ГЕС.

В той же час, у зв'язку з відсутністю

єдиного концептуального і стратегічного погляду на темпи відродження малої гідроенергетики і програм її розвитку, існують проблеми, які стримують потенційних інвесторів. До них відносять:

- відсутність спрощеного механізму виділення земель під будівництво і реконструкцію малих ГЕС і узгодження відповідних документів;

- відсутність пільгового кредитування для потреб фінансування будівництва і реконструкції малих ГЕС;

- відсутність підтримки вітчизняного виробника турбін, генераторів, і електроенергетичного обладнання для малих ГЕС.



Рис. 5.31. Гальжбієвська ГЕС

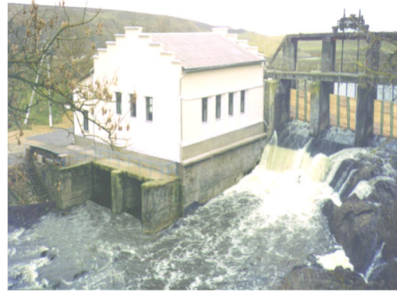


Рис. 5.32. Коржовська ГЕС

5.6. Устаткування для малих ГЕС

Серійні малі гідротурбіни

До основного технологічного обладнання ГЕС відносять гідротурбіну з органами управління, генератор з системою збудження, підвищуючий трансформатор, шафу високовольтного вимикача, тобто те обладнання, яке забезпечує технологічний процес перетворення гідравлічної енергії в електричну і видачу її споживачу.

Два приклади номограм для вибору малих гідротурбін з діючої в 50-их роках номенклатури наведені на рис. 5.33 і рис. 5.34.

З метою здешевлення обладнання і спрощення його обслуговування були розроблені нові схеми управління гідротурбіною, наприклад, з використанням циліндричного затвора замість прямого апарату і регулятори прямої дії з приводом від вала гідротурбіни, рис. 5.35 [56; 58].

На рис. 5.36–5.38 приведені установочні розміри серійних малих гідротурбін (за номенклатурою 1950 р.).

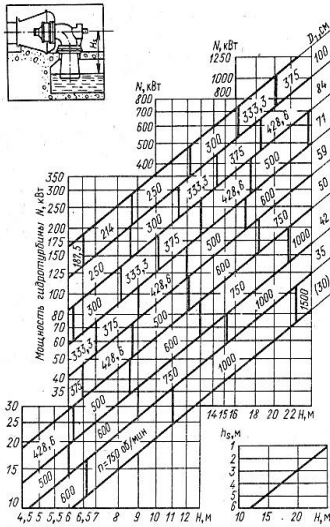


Рис. 5.33. Область застосування гідротурбін Ф 300 [56]

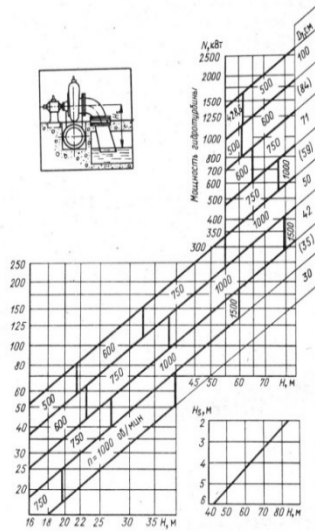


Рис. 5.34. Область застосування гідротурбіни Ф13-ГМ

Загальне число малих агрегатів, що випускалися за рік, становило 1000–1500 штук. При подальшому розвитку енергосистем з 50-х років почався процес консервації малих ГЕС. Проте в 70-х роках інтерес до них повернувся і починаючи з 1983 року знову почалися планомірні роботи і практичне використання малих ГЕС, а енергомашинобудівні заводи почали розробляти гідросилове обладнання для малих ГЕС на сучасному технологічному рівні, [56].

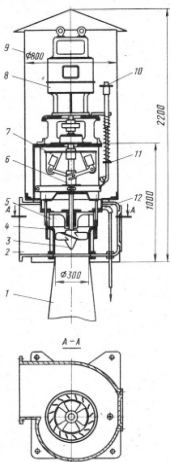


Рис. 5.35. Гідроагрегат мікроГЕС конструкції І. В. Котенева: 1 – відсмоктувальна труба; 2 – камера турбіни; 3 – робоче колесо; 4 – циліндричний затвор; 5 – напрямний апарат; 6 – муфта маятника; 7 – відцентровий маятник; 8 – генератор; 9 – кожух; 10 – штурвал ручного управління; 11 – циліндричний штурвал для зміни числа обертів; 12 – зливна труба [56]

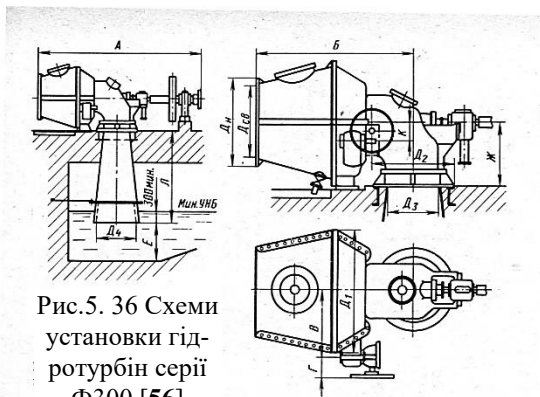


Рис.5. 36 Схеми установки гідротурбін серії Ф300 [56]

Визначення «гідросилове обладнання» об'єднує те обладнання, яке слугує для перетворення гідравлічної енергії в електричну. Виходячи з цього до силового обладнання малої ГЕС відносять гідротурбіну з регулятором частоти обертання, гідрогенератор з системою збудження і передтурбінний затвор [56].

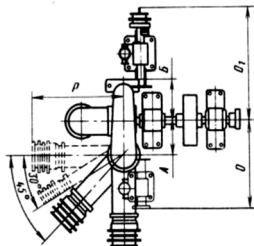
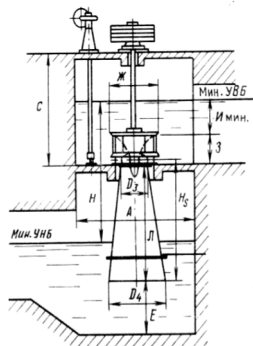
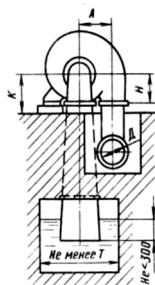
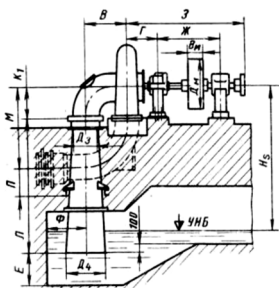


Рис. 5.37. Схеми установки гідротурбін серії Ф82-ГМ, Ф13-ГМ, Ф15-ГМ [56]

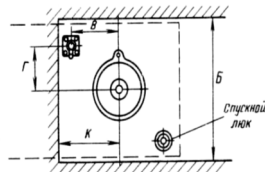


Рис. 5.38. Схеми установки гідротурбін серій ПрК70-ВО,ПрК245-ВО

Гідротурбіни ВАТ «Турбоатом»

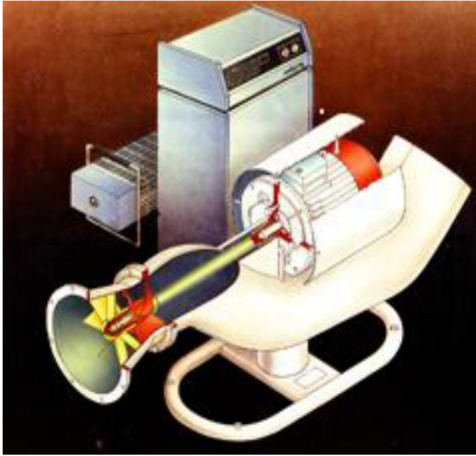


Рис. 5.39. Микро-ГЕС
ВАТ «Турбоатом» [7]

ВАТ «Турбоатом» випускає мікро-ГЕС наступної номенклатури: ПР5-Г-20; ПР7-Г-20; ПР7-Г-30; ПР7-ГС-4; ПР10-ГМ-40 потужністю від 30 до 50 кВт, рис. 5.39 і рис. 5.40.

ВАТ «Турбоатом» завершило виробництво турбін для Шахмарданської ГЕС (Ферганська обл. Узбекистан) і завершило поставку у травні 2009 року, рис. 5.41.

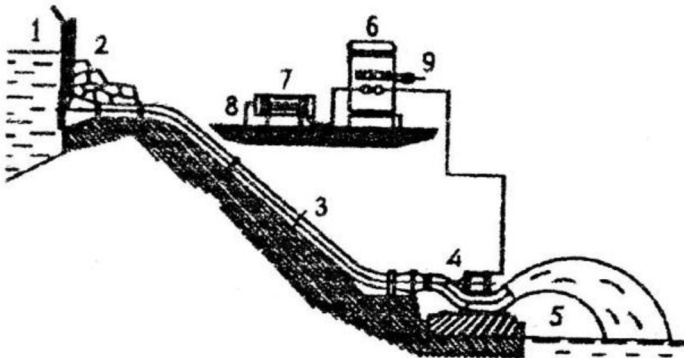


Рис. 5.40. Схема модульної мікро-ГЕС потужністю до 5 кВт на напір до 5 м [7; 60]: 1 – верхній басейн, 2 – водозабірник, 3 – напірна труба; 4 – уніфікований енергоблок з пропелерною турбіною, 5 – нижній басейн, 6 – регулятор напруги і частоти струму, 7 – автобаластне навантаження, 8 – захисне заземлення, 9 – лінія споживача

Потужність кожної гідротурбіни 1100 кВт. Особливість виробництва – це комплектне постачання, дві турбіни були повністю зібрані на заводі. Тоді як на великих агрегатах виконується по вузлове збирання і поставка. Вартість договору склала понад 1 млн 300 тис. грн.



Рис. 5.41. Малі горизонтальні гідротурбіни потужністю 1100 кВт для Шахмарданської ГЕС, ВАТ «Турбоатом»
<http://www.turboatom.com.ua/ru/press/news/10.html>

ВАТ «Турбоатом» (м. Харків) випускає турбіни – гідравлічні для малих ГЕС потужністю до 25 МВт. Потенційно зростаючим ринком, на думку експертів, є ринок мікро- і міні-гідротурбін для малих ГЕС в Україні. І останнім часом фахівці «Турбоатому» розробили гаму мікро- і міні-ГЕС потужністю 5, 10, 25, 50, 150–400 кВт. Їх використання дозволить забезпечити електроенергією віддалені від ліній електропередач об'єкти, або використовувати непродуктивні скиди води для вироблення додаткової електроенергії.

Типове гідротурбінне обладнання малих ГЕС

Енергомашинобудування, крім того, пропонує за критерій, що визначає малі ГЕС і їхнє гідротурбінне устаткування, приймати так само діаметр робочого колеса гідротурбіни й відносити

до малих гідроелектростанції з діаметром робочого колеса турбіни менші 3 м. У зв'язку з тим, що вартість устаткування для малих ГЕС може досягати половини й навіть більше загальної вартості, дуже важливим є пошук шляхів його здешевлення [58]. Виходячи з цього, основними вимогами при розробці енергетичного устаткування для малих ГЕС є:

- – уніфікація й стандартизація устаткування;
- – розробка повністю автоматизованого устаткування, що включає присутність на ГЕС чергового персоналу;
- – використання устаткування спрощеної конструкції й підвищеної надійності із застосуванням сучасних матеріалів, у тому числі антифрикційних;
- – вибір проточної частини, що забезпечує найбільше спрощення й здешевлення будівельних конструкцій без істотного зниження енергетичних параметрів;
- – забезпечення позитивної висоти відсмоктування, що дозволяє скоротити обсяг підводної частини будівлі ГЕС, здешевити і спростити провадження робіт;
- – використання гідротурбін в основному одинарного регулювання (застосування гідротурбін подвійного регулювання, і так само регуляторів частоти обертання допускається тільки при наявності спеціального обґрунтування);
- – попередня збірка устаткування на заводі-виготівнику для зниження строків і вартості монтажу на місці установки;
- – використання найсучаснішої технології для підвищення надійності в експлуатації, зниження витрат на технічний догляд, збільшення терміну служби;
- – застосування зварених конструкцій при їх мінімальній механічній обробці можливість зручного доступу й заміни деталей, що зношуються [58].

Основним типом для використання при напорах більше 25 м є горизонтальна радіально-осьова турбіна зі спіральною камерою, рис. 5.42. Оскільки при високих напорах спіральна камера відносно невелика, то розташування її у вертикальній площині

виявляється досить компактним. Турбіна при цьому опирається на будівельну частину на рівні підлоги, верхній переріз спіралі опускається нижче рівня підлоги, а решта зовнішньої поверхні спіралі виявляється не бетонованою. Таку спіральну камеру виготовляють, як правило, ливарним способом із роз'ємом в горизонтальній площині по осі турбіни. У поєднання з відповідним роз'ємом з передньої і задньої кришок турбіни це створює зручні умови для монтажу і виконання ремонтних робіт [60].

Компоновка гідроагрегату з такою турбіною представлена на рис. 5.42. Турбіна ця призначена для роботи при напорах до 140 м і може розвивати потужність до 2,6 МВт. З напірного трубопроводу вода надходить у сталеву спіральну камеру і, пройшовши напрямний апарат і робоче колесо, через відвідне коліно і відсмоктувальну трубу виходить у нижній б'єф.

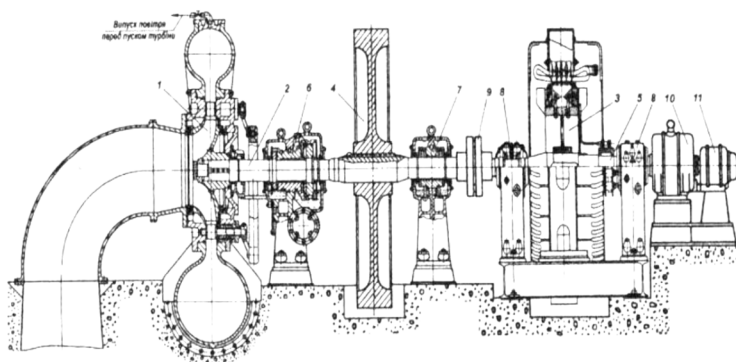


Рис. 5.42. Горизонтальний гідроагрегат із радіально-осьовою турбіною потужністю 2,6 МВт [60]: 1 – радіально-осьова турбіна; 2 – вал турбіни; 3 – генератор; 4 – маховик; 5 – вал генератора; 6 – опорно-упорний підшипник турбіни; 7 – опорний підшипник турбіни; 8 – підшипники генератора; 9 – з'єднувальна муфта; 10 – генератор системи збудження; 11 – тахогенератор

Робоче колесо посаджене на вал 2, який опирається на два підшипники: радіально-упорний 6 і опорний 7. Обертаючий момент від робочого колеса через вал передається до генератора 3. Вал 5 генератора за допомогою пружної муфти 9 з'єднаний з ва-

лом 2 турбіни і обертається в двох підшипниках 8. На валу турбіни встановлено маховик 4 для створення необхідного махового моменту й забезпечення більш стабільної швидкості обертання ротора агрегату при раптових змінах навантаження.

Уніфікований енергоблок з фронтальною радіально-осьовою турбіною потужністю до 1000 кВт і на напір до 100 м зображений на рис. 5.43 і рис. 5,44.

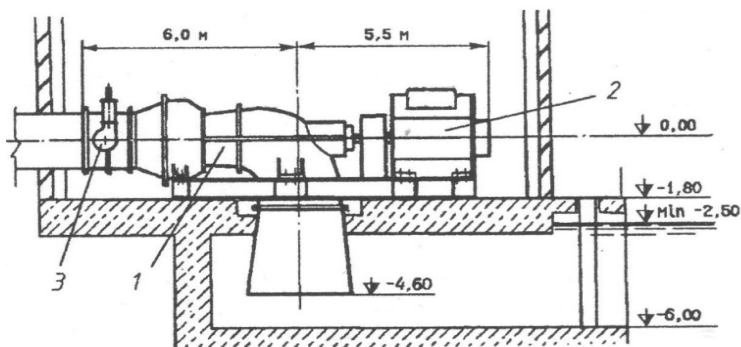


Рис. 5.43. Компонівка малого горизонтального енергоблоку з фронтальною радіально-осьовою турбіною [60]: 1 – турбіна
2 – генератор; 3 – дисковий затвор

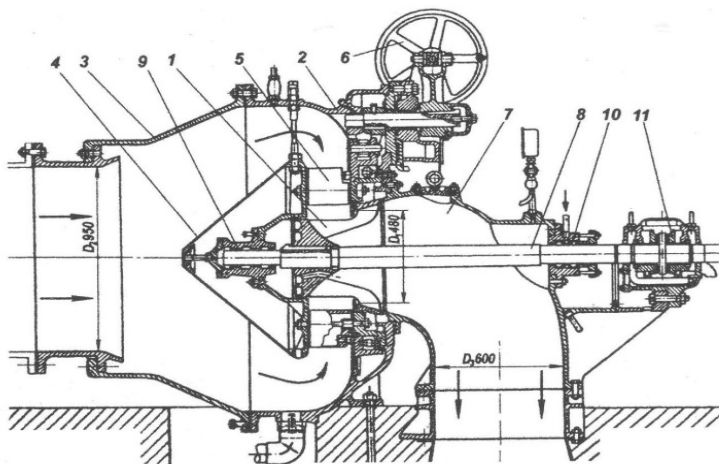


Рис. 5.44. Фронтальна радіально-осьова турбіна із розрахунковим напором $H=120$ м [60]

Одержати значну компактність малого гідроенергетичного блоку і економічність щодо будівельного простору дозволяє використання фронтальної радіально-осьової турбіни, яка показана на рис. 5.44. З рисунку видно, що важливою особливістю, яка визначає відносно малі габарити такої турбіни, є повна відсутність турбінної камери. Вода з напірного водоводу надходить до вхідного конуса 3, обходить по периметру обтічник 4 разом з верхнім ободом робочого колеса 1 і, пройшовши крізь циліндричний напрямний апарат 5, потрапляє на лопаті робочого колеса. Відводиться потік до всмоктувальної труби через коліно 7. Обертаючий момент від робочого колеса передається на ротор генератора через турбінний вал 8, який проходить крізь ущільнення 10 і спирається на опорний підшипник 9 і опорно-упорний – 11.

Регулювання турбіни часткове, не автоматизоване. Фактично – це корегування витрати через турбіну в залежності від зміни напору за допомогою ручного приводу 6, встановленого на корпусі 2 турбіни.

Компактність гідроагрегату з фронтальною радіально-осьовою турбіною, зручність його конструктивної схеми можна оцінити з рисунку 5.43, на якому зображено уніфікований енергоблок з турбіною потужністю 1000 кВт і розрахунковим напором до 100 м.

Обладнання закордонних виробників

Рядом закордонних фірм уже накопичений значний досвід розробки й виготовлення устаткування для малих ГЕС.

ЗАО «ЭНЕРГОМАШ (Сысерть) Уралгидромаш» згідно каталогу [62] виготовляють вертикальні осьові турбіни різних конструкцій потужністю від 40 кВт до 1250 кВт і радіально-осьові турбіни потужністю від 70 кВт до 10,54 МВт з вертикальним і горизонтальним розташуванням вала.

Наприклад гідротурбіна **ПР510/661-ВБ120**, рис. 5.45. Вертикальна пропелерна турбіна з діаметром робочого колеса 1,2 м. Розворот лопатей робочого колеса здійснюється приводом при короткочасній зупинці агрегату.

При роботі агрегату в загальну мережу регулювання потужності здійснюється повертанням лопаток напрямного апарата через сервомотор і маслонапірну колонку. Направний підшипник з

гумово-металевим вкладишем змащується очищеною водою. Турбіна облаштована контрольно-вимірювальними приладами і допоміжними пристроями, які забезпечують її керування.

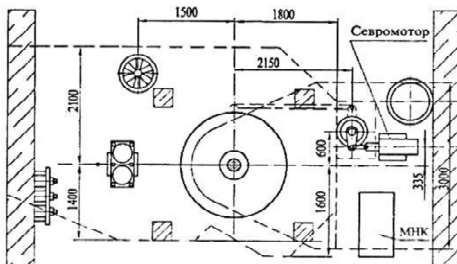
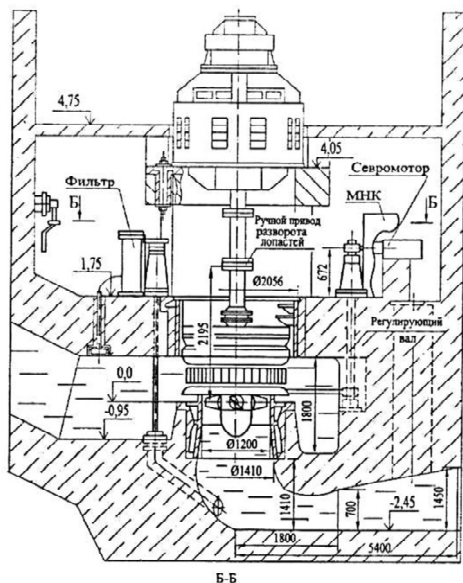


Рис. 5.45. Схема блоку з гідротурбіною ПР510/661-ВБ120 [62]

Рабочее колесо – відливка з нержавіючої сталі. Напрямний апарат, призначений для регулювання потоку води і потужності турбіни, складається з механізму повороту лопаток, який має ручний привод. Радіальні та осьові навантаження сприймає підшипниковий вузол з консистентним змащуванням.

Технічні дані

Потужність, кВт	220-1250
Напір, м	7-20
Витрата, м ³ /с	5-12
ККД _{max} , %	89
Число обертів, об/хв	300
Маса, кг	9000

Гідротурбіна РО230-ГМИ42 рис. 5.46.

Гідроагрегат с горизонтальною радіальною осьюовою гідротурбіною перетворює енергію потоку води в електричну енергію. Керування здійснюється за допомогою автоматичної системи керування та апаратури автоматики турбіни. Відвід води виконується металевою спіральною камерою з вуглецевої сталі.

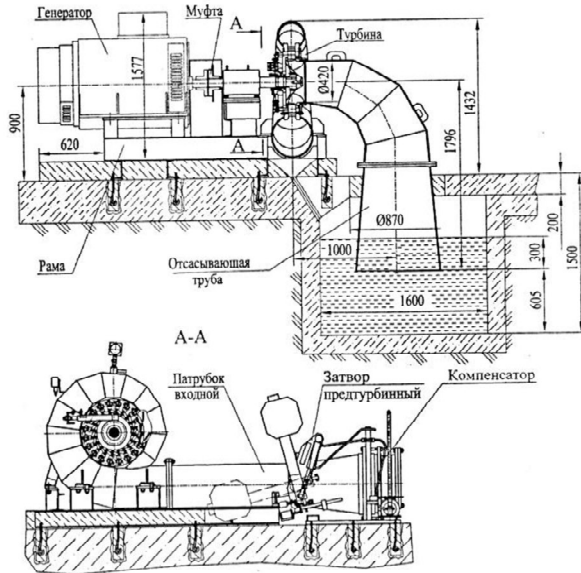


Рис. 5.46. Горизонтальна гідротурбіна РО230-ГМИ42 [62]

Для пуску і зупинки агрегату призначений передтурбінний дисковий затвор з ручним приводом, який встановлений на напірному трубопроводі. Відкриття затвора здійснюється гідравлічним приводом за допомогою ручного насоса, закриття затвору – під дією вантажу.

Технічні дані

Потужність, кВт	70–118
Напір, м	25–30
Витрата, м ³ /с	0,35–0,4
ККДмах, %	89
Число обертів, об/хв	750–1000
Маса (без генератора), кг	200

Проектуванням та розробленням обладнання для малих ГЕС займаються багато російських науково-виробничі організацій і фірм. Одна з найбільших – міжгалузеве науково-технічне об'єднання «ІНСЕТ» (Санкт-Петербург). Фахівцями «ІНСЕТ» розроблені і захищені патентами оригінальні технічні рішення систем автоматичного управління малими та мікроГЕС. Використання

таких систем не вимагає постійної присутності на об'єкті обслуговуючого персоналу – гідроагрегат надійно працює в автоматичному режимі. Система управління може бути виконана на базі програмованого контролера, який дозволяє візуально контролювати параметри гідроагрегату на екрані комп'ютера.

Гідроагрегати для малих і мікроГЕС, що випускаються МНТО «ІНСЕТ», призначені для експлуатації в широкому діапазоні напорів і витрат з високими енергетичними характеристиками і випускаються з пропелерними, радіально-осьовими і ковшовими турбінами. У комплект поставки входять, як правило, турбіна, генератор і система автоматичного управління гідроагрегатом. Проточні частини всіх турбін розроблені з використанням методу математичного моделювання, рис. 5.47.

<http://www.inset.ru/r/predm.htm>



Рис. 5.47. Обладнання компанії ІНСЕТ на МГЕС Ляскеля в Карелії,
<http://www.sdelanounas.ru/blogs/20974>

Пропелерна турбіна має найвищу швидкохідність серед всіх типів турбін. Що дозволяє при малих швидкостях потоку отримувати більш високу швидкість обертання. Високі обороти турбіни в свою чергу дозволяють застосовувати більш швидкохідні, а значить, більш легкі і дешеві електрогенератори або зменшувати витрати на мультиплікатори. Тому пропелерні турбіни за-

стосовують при найнижчих напорах, коли швидкості потоку невелика, рис. 5.48 і рис. 5.49.



Рис. 5.48. Пропелерна гідротурбіна для малої ГЕС виробництва ВАТ «ІНСЕТ», <http://aenergy.com.ua/jelektrosnabzhenie/mini-i-mikro-ges.html>

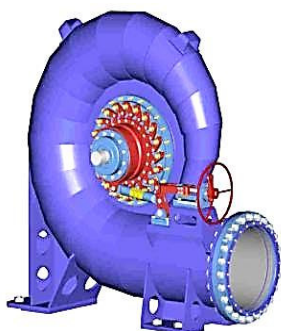


Рис. 5.49. Спірально-осьова гідротурбіна для малої ГЕС виробництва ВАТ «ІНСЕТ», <http://aenergy.com.ua/jelektrosnabzhenie/mini-i-mikro-ges.html>

ВАТ «Тяжмаш» (м. Сизрань) відновив виготовлення гідротурбін для малої гідроенергетики. Тепер розроблений ряд уніфікованих радіально-осьових гідротурбін для малих ГЕС потужністю від 300 кВт і вище, які працюють при напорах від 15 до

215 м. Комплексна поставка включає гідротурбіну, генератор, систему автоматичного управління і передтурбінний затвор, рис. 5.50.



Рис. 5.50. Радіально-осьова гідротурбіна ВАТ «Тяжмаш»,
<http://syzran.all.biz/gidroturbiny-dlya-malyh-ges-g42003#.VvhXIXqxmXg>

Кожна фірма, що спеціалізується на виробництві гідротурбін для малих ГЕС, має свою номенклатуру й нормалізований ряд параметрів гідротурбін, свої рекомендації з компонування й конструкції його елементів. Так, чехословацьким об'єднанням «Чкд-бланско» було розроблено кілька типів гідротурбін для малих ГЕС [58].

Прямоточні поворотно-лопатеві горизонтальні гідротурбіни із чотирилопатевим робочим колесом з винесеним генератором і S-образною трубою, що відсмоктує, рис. 5.51.

Лопати робочого колеса регулюються гідравлічним сервомотором з подачею масла від насосної установки електрогідравлічного регулятора.

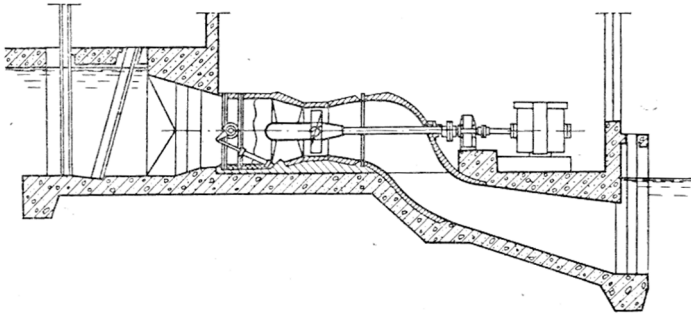


Рис. 5.51. Гідроагрегат з прямоточною горизонтальною турбіною з ви-
несеним генератором і S-подібною відсмоктувальною трубою [58]

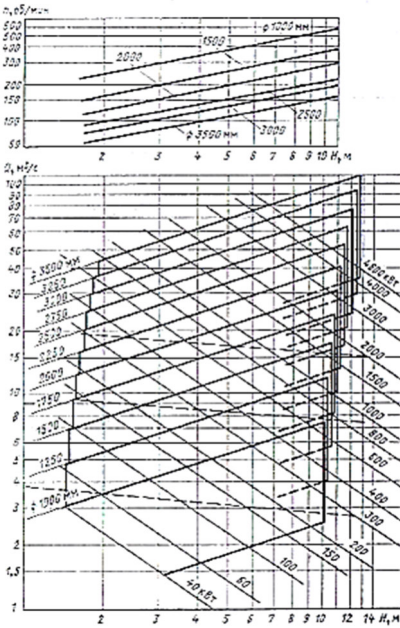


Рис. 5.52. Область застосування
горизонтальної прямоїчної
гідротурбіни з S-образною
відсмоктувальною трубою при
напорі 2–10 м

Напрямний підшипник виготовлений з тефлоновим покриттям. Корпус робочого колеса безмасляний з використанням самозмащувальних вкладишів. Гідроагрегат з такою гідротурбіною рекомендується для паралельної роботи з енергосистемою з регулюванням лопатями робочого колеса від рівня верхнього б'єфа, рис. 5.52.

Гідроагрегат може працювати теж і на індивідуальне навантаження, однак для цього випадку він забезпечується електрогідравлічним регулятором з датчиком частоти обертання, розташованим на валу гідротурбіни. Кожний гідроагрегат забезпечується так само датчиком, що подає сигнал на автоматичне відключення на закриття

аварійного затвора перед турбіною. Відкриття затвора гідравлічне під дією тиску масла, закриття здійснюється під дією власної ваги з керуванням електромагнітом.

Поворотно-лопатеві гідротурбіни із чотирилопатеvim робочим колесом для роботи під напором до 26 метрів. Напрямний апарат турбіни регульований, лопати робочого колеса повертаються лопатевим механізмом при зупиненому гідроагрегаті. Для напорів до 5 м рекомендується горизонтальне компонування (рис. 5.51), а для напорів вище 5 м – вертикальне компонування з колінчатою або конічною трубою, що відсмоктує.

Підбір гідротурбіни

Турбіну приймаємо за значеннями розрахункового напору H_p та розрахункової витрати агрегату Q_a ,

$$Q_a = Q_{ГЕС} / z, \quad (5.1)$$

де $Q_{ГЕС}$ – загальна витрата ГЕС; z – кількість агрегатів малої ГЕС, попередньо приймається $z = 2\div 3$ шт, а у випадку, якщо витрата агрегату Q_a не потрапляє в область застосування турбін, кількість агрегатів z збільшується [67]. За частковим графіком області застосування турбін, рис. 5.52, приймаємо прямоточний горизонтальний гідроагрегат з S-подібною відсмоктувальною трубою. За заданим напором H_p та витратою Q_a обираємо необхідні параметри [65].

На вісі абсцис шукаємо значення робочого напору H_p ; на осі ординат шукаємо позначку витрати Q_a . Точка перетину цих двох ліній визначає потужність турбіни N_t (кВт) і діаметр робочого колеса D (мм).

Маючи значення витрат та діаметру гідротурбіни можемо визначити частоту обертів турбіни. Для цього від позначки H_p на вісі абсцис піднімаємося вертикально вгору до прямої, яка відображає значення діаметру гідротурбіни D , а потім рухаємося по горизонталі вліво до перетину з віссю ординат і отримуємо значення n (об/хв) [65]. Приймаємо найближче значення синхронної частоти обертання (об/хв) з наступного ряду 750; 600; 500; 428,6; 375; 333,3; 300; 250; 230,8; 214,3; 200; 187,5; 166,7; 150; 142,8; 136,4; 125; 115,4; 107,4; 100; 93,7; 88,2; 85,7; 83,3; 75; 71,4; 68,2; 62,5; 60; 57,7; 55,6; 53,5; 51,7; 50; 46,9 [58].

Потужність турбіни становить (кВт)

$$N_T = 9,81 \cdot Q_a \cdot H_p \cdot \eta_T, \quad (5.2)$$

де $\eta_T = 0,9 \div 0,92$ – ККД. турбіни.

Визначаємо коефіцієнт швидкохідності турбіни, об/хв:

$$n_s = n \cdot N_T^{0,5} \cdot H_p^{-1,25}, \quad (5.3)$$

де n – кількість обертів турбіни (із параметрів підбраного гідроагрегату), об/хв. Приведена витрата гідроагрегату, м³/с, визначається

$$Q'_1 = Q_a \cdot D^{-2} \cdot H_p^{-1,5}, \quad (5.4)$$

де D – діаметр робочого колеса вибраної турбіни, м.

Висота відсмоктування турбіни

$$H_s < \frac{p_{am}}{\rho g} - \frac{p_{e.n}}{\rho g} - \sigma H, \quad (5.5)$$

де p_{am} – атмосферний тиск; $p_{e.n}$ – тиск насиченої пари рідини при заданій температурі; ρ – густина води, $\rho = 1000$ кг/м³; g – прискорення сили тяжіння, $g = 9,81$ м/с²; σ – коефіцієнт кавітації; H – напір насоса [64].

Для холодної води можливо прийняти $p_{e.n}/(\rho g) = 0,3$ м. В цих умовах допустима висота відсмоктування

$$H_s \leq 10 - \frac{\downarrow HB}{900} - \sigma_T H_p, \quad (5.6)$$

де σ_T – розрахунковий коефіцієнт кавітації; $\downarrow HB$ – абсолютна відмітка нижнього б'єфа.

$$\sigma_T = k_\sigma \cdot \sigma \quad (5.7)$$

де k_σ – коефіцієнт запасу, $k_\sigma = 1,1-1,2$ [7].

Для горизонтальних турбін

$$H_s \leq 10 - \frac{\downarrow HB}{900} - \sigma_T H_p + \Delta - 1,5; \quad (5.8)$$

де Δ – для горизонтальних турбін, $\Delta = -D/2$.

Звичайно значення σ беруться з характеристик турбін. Узагальнена залежність $\sigma = f(n_{s \text{ ном}})$ для умов номінальної (максимальної) потужності турбіни за дослідними даними показана на рис. 5.53, причому показаний діапазон можливих відхилень для різних типів турбін.

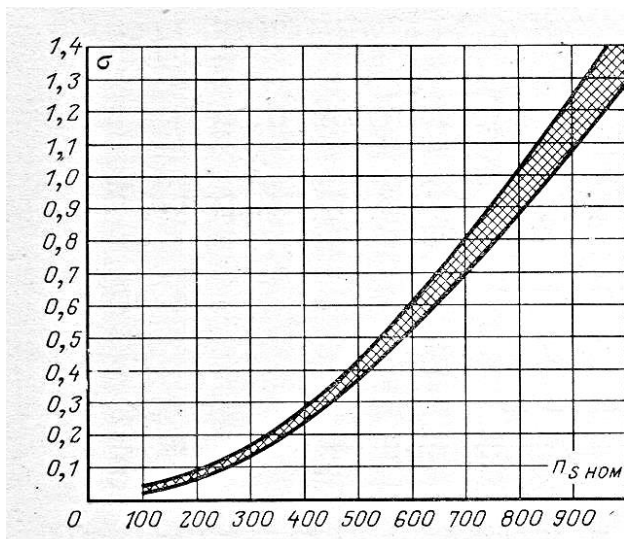


Рис. 5.53. Залежність коефіцієнта кавітації від швидкохідності при номінальному (максимальному) навантаженні [64]

Середнє значення σ для цих умов можливо визначити за емпіричною формулою [64]

$$\sigma = \frac{(n_{s\text{-ном}} + 30)^{1,8}}{200000} \quad (5.9)$$

Уточнюємо значення σ за рис. 5.52.

Відмітка осі турбіни

$$\downarrow \text{осі} = \downarrow \text{НБ} + H_S \quad (5.10)$$

Підбір електричного обладнання

На малих ГЕС можуть застосовуватись генератори змінного або постійного струму. Визначаємо потужність генератора N_T (кВт)

$$N_T = N_r \cdot \eta_r \cdot \eta_{\text{пер}} \quad (5.11)$$

де η_r – ККД генератора, який становить $0,97 \div 0,98$; $\eta_{\text{пер}}$ – коефіцієнт корисної дії механічної передачі, який рівний $0,95 \div 0,97$ [58; 67].

У цьому варіанті потужність ГЕС рівна (кВт)

$$N_{ГЕС} = z \cdot N_{Г}. \quad (5.12)$$

В теперішній час найбільше застосування на малих ГЕС отримали синхронні генератори, в яких головний магнітний потік створюється намагнічуючою силою постійного струму збудження, що машина отримує від збуджувача. Основними технічними даними таких генераторів є потужність, напруга, частота обертання, $\cos \varphi$ і частота струму, маховий момент, коефіцієнт корисної дії

Номінальна потужність є активна (дійсна) потужність генератора. Розміри генератора визначаються повною (уявною) потужністю S , кВ·А,

$$N_{Г} = S \cdot \cos \varphi = \frac{\sqrt{3}}{1000} UI \cos \varphi, \quad (5.13)$$

де $\sqrt{3}$ – коефіцієнт, який характеризує трифазну систему; U – номінальна лінійна напруга на виводах генератора, В; I – номінальна сила струму, А.

Частота змінного струму f , Гц, зв'язана з частотою обертання n генератора і числом пар полюсів p залежністю

$$f = pn/60. \quad (5.14)$$

Згідно таблиці 5.2 за активною потужністю добирають генератор і виписують його параметри.

Таблиця 5.2

Синхронні горизонтальні генератори [57]

Тип генератора	Активна потужність, кВт	Напруга, В	Сила струму, А	ККД, %	$\cos \varphi$	Маховий момент, кг·м ²	Маса, кг
1	2	3	4	5	6	7	8
ІН 472 350/12	100	400	180	89,69	0,8	36	2200
ІН 472 384/12	130	400	235	90,76	0,8	43	2400
ІН 472 422/12	160	400	289	91,75	0,8	51	2700
ІН 472 460/12	200	400	361	92,22	0,8	63	3100
ІН 490 470/12	260	400	476	92,38	0,8	75	4100
ІН 490 500/12	320	400	577	92,86	0,8	90	4000
ІН 490 540/12	400	400	722	93,13	0,8	110	5300
ІН 490 590/12	520	400	938	93,75	0,8	140	6200
ІН 540 502/12	700	6300	78	93,86	0,83	280	7900
ІН 540 530/12	800	6300	98	94,1	0,85	325	8600

продовження табл. 5.2

1	2	3	4	5	6	7	8							
ІН 540 562/12	1100	6300	119	94,43	0,85	390	9700							
ІН 540 592/12	1300	6300	147	94,76	0,85	470	11000							
ІН 580 562/12	1800	6300	206	95,26	0,8	980	15500							
ІН 580 582/12	2100	6300	241	95,14	0,8	1100	17000							
ІН 580 602/12	2400	275	95,6	0,8	1200	18500	ІН 580 630/12	2800	6300	321	95,74	0,8	1370	20000
ІН 580 630/12	2800	6300	321	95,74	0,8	1370	20000							

Інші компоновки блоків з осьовими гідротурбінами, рис. 5.54–рис. 5.55.

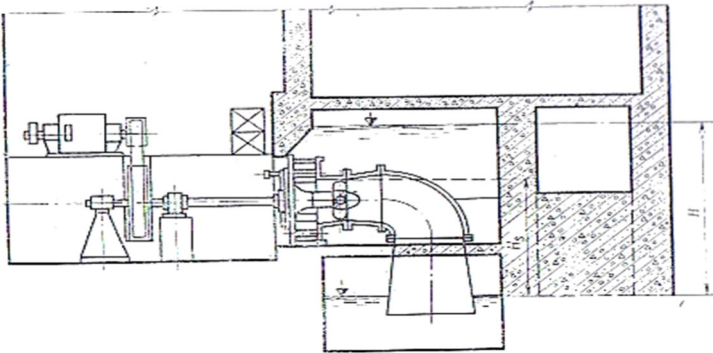


Рис. 5.54. Гідроагрегат з горизонтальною осьовою гідротурбіною і колінчастою відсмоктувальною трубою [58]

Радіально-осьові гідротурбіни на напори до 50 м з горизонтальним і вертикальним компонуванням. Горизонтальне компонування, рис. 5.54 і рис. 5.55 виконується у випадку невеликих діаметрів колеса (приблизно до 630 мм), при більших діаметрах застосовуються вертикальне компонування, рис. 5.56.

Часто застосовується спрощена конструкція турбіни, у корпусі якої функція напрямного апарата забезпечується однією регулюючою лопаткою, розташованою після входу в спіральну камеру й слугуючою одночасно механізмом закриття. Однак рекомендується використання додаткового механізму закриття перед турбіною. Радіально-осьові гідротурбіни на напори до

150 м з регульованим напрямним апаратом як у вертикальному, так і в горизонтальному виконанні.

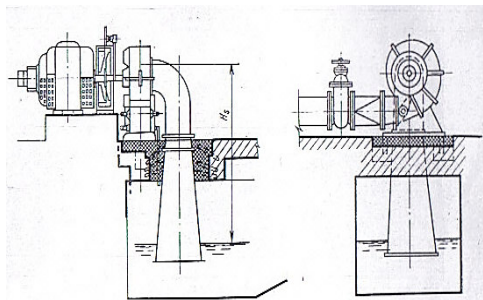


Рис. 5.55. Гідроагрегат з горизонтальною осьюовою гідротурбіною і колінчастою відсмоктувальною трубою [58]

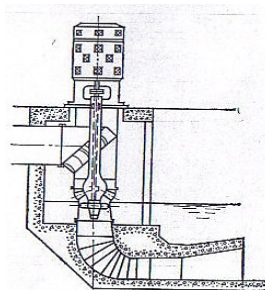


Рис. 5.56. Гідроагрегат з вертикальною осьюовою прямоюточною гідротурбіною фірми «Фуджи» Японія [58]

Коли гідроагрегат працює на ізольоване навантаження, гідротурбіна забезпечується регулятором частоти обертання, при цьому здійснюється відкриття напрямного апарата відповідно до зміни рівня верхнього б'єфа. При роботі на енергосистему турбіна забезпечується асинхронним генератором і простим регулятором відкриття тільки відповідно до рівня верхнього б'єфа. На рис. 5.55 приведена компоновка прямоюточної вертикальної осьюової гідротурбіни, яка є модифікацією горизонтальної гідротурбіни з S-образною відсмоктувальною трубою (рис. 5.51). Розміщення вала гідроагрегату може бути і нахиленим. Лопатки робочого колеса зафіксовані, лопатки напрямного апарату можуть регулюватися.

Гідротурбіни чеської фірми MAVEL

Європейський Бізнес Консорціум пропонує замовникам з Росії і країн СНД виготовлення і постачання гідротурбін потужністю від 30 кВт до 30 МВт провідного виробника світового рівня – чеської компанії MAVEL рис. 5.57.



Рис. 5.57. Гідротурбіни типу Kaplan в виробничому цеху MAVEL, <http://www.business-consortium.ru/energeticheskoe-oborudovanie/gidroturbiny>

Більшість турбін встановлених компанією Mavel – турбіни типу Kaplan. До теперішнього часу компанією було вироблено і поставлено замовникам 245 турбін типу Kaplan на такі об'єкти як Гродненська ГЕС в Республіці Білорусь – 18,87 МВт, Боутлок № 1 в штаті Массачусетс (США) – 700 кВт і на 22 гідроелектростанції (42 турбіни) в Польщі . Даний накопичений досвід дозволив компанії Mavel стати одним з найбільш передових світових фахівців в області низьконапірних гідроелектростанцій.

Турбіна типу Francis була винайдена в штаті Массачусетс в США в 1848 році. Турбіни типу Francis, вдосконалені і вироблені компанією Mavel, доступні з діаметром робочого колеса від 400 мм до 2500 мм і можуть бути встановлені в горизонтальній або у вертикальній конфігурації, рис. 5.57.

З 1993 року компанія Mavel встановила 64 турбіни типу Francis, включаючи шість турбін по 5 МВт на каскаді трьох ГЕС в Панамі на річці Piedra, із загальною встановленою потужністю 30 MW. Введення останньої малої ГЕС в експлуатацію на цьому каскаді був здійснений в червні 2013 року, рис. 5.58.

Турбіни типу Pelton, вироблені компанією Mavel, мають діаметр робочих коліс від 300 мм до 2500 мм. Дані активні турбіни

можуть використовуватися як у вертикальній так і в горизонтальній конфігурації і мати від одного до шести сопел. Використання більшої кількості сопел може забезпечити в 2–4 разів більшу потужність для даного діаметра колеса, рис. 5.59.

Мікротурбіни, вироблені компанією Mavel (типу ТМ), ідеальні для високих напорів від 1,5 до 6 метрів з витратою від 0,15 до 4,5 м³/с, з потужністю турбіни до 180 kW. У мікротурбіни немає необхідності в будівництві машинного залу і вони продаються як єдиний комплект поставки: турбіни, генератора, підведення, відсмоктувальної труби, електричної системи і системи управління. Ці пакети прості з точки зору установки і ефективні з точки зору витрат і швидкості повернення інвестицій, рис. 5.60.



Рис. 5.58. Робоче колесо з поковки гідротурбіни типу Frensis,
<http://www.business-consortium.ru/energeticheskoe-oborudovanie/gidroturbiny>

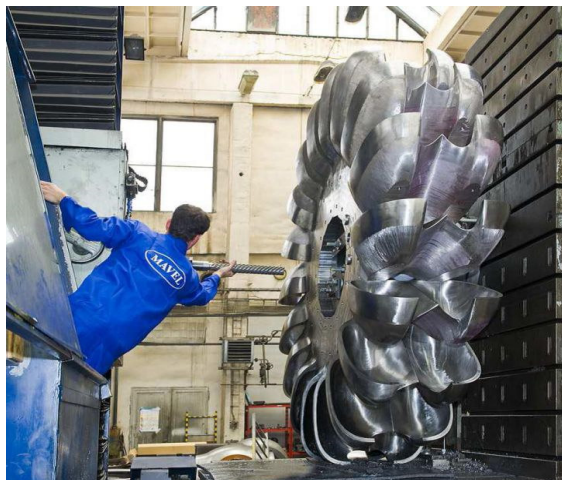


Рис. 5.59. Гідротурбіна типу Pelton – Monon,
<http://www.business-consortium.ru/energeticheskoe-oborudovanie/gidroturbiny>



Рис. 5.60. Мікрогідротурбіни MAVEL,
<http://www.business-consortium.ru/energeticheskoe-oborudovanie/gidroturbiny/>

Активна турбіна подвійної дії (турбіна Д. Банкі)

На рис. 5.61–рис. 5.63 представлена схема конструкції й комплектування агрегату з поперечно-струменевою (дворазовою) гідротурбіною (гідротурбіна «Банкі»).

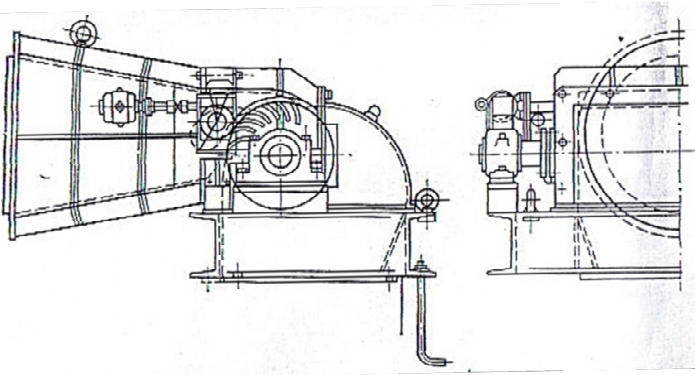


Рис. 5.61. Гідроагрегат з поперечно-струменевою гідротурбіною [18]

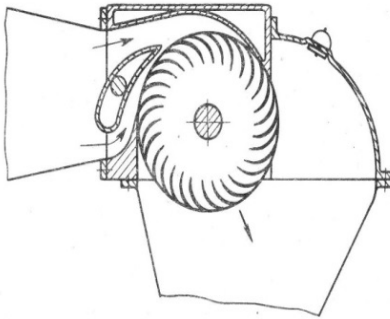


Рис. 5.62. Поперечно-струменева гідротурбіна «Банкі» [56]

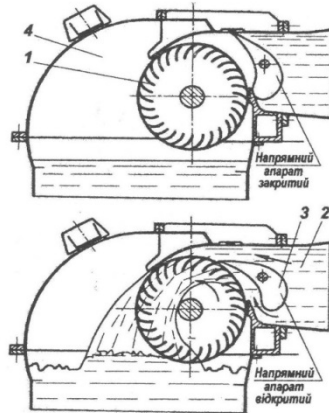


Рис. 5.63. Активна турбіна подвійної дії (турбіна Д. Банкі) [60]

Ця гідротурбіна функціонально відноситься, скоріше, до активного, ніж до реактивного класу. Особливостями її є простота конструкції й високий ККД. Найбільш ефективно застосування

поперечно-струменних турбін в умовах невеликих змін напору при значних коливаннях витрати.

В результаті експериментальних досліджень була отримана турбіна з коефіцієнтом корисної дії до 80%, придатна для промислового застосування в зоні напорів від 10 до 150 м при потужностях 10–300 кВт. Ця турбіна малогабаритна, нескладна у виготовленні й експлуатації, а зміна її розрахункової потужності при постійному напорі і швидкості обертання досягається зміною лише ширина сопла і робочого колеса.

Конструктивна схема і принцип дії двократної турбіни показана на рис. 5.62. На схемі видно, що вода через сопло 2 прямокутної перетину підводиться до напрямного апарату 3, який має одну лопатку обтічного несиметричного профілю із горизонтальною віссю повороту. Потік, обмежений евольвентною прямою стінкою, проходить крізь верхню групу лопатей всередину робочого колеса 1 і, виходячи на протилежній нижній стороні колеса у порожнину кожуха 4, діє удруге на нижню групу лопатей. Універсальна характеристика двократної турбіни представлена на рис. 5.64. Для отримання варіанту компоновки гідроагрегату з турбіною Банкі без використання проміжної передачі необхідно застосовувати генератори із оборотністю в межах $n=600\text{--}1000$ об/хв.

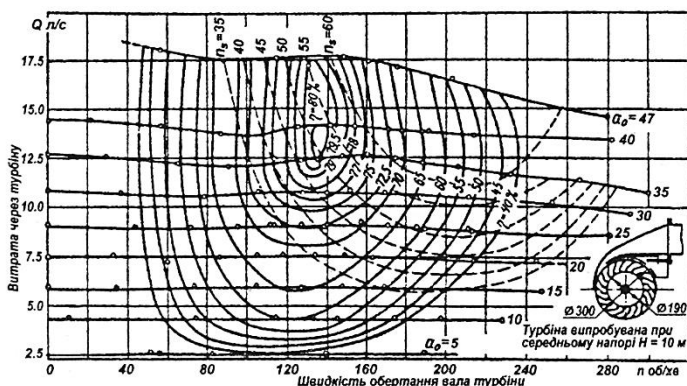


Рис. 5.64. Універсальна характеристика двократної турбіни Банкі [60]

Ківшеві гідротурбіни

На рис. 5.65–рис. 5.67 показані конструкції горизонтальних ківшевих гідротурбін. Звичайно ківшеві гідротурбіни використовуються при високих напорах, однак для малих ГЕС ці турбіни в горизонтальному виконанні ефективні й при середніх напорах (аж до 75 метрів), особливо для ГЕС, що працюють на побутовому стоці з постійним напором і значною зміною напору.

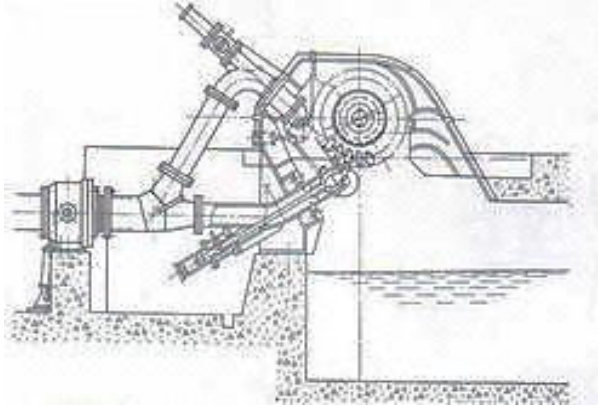


Рис. 5.65. Гідроагрегат з горизонтальною двохсопловою ківшевою гідротурбіною [58]

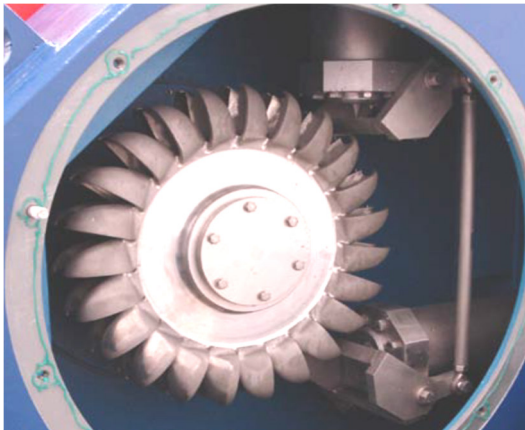


Рис. 5.66. Горизонтальна двосоплова ківшева гідротурбіна

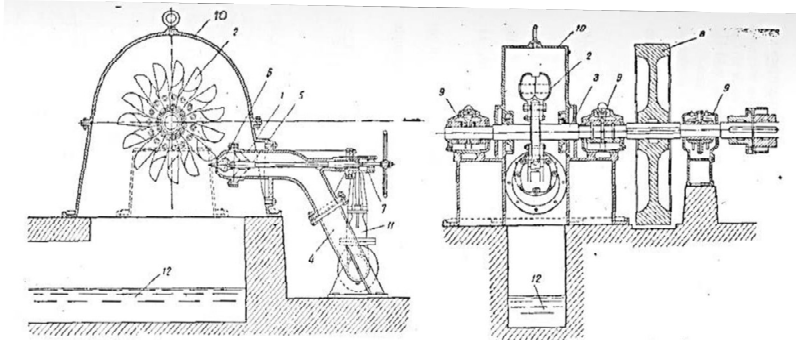


Рис. 5.67. Ківшева гідротурбіна [10]:

1 – напрямний апарат; 2 – робоче колесо; 3 – вал; 4 – патрубок напірного трубопроводу; 5 – регулююча голка; 6 – конус; 7 – механізм керування; 8 – махове колесо; 9 – опорні підшипники; 10 – кожух;
11 – засувка трубопроводу; 12 – водовідвідний лоток

Електрогенератори для малих ГЕС

Для малих ГЕС, призначених для роботи в енергосистемах, можуть бути використані як синхронні, так і асинхронні генератори (без регулятора напруги). При цьому необхідно прагнути до використання стандартних генераторів. Однак для гідроагрегатів малих ГЕС через більші осьові зусилля й високі оберти застосування стандартних генераторів, які звичайно використовують для дизельних установок, обмежено.

Приклад сучасного конструктивного виконання горизонтального гідроагрегата для спряження з горизонтальною радіально-осьовою турбіною наведено на рис. 5.68 [56].

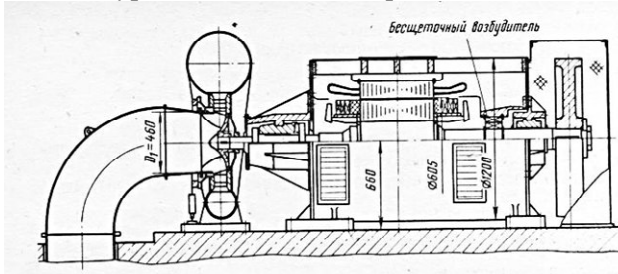


Рис. 5.68. Гідроагрегат з РО гідротурбіною потужністю 500 кВт

Ряд закордонних фірм розробили типові конструкції генераторів для малих ГЕС, на рисунку 5.69 представлена розробка японської фірми «Фуджі» типова конструкція горизонтального синхронного генератора з опорою цокольного типу, на рисунку 5.70 конструкція асинхронного генератора з консольною опорою.

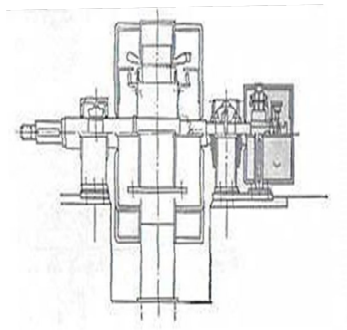


Рис. 5.69. Типова конструкція горизонтального синхронного генератора з опорою цокольного типу [58]

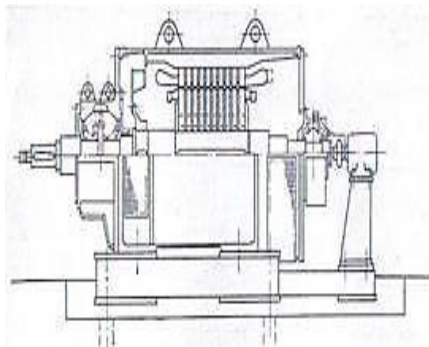


Рис. 5.70. Типова конструкція горизонтального асинхронного генератора з консольною опорою [58]

Ортогональні гідротурбіни

На існуючих в даний час низьконапірних ГЕС і приливних електростанціях (ПЕС) застосовуються осьові турбіни, у яких напірний потік води рухається уздовж осі турбіни, рис. 5.71, [56]. Кілька десятиліть експлуатації і досліджень дозволили довести конструкцію осьових турбін до високого ступеня досконалості, але вони дорогі і їх виготовлення можливо лише на спеціалізованих турбобудівних заводах.

У 1984–86 в Канаді і Японії були проведені дослідження в напірному потоці поперечно-струменевої (ортогональної) турбіни - різновиди ротора Дар'є з прямолінійними лопатями крилоподібного профілю. Однак її ККД виявився менш 40% і подальші роботи були припинені.

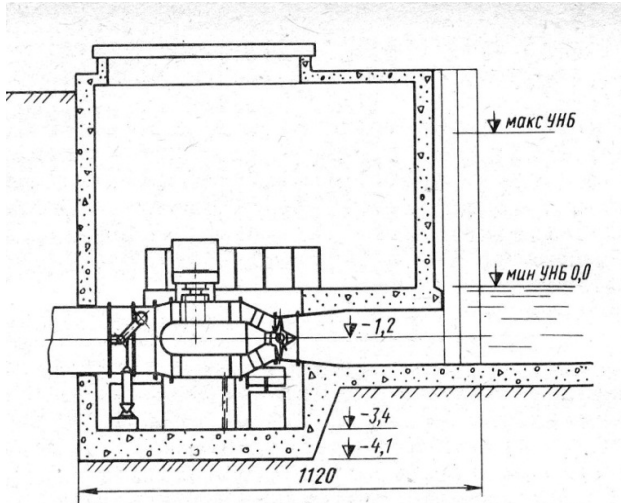


Рис. 5.71. Компонування будівлі малої ГЕС з горизонтальною капсульною гідротурбіною і винесеним в машинну залу вертикальним генератором [56]

У 1989–2000 рр. фахівці ВАТ «НІЕС», знайшовши оптимальні геометричні обриси турбінної камери і лопатевої системи ортогональної турбіни, підвищили її ККД до 60–70% (в залежності від діаметра турбіни) і довели економічну доцільність її застосування, рис. 5.72–рис. 5.74:

- - на мікроГЕС і малих ГЕС з напорами від 1 до 6 м;
- - на ПЕС з максимальними приливами до 13 м і при можливості двосторонньої роботи ортогональної турбіни.

Основні переваги ортогональної турбіни в порівнянні з осьовим:

- зниження маси (і отже вартості) агрегату до 50% при однаковій потужності;
- збільшення на 40% витрати через гідровузол при холостому режимі роботи турбіни, що дозволяє кардинально скоротити розміри водозливної греблі;
- скорочення розміру будівлі електростанції і спрощення конструкції відсмоктувальної труби;

- можливість масового виготовлення лопатей турбіни по безперервній технології та складання турбін на звичайних (нетурбінобудівних) машинобудівних заводах великими серіями, що в принципі вирішує здавалося б нескінченну проблему будівництва великих ПЕС, де проектується установка декількох сотень гідроагрегатів.

Реалізація проекту ортогональної турбіни здійснена:

- на мікро ГЕС потужністю 3,5 кВт при напорі 1,7 м;
- на Кислогубській ПЕС (в процесі підготовки проектних матеріалів);
- в ТЕО Тугурской ПЕС (потужністю 8 млн кВт);
- в проєкті Мезенской ПЕС (11,4 млн кВт), що дозволяє зменшити капітальні вкладення на спорудження ПЕС на 17% в порівнянні з затратами на ПЕС з осьовими капсульними



Рис. 5.72. Вигляд ортогональної гідротурбіни



Рис. 5.73. Робоче колесо ортогональної гідротурбіни

Днями в Красноярську була запущена в роботу експериментальна вільно-потокова ГЕС, яка розроблена вченими Сибірського федерального університету. Ця подія викликала сплеск інтересу до такого роду установкам, багато коментаторів пророкують цьому напрямку енергетики найсвітліше майбутнє. Спробуємо розібратися, що це за станції, які їхні переваги, недоліки і перспективи.

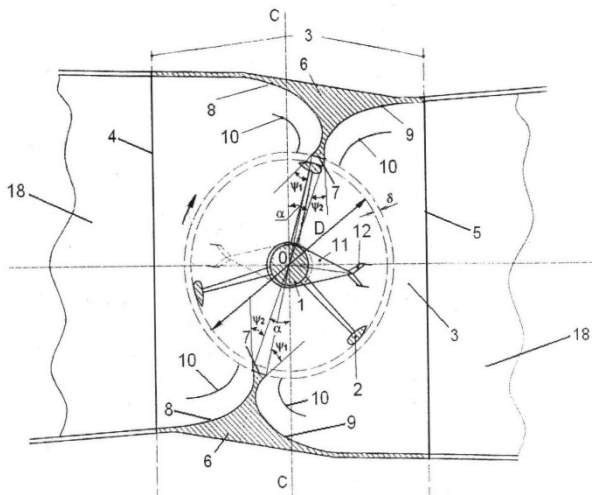


Рис. 5.74. Схема роботи ортогональної гідротурбіни: 1 – ротор, 2 – лопаті крилоподібного профілю 3 – проточна камера, 4 і 5 – відповідно вхідна і вихідна частини, 6 – виступ, 7 – циліндрична грань виступу, 8 і 9 – бокові грані, 10 – струминонаправляючий елемент (дефлектор), <http://www.findpatent.ru/patent/239/2391554.html>



Рис. 5.75. Виготовлення робочого колеса ортогональної турбіни

Принциповою відмінністю вільно-поточної ГЕС від класичної є використання ними непотенційної (створюваної греблею або деривацією), а кінетичної енергії відкритого водного потоку, рис. 5.75. Найближчий аналог – вітрова електростанція, яка аналогічним чином використовує кінетичну енергію рухомого повітря. Часто вільно-поточкову ГЕС називають безгребельною, що не цілком вірно, оскільки безгребельними є і деякі класичні ГЕС, в тому числі й досить великі – наприклад, розташовані на Ніагарському водоспаді.

Ідея використання кінетичної енергії річкової води аж ніяк не нова, більш того, найперші в історії гідравлічні машини – підливні водні колеса (норії), які використовуються вже кілька тисяч років, працюють саме таким чином рис. 5.76 і рис. 5.77.



Рис. 5.76. Вільно-потокова ГЕС, <http://blog.rushydro.ru/?p=7602>



Рис. 5.77. Норії, <http://blog.rushydro.ru/?p=7602>

Здавалося б, чого простіше – помістити робоче колесо в воду, воно крутить генератор і виробляє струм. Не потрібні дорогі греблі або дериваційні тунелі, земля не затоплюється, риби не заважають, поставити таку ГЕС можна начебто практично скрізь – маса переваг. За сотні років (особливо за останні десятиліття) і ентузіастами, і фахівцями розроблено велику кількість конструкцій вільно-потокових ГЕС. І все річки світу повинні були б давно заставлені такими спорудами – але цього не спостерігається, і поширення вільно-потокових ГЕС дуже обмежене і представлено головним чином експериментальними установками. Чому це відбувається, рис. 5. 78 і рис. 5.79.

Почнемо з фізики. Швидкість течії рівнинної річки (а вільнопотокові ГЕС пропонуються розміщувати переважно на таких річках) становить зазвичай 2-5 км / год (в паводки на 1–3 км / год більше). Знайомий з середньої школи розрахунок показує, що один кубометр води, що рухається з такою швидкістю, буде мати енергію 155–965 Дж. А тепер подивимося, яку енергію має той же кубометр води, що падає з висоти всього в 1 метр. Це 9800 Дж, тобто в 10–60 разів більше. При цьому, настільки малі напори в гідроенергетиці вважаються малоефективними і практично не використовуються. При цьому, ККД класичної ГЕС завідомо вище (зараз він становить більше 95%), а ККД вільнопоточної ГЕС навіть чисто теоретично не перевищує 60%,

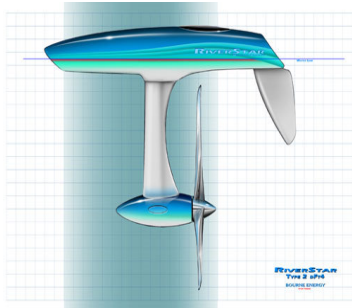


Рис. 5.78. Варіант вільно поточної ГЕС. Діаметр ротора – 6 м, <http://blog.rushydro.ru/?p=7602>

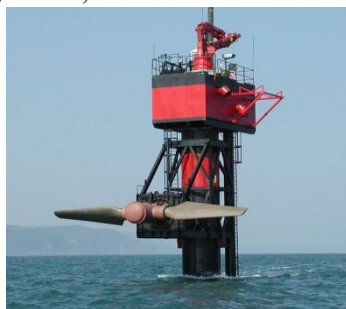


Рис. 5.79. Приливна вільно-потокова електростанція Sea Flow потужністю 300 кВт, яка запущена в 2003 р., <http://blog.rushydro.ru/?p=7602>

адже неможливо зупинити воду – вона повинна кудись діватися після виходу з турбіни; на практиці ККД виявляється ще нижче.

Таким чином, вільно-потокова ГЕС змушена використовувати низькопотенційну енергію. Це завжди менш ефективно, ніж використання високопотенційної енергії (істотно зростають витрати на одиницю потужності і електроенергії, що виробляється). На перший погляд, це не є непереборною перешкодою – в кінці кінців, потенціал енергії вітру ще менше, але вітроелектростанцій маса. Однак, вітроелектростанції вирішують цю проблему за рахунок величезного розмаху лопатей робочого колеса. Для вільно-потокової ГЕС такий шлях неможливий – глибина навіть великих річок відносно невелика, та до того ж різко змінюється в залежності від поточних показників водності, а також руслових процесів. Але в морі, такі станції можливі і існують – вони використовують енергію приливних течій (хоча теж є поки екзотикою).

Виходячи з описаного, вільно-потокова ГЕС в принципі не може мати помітної потужності, її межа – кілька кіловат (можливо, пара десятків кіловат на великих і глибоких річках). Така станція повинна бути повністю занурена під воду, причому під мінімальний меженний рівень і з хорошим запасом на товщину льоду – в іншому випадку, вона буде зруйнована льодоходом (або на період льодоставу і льодоходу її доведеться демонтувати, що накладно). Якщо річка судноплавна – станція повинна бути поза фарватеру (де, зауважимо, найбільша глибина і найбільша течія). У той же час, її не можна і просто опустити на дно – установка може бути замита донними відкладеннями. Але при будь-якому розміщенні, гарантії від пошкодження льодом такої установки на замерзаючих річках неможливо дати в принципі – адже ніхто не відміняв крижані затори і зажори, коли льодом і шугою забивається практично весь перетин русла річки.

Виходить, що зручних для установки вільно-потокових ГЕС місць не так багато, і ця установка явно потребує складних водозлазних робіт. А ще ж треба якось видати електроенергію з такої станції в мережу – потрібна прокладка підводного кабелю, окрема підстанція на березі. А як обслуговувати і ремонтувати цю

установку? Використовувати водолазів? Скільки це буде коштувати?

Отже, на виході виходить така гідроелектростанція: зовсім малопотужна, з низьким ККД, дуже металомістка, дуже чутлива до якості виготовлення (потрібна повна герметичність конструкції протягом багатьох років), складна в монтажі, ремонті та підключенні до мереж, дуже вимоглива до місця розміщення, що знаходиться під постійною загрозою руйнації льодом/ Все це технічно вирішуване, але неминуче веде до збільшення вартості як самої установки, так і її монтажу, підключення і експлуатації – і відповідно, до її економічної неконкурентоспроможності в порівнянні з іншими видами енергетики (як традиційної, так і відновлюваної). Саме тому вільно-потоківі ГЕС навіть в тепличних по відношенню до відновлюваної енергетики умовах європейських країн не отримали помітного розвитку. Кінетична енергія річок – перспективний ресурс відновлюваної енергетики, але ефективно взяти її поки що не виходить.

Фахівцями КДТУ розроблена прогресивна гранично спрощена конструкція вільно-потоківі мікро ГЕС, основними елементами якої є низькошвидкісний торцевий синхронний генератор (НТСГ) і ортогональна турбіна. Занурювальні мікроГЕС цілорічної дії зручні для невеликих селищ, геологічних партій, фермерських господарств. Вони з успіхом можуть працювати паралельно з дизельними електростанціями, істотно скорочуючи витрати дизельного палива або замінюючи останні в разі аварії.

Вільно-потоківі заглибні мікроГЕС найбільш економічні і мобільні, практично не вимагають земляних робіт. Особливістю вільно-нопопотоківі мікроГЕС є низька частота обертання турбіни, яка визначається швидкістю вільного потоку води. Залежно від швидкості річки і потужності установки турбіна вільно-потоківі мікроГЕС обертається з частотою 60–150 об/хв. Це зумовлює наявність низькошвидкісного генератора, ротор якого обертався б з тієї ж частотою 60–150 об/хв, а сам генератор був би з'єднаний безпосередньо з валом турбіни. Аналіз показує, що найбільш швидкохідної турбіною у вільному водному потоці є ортогональна турбіна. Таким чином, науково-технічна проблема –

створення вільно-потоквої мікроГЕС, економічної та надійної для споживача, рентабельною для виробника.

На даний час виготовлені дослідно-промислові зразки мікроГЕС потужністю 3 і 10 кВт, проведені їх стендові і натурні випробування.

Вільно-потоквої мікроГЕС виробляють електричну енергію напругою 220/380 В змінного трифазного струму, частотою 50 Гц. При необхідності виробляється енергія автоматично направляється на баластне навантаження, в якості якого може служити нагрівач приміщення або води рис. 5.80 і рис. 5.81.



Рис. 5.80. Вільно-потоквова занурена мікроГЕС потужністю 10 кВт,
<http://www.ideasandmoney.ru/Ppt/Details/27>



Рис. 5.81. Вільно-потоквова занурена мікроГЕС потужністю 3 кВт,
<http://www.ideasandmoney.ru/Ppt/Detail>

Гідравлічна машина Самойленка

Наступна турбіна виникла, як наслідок критичного погляду на властивості існуючих реактивних турбін. Принципово нова гідравлічна машина названа *гідравлічною машиною Самойленка*. На цей винахід одержані Патент України № 56377 від 10.01.2011 і Патент Російської Федерації № 106672 від 20.07.2011.

За принципом перетворення енергії потоку в механічну енергію роторно-лопатева турбіна відноситься до реактивного класу і абсолютно аналогічна до осьової пропелерної турбіни. І в одній і в другій водяний потік підходить до робочого колеса, рухаючись по гвинтовій траєкторії. Не змінюючи практично траєкторії,

потік проходить міжлопатевий простір і обтікає профіль лопатей. При цьому за законами гідродинаміки і у відповідності до теорій Ейлера і Жуковського вода віддає свою енергію робочому колесу, створюючи обертаючий момент на валу. Але роторно-лопатева турбіна відрізняється способом підведення потоку до робочого колеса, як видно з рисунку 5.82.

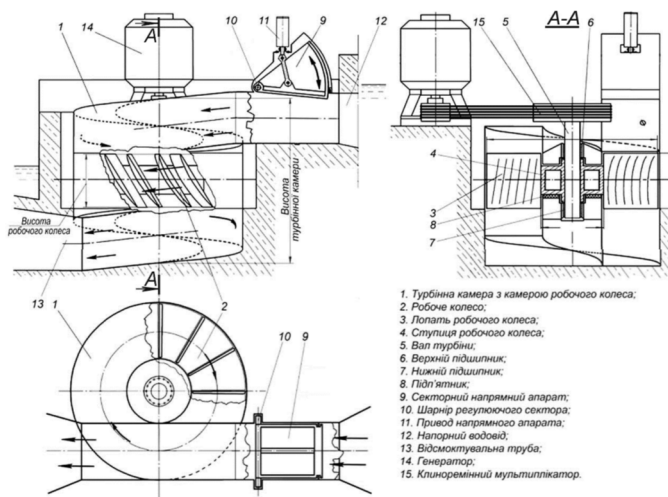


Рис. 5.82. Конструктивна схема гідроагрегату з роторно-лопатевою турбіною, [60]

До вертикальної пропелерної турбіни вода підводиться в радіальній площині, проходячи спіральну камеру, статор і напрямний апарат, і лише після цього повертає в осьовому напрямку до робочого колеса. А виходить потік з робочого колеса в осьовому вертикальному напрямі, тому для відведення необхідна вигнута відсмоктувальна труба. У роторно-лопатевої турбіни вода до робочого колеса підводиться дотично до торцевої площини *вхідних* кромek лопатей, а відводиться по дотичній від торцевої площини *вихідних* кромek лопатей. Тому виявилися зайвими спіральна камера і статор, а відсмоктувальна труба завжди пряма при будь-якому розташуванні осі турбіни. Габарити роторно-лопатевої

турбіни відносно невеликі і сумірні з діаметром робочого колеса, оскільки турбінна камера є одночасно і камерою робочого колеса.

Для регулювання витрати води через турбіну (потужності) замість багатолопаткового напрямного апарата Фінка застосовано секторний регулятор, винесений за межі власне турбіни. Такий пристрій (традиційно – напрямний апарат) відрізняється від напрямного апарата Фінка тим, що в міру відкриття сектор (або два сектори) виходить із потоку, звільняючи його перетин. У відкритому стані сектор взагалі за межами потоку і не створює йому ніякої перешкоди рис. 5.83–рис. 5.84.

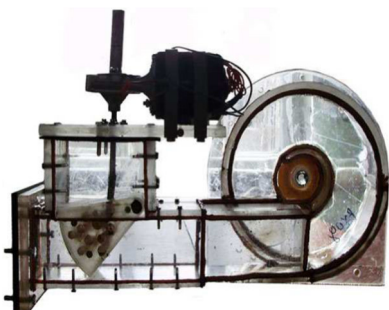


Рис. 5.83. Турбінна камера з секторним напрямним апаратом [60]

Гідроенергетичний генератор Сарра

Як правило, гідроелектростанції, які є одним з найбільш широко використовуваних джерел відновлюваної енергії, є великими промисловими об'єктами та будуються на греблях великих річок. Але недавно японська компанія Ibasei розробила суперкомпактний гідроенергетичний генератор Сарра, який призначений для установки вздовж річки або будь-якого водного шляху потужністю 250 Вт, рис. 5.85.

В основній конструкції Ibasei Сарра немає нічого нового – вода проходить через блок, лопаті обертаються і приводять в рух

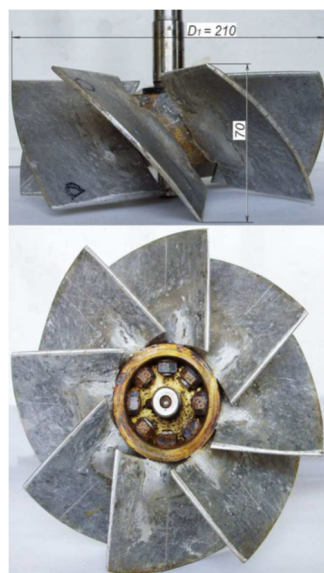


Рис. 5.84. Робоче колесо роторно-лопатевої турбіни [60]

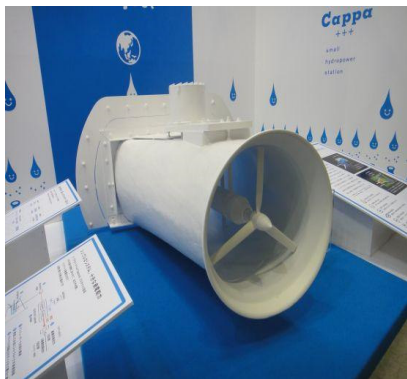


Рис. 5.85. Гідроенергетичний генератор Cappa,
<http://www.ubergizmo.com/2012/12/ibasei-cappa-generator-is-your-personal-hydroelectric-turbine>

турбіну для вироблення електроенергії. Але при цьому сам блок укладений у спеціальний дифузор, який сприяє підвищенню швидкості води в точці, де вона проходить через лопаті, і тим самим збільшує електричну потужність приладу.

Турбіни Горлова

Енергетика переймає краще у природі. А точніше – у спіралеподібних молекул ДНК. Саме їх будова стало прототипом винаходу американського вченого російського походження Олександра Горлова.

Гелікоїдна турбіна Горлова – це найбільш ефективний пристрій для отримання енергії на гідроелектростанціях, приливних станціях і навіть – в перспективі – на вітряних фермах.

Патент на свій винахід Олександр Горлов, професор Північно-Східного університету Бостона, США, отримав ще в далекому 1995 році, але продовжував удосконалити свій пристрій. Розробки завершилися зовсім недавно. А в травні 2011 року Горлов отримав престижну європейську премію «Винахідник року». Турбіна Горлова – це більш досконала модель ротора Даррьєса, винайденого ще в 1931 році. За допомогою гелікоїдної турбіни можна отримувати до 35% кінетичної енергії з води. Мінімальна швидкість потоку – півтора метра в секунду, а мінімальний обсяг води – один кубометр. А значить, невеликі пристрої можна буде встановлювати навіть на неглибоких і спокійних річках, рис. 5.86.

Гелікоїдна турбіна Горлова працює так. Її вісь розташована перпендикулярно потоку води, а лопаті турбіни – по спіралі уздовж осі. Самі лопаті за формою нагадують крило літака – таким чином, ротор обертається тільки в одному напрямку. Потоки води або повітря з максимальною ефективністю обертають лопаті, а за

рахунок спіральної форми турбіни швидкість їх обертання в два рази вище, ніж швидкість потоку.

Турбіна Горлова вже пройшла всі необхідні випробування. А тепер за її допомогою енергію видобуватимуть з Гольфстріму, найбільшої океанічної течії: проект гідроелектростанції в Флоридській протоці США вже знаходиться в розробці. Очікувана потужність електростанції – 136 мегават.



Рис. 5.86. Гелікоїдна турбіна А. Горлова,
<http://www.myenergy.ru/popular/technology/novost/full/ehnergetika-perenimaet-luchshee-u-prirody>

Плавуча мала гідроелектростанція

Зростаючий попит на енергоносії та боротьба за екологічну безпеку примушують вчених шукати нові підходи до перетворення відновлюваної енергії води в електрику. В якості варіанта застосування ГЕС для використання на річках зі швидкості течії від 1 м/с фірмою Hydro Power Smart пропонується конструкція малогабаритної плавучої малої електростанції.

Плавуча мала гідроелектростанція являє собою дві ємності, які прив'язані до берега канатом. Ці ємності закріплені одна до

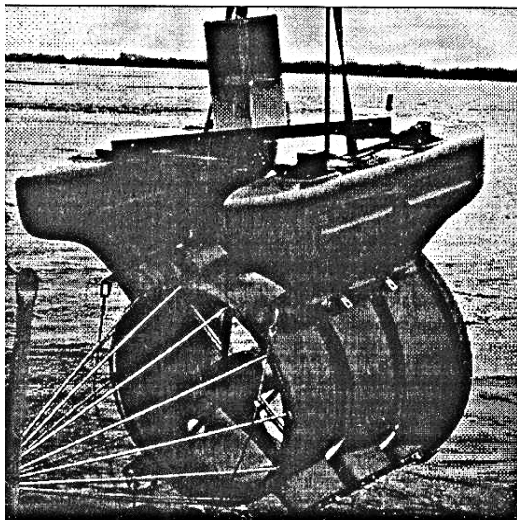


Рис. 5.87. Плавуча мини гідроелектро-станція

одної і під ними установа гідротурбіна з генератором. Для роботи такого електро-агрегата підійде навіть маленька річка шириною два метра і глибиною два метра зі швидкістю потоку води 1–10 м/с, рис. 5.87. В залежності від швидкості течії ріки турбіна мал. ГЕС буде обертатися до 230 об/хв і відповідно виробляти до 5 кВт/год електроенергії. Електроенергія кабелем передається

на берег для підключення в електричну мережу.

Малі і міні ГЕС з турбінами типу «Архімедів гвинт»

В останні декілька років широке розповсюдження отримали малонапірні малі ГЕС на основі Архімедова гвинта. Архімедів гвинт вже на протязі віків використовується, на сам перед, як насос – в кожній країні світу встановлені сотні таких гвинтів. Не зважаючи на те, що винахідником гвинта визнаний Архімед, достеменно відомо, що такі насоси ще в 250 році до нашої ери використовувалися в Єгипті для підйому води в зрошувальних системах.

Принцип роботи ГЕС на базі Архімедова гвинта прямо протилежна роботі насосів. Вода потрапляючи на турбіну зверху, своєю масою давить на поверхню гвинта. Скочуючись вниз по гвинту, вода примушує його обертатися. Встановивши на вал шнека генератор, можливо отримати електроенергію при напорі води навіть менше метра. Проте з економічних міркувань, не варто використовувати Архімедів гвинт при напорах менших

1,5 метра. При напорі води більше 8 метрів використовують декілька гвинтів, або обирають більш прийнятний тип гідротурбіни, рис. 5.88.



Рис. 5.88. Шнекова гідротурбіна (Archimedes Hydropower)
<http://hydromew.pl/>

Максимальна витрата води, яка протікає через турбіну, визначається діаметром шнека. Так в малій гідроенергетиці найчастіше використовують Архімедів гвинт діаметром 1 метр, який здатен пропустити 250 л/с. Шнек діаметром 5 метрів пропускає до 15 м³/с. Практично напрацювання показують, що будувати гідроелектростанцію з діаметром гвинта більше трьох метрів недоцільно, більш вигідно застосовувати паралельно декілька турбін меншого діаметра.

Звичайно Архімедів гвинт обертається зі швидкістю 26 обертів за хвилину. Для з'єднання зі стандартними електрогенераторами використовують коробки передач (редуктори), які збільшують швидкість обертання до стандартної 1500 об/хв. З точки зору економічної ефективності Архімедів гвинт встановлюють під кутом 22° до горизонту рис. 5.89 і рис. 5.90.

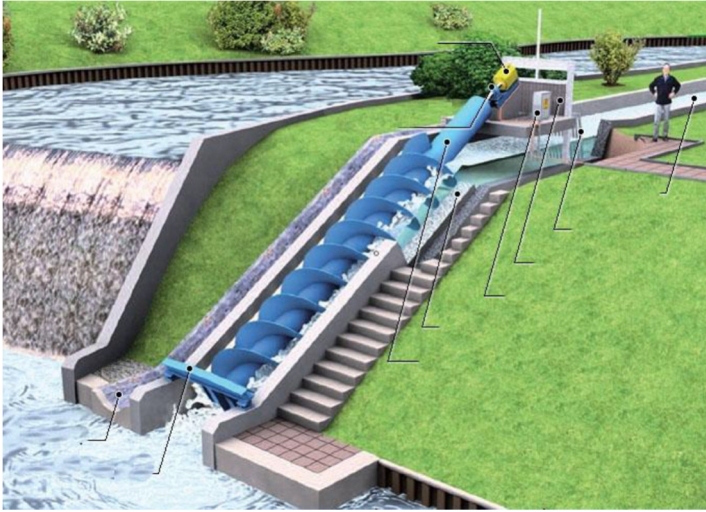


Рис. 5. 89. Схема малої ГЕС з турбіною типу «Архімедів гвинт»



Рис. 5.90. Зовнішній вигляд шнекової турбіни

Архімедів гвинт має багато незаперечних переваг:

- Проектний строк експлуатації гідроелектростанції становить не менш 30 років. При умові капітального ремонту шнеку

ГЕС може послугувати необмежений час.

- Великі розміри гвинта і мала швидкість його обертанням дозволяють риbam і крупному сміттю без шкоди для споруди подолати ГЕС. Не має необхідності очищати воду.

- Оскільки риби з легкістю і без шкоди для себе долають Архімедів гвинт такі ГЕС рахуються екологічно безпечними відновлювальними джерелами енергії.

- Оскільки Архімедів гвинт не має зливу і відстійників, а на вихідній стороні турбіни достатньо лише незначного бетонування, вартість будівництва малої ГЕС виявляється достатньо дешевою.

Переваги малих гідроелектростанцій

Сучасна гідроенергетика в порівнянні з іншими традиційними видами електроенергетики є найбільш економічним і екологічно безпечним способом отримання електроенергії. Мала гідроенергетика йде в цьому напрямку ще далі. Невеликі електростанції дозволяють зберігати природний ландшафт, навколишнє середовище не тільки на етапі експлуатації, але і в процесі будівництва. При подальшій експлуатації відсутній негативний вплив на якість води: вона повністю зберігає початкові природні властивості. У річках зберігається риба, вода може використовуватися для водопостачання населення. На відміну від інших екологічно безпечних поновлюваних джерел електроенергії – таких, як сонце, вітер, – мала гідроенергетика практично не залежить від погодних умов і здатна забезпечити стійку подачу дешевої електроенергії споживачу. Ще одна перевага малої енергетики – економічність. В умовах, коли природні джерела енергії – нафта, вугілля, газ – виснажуються, постійно дорожчають, використання дешевої, доступної, відновлюваної енергії річок, особливо малих, дозволяє виробляти дешеву електроенергію.

До того ж спорудження об'єктів малої гідроенергетики низькозатратне і швидко окуповується. Так, при будівництві малої ГЕС встановленою потужністю близько 500 кВт вартість будівельно-монтажних робіт складає близько 3–5 млн грн. При суміщеному графіку розробки проектної документації, виготовлення об-

ладнання, будівництва та монтажу мала ГЕС вводиться в експлуатацію за 15–18 місяців. Собівартість електроенергії, що виробляється на подібній ГЕС в 1,5 рази нижче, ніж вартість електроенергії, фактично реалізованої енергосистемою. До речі, в найближчі один-два роки енергосистеми планують її збільшити в 2–2,2 рази. Такім чином, витрати на будівництво окупляться за 3,5–5 років. Реалізація такого проекту з точки зору екології не завдасть шкоди навколишньому середовищу.

Необхідно відзначити, крім цього, що реконструкція виведеної раніше з експлуатації малої ГЕС обійдеться в 1,5–2 рази дешевше. <http://www.inset.ru/r/predm.htm>

Крім того, в порівнянні з більш великими гідроелектростанціями МГЕС не потребують зони затоплення, а отже, відразу відпадає цілий оберемок складних екологічних та соціальних проблем.

До переваг малої гідроенергетики можна віднести низьку собівартість електроенергії та експлуатаційні витрати, відносно недорогу заміну обладнання і більш тривалий термін служби ГЕС.

5.7. Енергія водних ресурсів

Використання енергії океану



Рис. 5.91. Енергія хвиль океану

Світовий океан містить велетенський енергетичний потенціал. Це, по-перше, енергія Сонця, поглинута океанською водою, що виявляється в енергії морських течій, хвиль, прибою, різниці температур різних шарів морської води і, по-друге, енергія тяжіння Місяця й Сонця, яка спричиняє морські припливи й відпливи. Ви-

користується цей великий і екологічно чистий потенціал ще вкрай мало, рис. 5.91 і рис. 5.92.

Під впливом Місяця та Сонця в океанах і морях збуджуються припливи, які спричинюють періодичні коливання рівня води при



Рис. 5.92. Енергія морських хвиль

її горизонтальному переміщенні. Відповідно енергія припливів складається з потенційної енергії води та кінетичної енергії хвиль. За розрахунками, вся енергія припливів Світового океану оцінюється у 1 млрд кВт, тоді як сумарна енергія всіх річок земної кулі дорівнює 850 млн кВт. Отже, величезна енергетична потужність

морів і океанів дуже цінна для людини [3].

Століттями загадкою була причина морських припливів і відпливів. Сьогодні достовірно відомо, що ритмічний рух морських вод викликають сили тяжіння Місяця і Сонця,

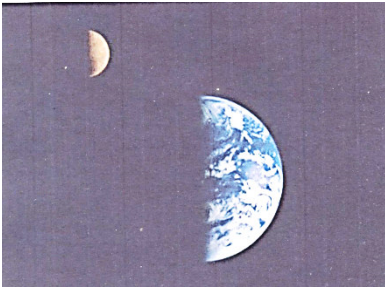


Рис. 5.93. Сила гравітації Місяця відповідає за припливи на планеті Земля. Знімок зроблений супутником Галілей із відстані приблизно 6,2 млн км від Землі. 16 грудня 1992. Джерело NASA

рис. 5.93. Припливи – результат гравітаційного притягання великих мас води океанів Місяцем і, меншою мірою, Сонцем. При обертанні Землі частина води океану піднімається і якийсь час утримується в цьому положенні гравітаційним притяганням. Під час припливу максимальний рівень підйому води досягає суші. Подальше обертання Землі послаблює вплив Місяця на цю частину океану, і приплив спадає. Припливи і відпливи повторюються двічі на добу, хоча точний час їх настання змінюється залежно від сезону і положення Місяця.

Якщо Місяць, Сонце і Земля знаходяться на одній прямій, то Сонце своїм тяжінням підсилює дію Місяця, – відбувається сильний приплив. Коли ж Сонце стоїть під прямим кутом до відрізка

Земля-Місяць (квадратура), то настає слабкий приплив (мала вода). Період зміни сильного і слабого припливів – сім днів. Проте на рух припливів і відпливів впливають особливості руху небесних тіл, характер берегової лінії, глибина води, морські течії і вітер. Середня висота припливу становить лише 0,5 м, за винятком тих випадків, коли водяні маси переміщуються у відносно вузьких межах. Тоді висота хвилі може у 10–20 разів перевищувати нормальну висоту припливного підйому, рис. 5.94.

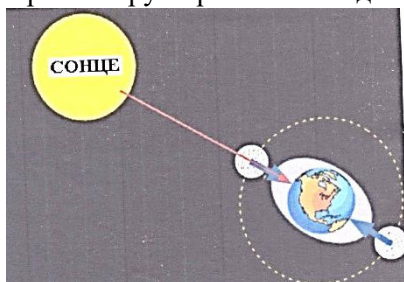


Рис. 5.94. Сили, що сприяють утворенню припливів [3]

https://pidruchniki.com/1881092137976/ekologiya/energiya_moriv_okeani

Припливні ГЕС

Найвищі і найсильніші припливні хвилі виникають у невеликих і вузьких затоках або гирлах річок, що впадають у моря і океани. Наприклад, припливна хвиля Індійського океану йде проти течії Гангу на відстань 250 км від його гирла. Припливна хвиля Атлантичного океану підіймається на 900 км вгору Амазонкою.

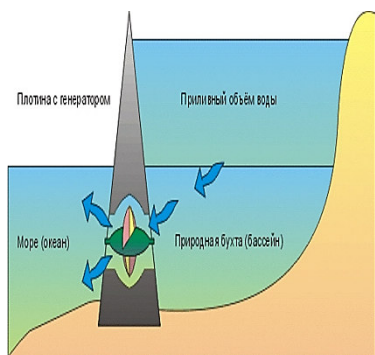


Рис. 5.95. Принцип роботи припливної гідроелектростанції

У закритих морях, наприклад, Чорному або Середземному, виникають малі припливні хвилі. Найбільш придатними для використання енергетичного потенціалу є ті ділянки морського узбережжя, де припливи мають велику амплітуду, а контур і рельєф берега дають змогу влаштувати великі замкнуті «басейни», рис. 5.95.

Потужність електростанцій в деяких місцях могла б скласти 2–20 МВт.

Це перша припливна електростанція в світі, побудована в 1967 році. Різниця припливів і відливів в цьому місці сягає в середньому 8 метрів, максимальне значення – 12 метрів. 24 генератора діаметром 5,35 метра і масою 470 тонн, потужністю 10 МВт



Рис. 5.96. Дамба першої в світі припливної електростанції в гирлі річки Ранс. Франція



Рис. 5.97. Найпотужніша припливна електростанція (240 МВт), Rance Tidal Barrage, Бретань, Франція,
http://www.journal.esco.co.ua/2011_8/art180.htm

кожен, забезпечують 240 МВт потужності, рис. 5.96 і рис. 5.97.

ПЕС «Ля Ранс», побудована в естуарії річки Ранс (Північна Бретань) має найбільшу в світі дамбу, її довжина становить 800 м. Гребля також служить мостом, по якому проходить високошвидкісна траса, що з'єднує міста Сен-Мало і Дінард. Потужність станції становить 240 МВт, рис. 5.98. Перевагами ПЕС є екологічність і низька собівартість

виробництва енергії. Недоліками – висока вартість будівництва і змінюється протягом доби потужність, через що ПЕС

може працювати тільки в складі енергосистеми, яка має достатню потужність електростанцій інших типів.

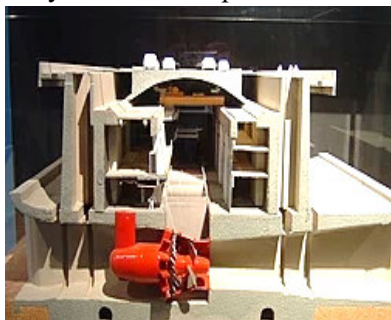


Рис. 5.98. Макет припливної ГЕС
ЛЯ РАНС
[https://www.maria-online.us/home/
article.php](https://www.maria-online.us/home/article.php)



Рис. 5.99. Сихвинская ПЭС,
Південна Корея 핑크로즈 -
[http://blog.naver.com/pfmu-
sic/10122410431](http://blog.naver.com/pfmu-sic/10122410431)



Існує думка, що робота приливних електростанцій гальмує обертання Землі, що може привести до негативних екологічних наслідків. Однак з огляду на наявність колосальної маси Землі кінетична енергія її обертання (~ 10 Дж) настільки велика, що робота приливних станцій сумарною потужністю 1000 ГВт буде збільшувати тривалість доби лише на ~ 10 секунди на рік, що на 9 порядків менше природного приливної гальмування ($\sim 2 \cdot 10^3$ з на рік).

Нині ПЕС побудовані і вже років 20–25 успішно працюють на трьох континентах: промислова Ранс на узбережжі Ла-Маншу (Франція) потужністю 240 МВт, дослідні – Кислогубська у Кольській затоці (Росія) потужністю 400 кВт, Цзянсян потужністю 3,2 МВт (Китай) та Аннаполіс потужністю 20 МВт (Канада).

Інші відомі станції: південнокорейська Сихвинская ПЕС (потужність 254 МВт) – найбільша ПЕС у світі, британська Сиджен, канадська ПЕС Аннаполіс і норвезька ПЕС Хаммерфест, рис. 5.99.



Рис. 5.100. Кислогубська припливна ГЕС, <http://energetika.in.ua/ru/books/book-5/part-1/section-2/2-5>



Рис. 5.101. Кислогубська ПЕС

світі – проектна потужність 87 ГВт.



Рис. 5.102. Припливна ГЕС в Північній Ірландії

У Росії с 1968 року діє експериментальна Кисло-Губська ПЕС в Кислий губі на узбережжі Баренцевого моря. На 2009 рік її потужність становила 1,7 МВт, рис. 5.100 і рис. 5.101. На етапі проектування знаходиться Північна ПЕС в губі Довга-Східна на Кольському півострові потужністю 12 МВт. За радянських часів також були розроблені проекти будівництва ПЕС в Мезенській губі (потужність 11000 МВт) на Білому морі, Пенжинській губі і Тугурской затоці (потужністю 8000 МВт) на Охотському морі, в даний час статус цих проектів невідомий, за винятком Мезенської ПЕС, включеної в інвестпроект РАО «ЄЕС». Пенжинська ПЕС могла б стати найпотужнішою електростанцією в

Інший варіант ПЕС дозволяє взагалі обходитися без греблі – на дні моря недалеко від берега встановлюються генератори з лопатями (на зразок вітряків), які під час припливів / відливів обертаються водою, рис. 5.102. Перша в світі комерційна припливна електростанція «SeaGen», розроблена компанією «Marine Current Turbines» (МСТ), встановлена в Північній Ірландії в вузькій морській затоці Лох-Стренгфорд, в



Рис. 5.103. Найпотужніша в світі приливна турбіна (1,2 МВт), Турбіна SeaGen, Стренгфорд Лаф, Ірландія,
http://www.journal.esco.co.uk/2011_8/art180.htm



Рис. 5.104. Приливна проточна електростанція;
<https://sites.google.com>

якому швидкість потоку води при припливі і відпливі може перевищувати чотири метри в секунду Ця ПЕС підключена до національних енергомереж. Її потужність 1,2 МВт, рис. 5.103 і рис. 5.104.

<http://ener-getika.in.ua/ru/books/book-5/part-1/section-2/2-5>

Ефективність використання відновлюваної енергії великих ПЕС може бути досягнута в умовах об'єднаних енергосистем при спільній роботі з ТЕС, АЕС, ГЕС і ГАЕС, завдяки чому при переривчастій роботі ПЕМ в добовому циклі може забезпечуватися її оптимальне вписування в графік навантаження енергосистеми.

Так, в період видачі максимальної потужності ПЕС (при максимальній величині припливу) ГЕС з регулюючими водосховищами можуть відповідно знижувати свою потужність і за рахунок цього збільшити потужність і вироблення в період пікової частини графіка навантажень, в період роботи в насосному режимі ПЕС використовує надлишкову енергію ТЕС і АЕС.

<http://ener-getika.in.ua/ru/books/book-5/part-1/section-2/2>

Використання енергії хвиль

Пристрої термінатори. Розміщуються перпендикулярно напрямку руху хвилі, ці пристрої зазвичай є береговими або прибережними, рис. 5.105.

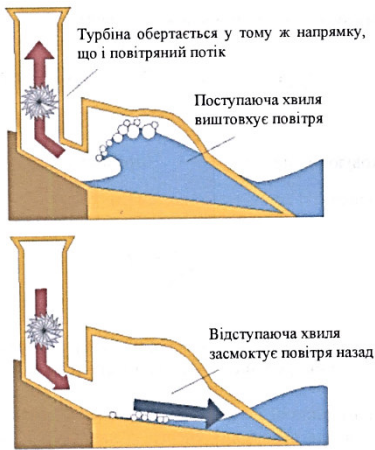


Рис. 5.105. Хвильові термінатори

Архімедові буї, і залізні водорості, і навіть такі фантастичні споруди, як австралійський Oceanlinx, рис. 5.106 і рис. 5.107.



Рис. 5.106. Австралійський перетворювач енергії хвиль типу Oceanlinx

Водна колона, що створює постійне коливання, притаманна термінаторам, у яких вода вводиться через відкритий отвір. Дія хвилі змушує захоплену водну колону просуватися вперед і вниз подібно до поршня, тим самим спричиняючи рух повітря, яке обертає турбіну [3].

Для перетворення механічної енергії хвиль води були запропоновані різні схеми: це і «традиційні» підводні турбіни, і

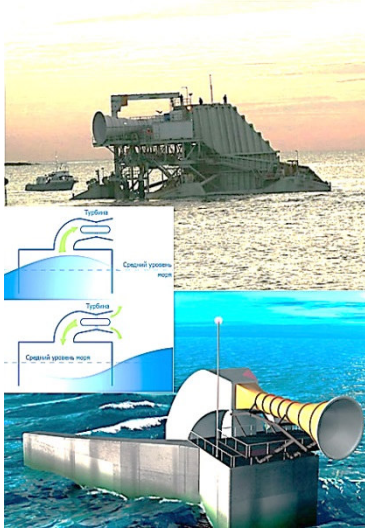


Рис. 5.107. Перетворювач хвиль Oceanlinx

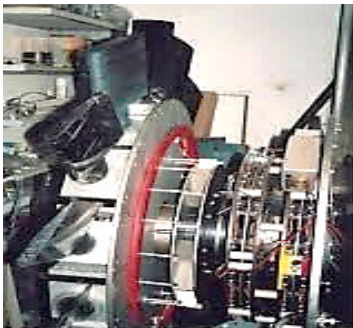


Рис. 5.108. Механізм повороту лопаток

В перетворювачі Oceanlinx, який схожий на гігантську морську сирену, використовується дещо інший принцип: коливання води штовхають (або втягують) повітря, що, в свою чергу, призводить в дію двосторонню турбіну. А вже далі все по стандартній схемі – як у звичайних вітрогенераторів.

<http://www.membrana.ru/particle/3297>

Oceanlinx – електростанція, в якій робочим тілом є повітря. Осьова турбіна виробництва фірми Denniss-Auld turbine розміщена горизонтально в наземній частині платформи. Канал, в якому вона розміщена, має змінний переріз і переходить у підводний канал. Змінний рівень поверхні води призводить або до виштовхування води з проточної частини турбіни при підйомі хвилі, або до втягування атмосферного повітря при пониженні її відносно середнього рівня води.

Швидкість повітря максимальна поблизу робочого колеса турбіни. Ці змінні за напрямом потоки повітря і викликають обертання колеса турбіни, рис. 5.108. Не зважаючи на напрям руху повітря, турбіна обертає генератор в одному напрямі.

Це досягається за допомогою механізму повороту лопаток при зміні напрямку руху повітря. За допомогою контролера здійснюється змінне за часом регулювання кута положення

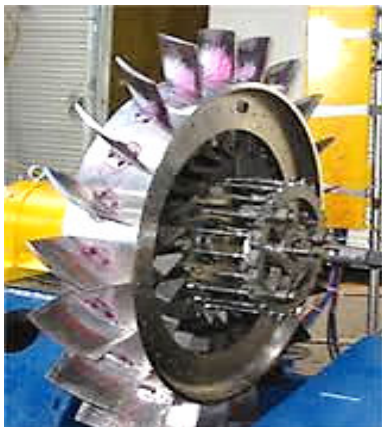


Рис. 5.109. Робоче колесо перетворювача Oceanlinx

в порожнині коливається, викликаючи зміни тиску в газі над рідиною. Порожнина може бути пов'язана з атмосферою через турбіну. Потік може регулюватися так, щоб проходити через турбіну в одному напрямі, рис. 5.110.

лопаток відносно осі турбіни, виходячи з напрямку руху повітря і його швидкості, яка, в свою чергу, залежить від висоти хвилі на поверхні моря, рис. 5.109. Дотягнута потужність 2,5 МВт. В одному агрегаті. Сподіваються виконати 6-модульний агрегат загальною потужністю 18 МВт.

Рух повітря супроводжується звуками, які називають «Диханням дракона».

При набіганні хвилі на частково занурену порожнину, відкриту під водою, стовп рідини в

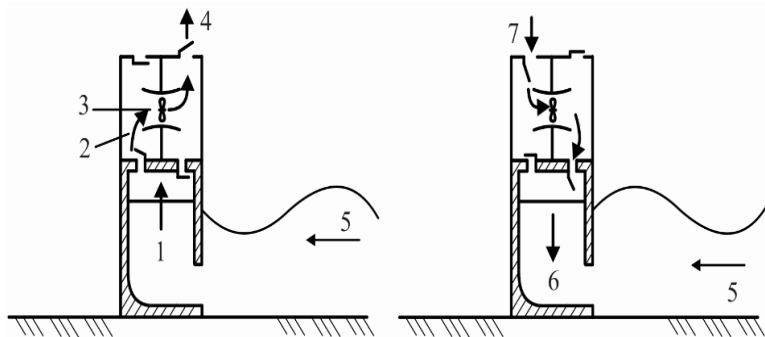


Рис. 5.110. Схема установки, в якій використовується принцип коливання водяного стовпа (розроблена Національною інженерною лабораторією NEL, Великобританія, розміщується безпосередньо на ґрунті, турбіна приводиться в дію потоком одного напрямку): 1 – хвильовий підйом рівня; 2 – повітряний потік; 3 – турбіна; 4 – випуск повітря; 5 – напрям хвилі; 6 – опускання рівня; 7 – випуск повітря

Перетворювачі, які відслідковують профіль хвилі

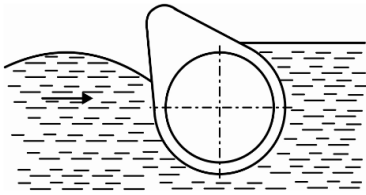


Рис. 5.111. Хвилі, що надходять зліва, змушують качку коливатися

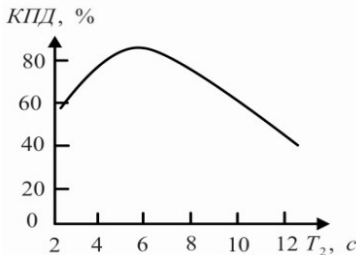


Рис. 5.112. Ефективність «качки Солтера (діаметр 15 м, вісь зафіксована)

В цьому класі перетворювачів зупинимося в першу чергу на розробці професора Единбурзького університету Стефана Солтера, названої в честь творця «качка Солтера». Технічне назву такого перетворювача – коливальне крило. Форма перетворювача забезпечує максимальне вилучення потужності, рис. 5.111, і рис. 5.112.

Циліндрична форма протилежної поверхні забезпечує відсутність поширення хвилі направо при коливаннях качки навколо осі. Потужність може бути знята з осі коливальної системи з таким розрахунком, щоб забезпечити мінімум відбиття енергії. Відбиваючи і пропускаючи лише незначну частину енергії хвиль (прибли-

зно 5%), цей пристрій має досить високою ефективність перетворення в широкому діапазоні частот збуджуючих коливань.

<http://portal.tpu.ru:7777/SHARED/n/NASA/Education/NiVIE/Tab/p5.pdf>

Найбільш серйозними недоліками для «качок Солтера» виявилися наступні:

- необхідність передачі повільного коливального руху на привід генератора;
- необхідність зняття потужності з плаваючого на значній глибині пристрою великої протяжності;
- внаслідок високої чутливості системи до напрямку хвиль необхідність відстежувати зміни їх напрямку для отримання високого ККД перетворення;

- утруднення при складанні і монтажі через складність форми поверхні «качки».

<http://portal.tpu.ru:7777/SHARED/n/NASA/Education/NiVIE/Tab/p5.pdf>

Контурний пліт – багатоланцюгова система з шарнірно з'єднаних секцій. Як і «качка», він встановлюється перпендикулярно до фронту хвилі і відстежує її профіль, рис. 5.113.

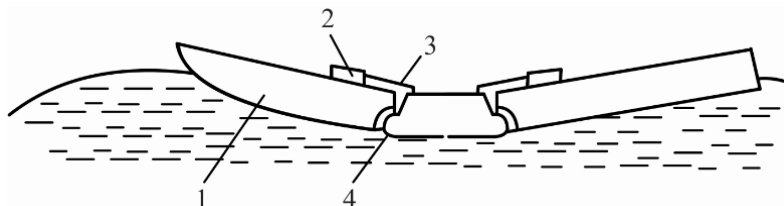


Рис. 5.113. Варіант виконання контурного плоту Коккерела: 1 – коливальна секція; 2 – перетворювач; 3 – тяга; 4 – шарнір

Детальні лабораторні випробування моделі плоту в масштабі 1/100 показали, що його ефективність становить близько 45%. Це нижче, ніж у «качки» Солтера (але пліт приваблює іншою перевагою: близькість конструкції до традиційних суднобудівних).

Виготовлення таких плотів не потребує створення нових промислових підприємств і дозволить підняти зайнятість в суднобудівній промисловості.



Рис. 5.114. Найпотужніша хвильова (2009) електростанція (2,25 МВт)

Перша в світі комерційна хвильова електростанція почала свою роботу в кінці вересня поблизу міста Повуа-де-Варзин, розташованому на узбережжі в північній частині Португалії, рис. 5.114. Електростанція нагадує «змій», наполовину занурену в воду. Її довжина становить 150 метрів, а ширина (діаметр) 3,5 метра. Хвилі, накочуючись на цих «змій», передають їм

коливання, які згодом перетворюються в енергію. Кожна турбіна виробляє 0,75 МВт електроенергії. Зараз встановлено три установки загальною вартістю 13 млн доларів, загальна потужності, що виробляється 2,25 МВт. Надалі планується збільшення потужності до 21 МВт. http://www.journal.esco.co.ua/2011_8/art180.htm

Що ж являє собою конвертер хвильової енергії Pelamis? Це



Рис. 5.115. Збирання конвертора хвильової енергії Pelamis SHARED/n/NASA/Education/NiVIE/Tab/p5.pdf

довгий (120 метрів), круглий в перетині циліндр діаметром 3,5 метра, що складається з трьох модулів, з'єднаних рухомим зв'язком. У кожному модулі встановлено електрогідрравлічний генератор потужністю 250 кВт, спеціально розроблений компанією АВВ, рис. 5.115 <http://portal.tpu.ru:7777/>

Searaser, Wave Energy Converter – гравітаційно-хвильовий насос (друга назва «морський наповнювач», перетворювач енергії хвиль) це поплавок пор-

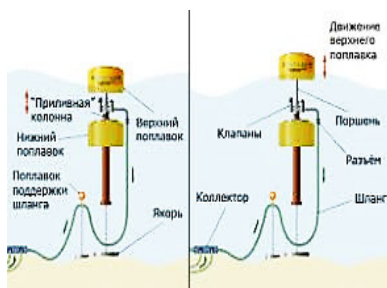


Рис. 5.116. Гравітаційно-хвильовий насос <https://nnhpe.spbstu.ru/prilivnye-i-volnonye-elektrostantsii/>

шневий насос двосторонньої дії, що виконує закачування морської води в басейн (ємність), яка розташована вище рівня моря на 100–200 м, рис. 5.116. Потужність одного модуля досягає 250 кВт. З верхнього басейна вода напрямляється в гідротурбінний агрегат, що розташований на березі моря и виробляючий електроенергію. Діючою силою

поршня є результуюча сила Архимеда і сили тяжіння, що діють на верхній поплавок з внутрішнім вантажем завдяки енергії хвиль.

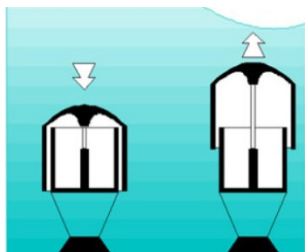


Рис. 5.117. Хвильова електростанція AWS

тому, що більшість проєктів хвильових і приливних електростанцій працює на поверхні води або навіть на узбережжі, що, безсумнівно, заважає пересуванню судів, та й для самих пристроїв шкодить будь-яке сильне хвилювання або, що ще гірше шторм, який швидко виводять механізми з ладу.

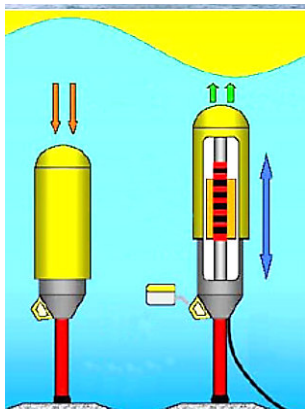


Рис. 5.118. Принцип роботи буїв типу AWS

Архимедове хвильове хитання (Archimedes Wave Swing – AWS), за словами авторів розробки, найпотужнішу і продуктивну хвильову електростанцію: 150 мегават на квадратний кілометр, рис. 5.117. Принципова відмінність AWS від всіх інших проєктів в цій області в тому, що вони невидимі і нікому не заважають. тому що знаходяться під водою на глибині близько 40–50 метрів. Причому від верхівки споруди до поверхні буде залишатися приблизно 6 метрів, що однаково добре як з естетичної, так і з практичної точки зору. Ну, з естетичної то зрозуміло, що споглядати AWS в дії зможуть хіба що драйвери. А що з практичної? Справа в тому, що більшість проєктів хвильових і приливних електростанцій працює на поверхні води або навіть на узбережжі, що, безсумнівно, заважає пересуванню судів, та й для самих пристроїв шкодить будь-яке сильне хвилювання або, що ще гірше шторм, який швидко виводять механізми з ладу.

Власне сама AWS являє собою циліндр діаметром 12 і висотою 30 метрів, рис. 5.118. Важить такий гігантський буй приблизно 800 тонн і здатний виробляти енергію для 500 будинків, тобто видає до 12 гігават-годин на рік. Відповідно, розрахована вартість однієї кіловат-години за нинішнім курсом порядку 13 російських рублів. Дорогувато, але автори системи говорять, що з її масштабуванням ціна кіловат буде знижуватися. Циліндр пустотілий, а його внутрішність заповнена газом. Нижня частина ци-

ліндра діаметром 12 і висотою 30 метрів, рис. 5.118. Важить такий гігантський буй приблизно 800 тонн і здатний виробляти енергію для 500 будинків, тобто видає до 12 гігават-годин на рік. Відповідно, розрахована вартість однієї кіловат-години за нинішнім курсом порядку 13 російських рублів. Дорогувато, але автори системи говорять, що з її масштабуванням ціна кіловат буде знижуватися. Циліндр пустотілий, а його внутрішність заповнена газом. Нижня частина ци-

ліндра кріпиться до дна, верхня ж знаходиться в «вільному плаванні», тобто може рухатися вгору-вниз щодо нижньої частини. Принцип дії простий як все геніальне: проходить над буйком хвиля «тисне» на верхню частину циліндра, змушуючи її просісти під власною вагою, а газ у середині-стискатися. Як тільки хвиля йде, тиск знижується, і верхня частина циліндра піднімається назад. Такий механічний рух вгору-вниз перетворюється в електрику за допомогою лінійного генератора (звичайних котушки і магніту), тому ж принципу, що і в цьому проєкті. Електричний струм в основну мережу на узбережжі пересилається по електричним кабелям, прокладеним від кожної AWS по дну.



Рис. 5.129. Ферма з декількох буїв AWS: <http://portal.tpu.ru:7777/SHARED/n/NASA/Education/NiVIE/Tab/p5.pdf>

У той же час система AWS, зроблена з тих же матеріалів, що і підводні частини нафтових вишок, знаходиться в глибоких, спокійних водах. Інші плюси цього проєкту: дешевизна обладнання, більшу кількість виробленої енергії на тій же площі (в порівнянні з іншими джерелами природної енергії), безпека для навколишнього середовища, простота монтажу та обслуговування, рис. 5.129. Коштує одна така «бочка» близько 4 мільйонів євро і розрахована на безперервну роботу протягом восьми років. Звичайно, побудувати ферму з декількох AWS, яка б якісно і, головне, безперервно постачала місто (або навіть міста)

енергією можна не скрізь. Найбільш відповідними вважаються західне узбережжя Великобританії, Португалії та Іспанії, тихоокеанське узбережжя Канади і США (від Ванкувера до Сан-Франциско), Чилі і навіть Південної Африки, Нової Зеландії – перш за

все за рахунок того, що тут хвилювання на морі незатухаюче 24 години на добу.

Використання теплової енергії океану

Світовий океан – величезний природний колектор сонячного випромінювання. Різниця температур між його теплими поверхневими водами, які поглинають сонячне випромінювання, та більш холодними придонними, становить до 20–25° С. Це забезпечує запас теплової енергії, що безперервно поповнюється і теоретично може бути перетворена в інші види. Термін перетворення теплової енергії океану – ОТЕС (ocean Thermal energy conversion) – означає перетворення деякої частини цієї теплової енергії в роботу і далі – в електричну енергію. На рис. 5.120 зображена схема такого перетворювального пристрою. Це тепла машина, що приводиться в дію різницею температур між холодною водою, піднятою з глибини, і гарячою водою, зібраною з поверхні. Робоча рідина (робоче тіло), циркулюючи замкненою схемою, відбирає тепло від гарячої води в теплообміннику 2, в паровій фазі приводить у дію турбіну 3, пов'язану з генератором 4, а потім конденсується в конденсаторі 5, який охолоджується холодною водою 6.

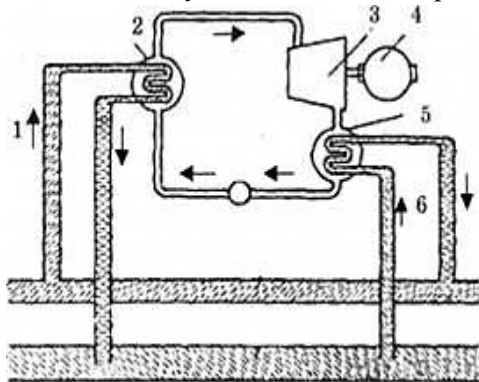


Рис. 5.120. Перетворення теплової енергії океану: 1 – гаряча вода; 2 – теплообмінник; 3 – турбіна; 4 – генератор; 5 – конденсатор; 6 – холодна вода

На цьому цикл завершується, рис. 5.120.

В океані подекуди досить близько розташовані шари води з різною температурою. Найбільшою (до 20–25° С) різниця температури є у тропічній зоні Світового океану. На цьому й базується принцип одержання електроенергії. У спеціальний теплообмінник закачується насосами холодна

глибинна вода і нагріта Сонцем поверхнева. Робочий агент

(фреон), як у домашньому холодильнику, по чергово випаровується та переходить у рідкий стан в різних частинах теплообмінника. Пара фреону рухає турбіну генератора. Нині така установка потужністю 100 кВт діє на тихоокеанському острові Науру, забезпечуючи енергетичні потреби населення цього острова. На Гаваях розпочато випробування змонтованої на судні установки потужністю 50 кВт. Якщо ефективність використання енергії різниці температур дорівнюватиме хоча б 61%, потенціал термальної енергії океану перевищить потенціал всіх паливних корисних копалин. https://pidruchniki.com/1881092137976/ekologiya/energiya_moriv_okeaniv

Сірководень у Чорному морі

Щодня в Чорному морі в результаті життєдіяльності сульфатредуючих бактерій утворюється близько 10000 тонн газу H_2S , а запас розчиненого у воді H_2S оцінюється в 4587 млн тонн. Водень може бути отриманий шляхом простого розкладання H_2S . Чорне море – еліптичне водоймище, що займає акваторію в 423 000 км². Середня глибина 1263 м, передбачуваний загальний обсяг 534 000 км³. Чорне море – унікальне, оскільки морська вода анаеробна на 90%. Ця анаеробна морська вода містить сірководень, вироблений сульфатвідновлювальними бактеріями. Кордон розмежування анаеробного і аеробного шару води знаходиться на глибині близько 200 м. Глибше 150–200 м поступово зростає концентрація H_2S до 1 км, на глибині близько 1,5 км досягається майже постійне значення 9,5 мг/л [70].

Однією з головних особливостей **Чорного моря** є **сірководень**: на глибині понад 200 метрів його стільки, що вижити здатні лише деякі види бактерій. Повна відсутність кисню повністю виключає проживання там тварин і водоростей, а сам **сірководень** паралізує клітинне дихання в мітохондріях, відповідно будучи отрутою для них. Кілька видів бактерій, що живуть на дні і в товщі самої води, виділяють сірководень в процесі переробки різних останків живих істот, що падають з поверхні.

Крім того, одним з джерел сірки є сульфати морської води, які деякі бактерії використовують замість кисню як помічника в окисленні органіки. Чорне море – єдина в світі водойма, де така

величезна кількість води насичена сірководнем. Це викликано тим, що маючи велику глибину, море відносно невелике за площею, і водообмін між верхніми і нижніми його шарами недостатній. Вода в Чорному морі занадто слабо перемішується (це відбувається за рахунок хвиль і вертикальних течій), і кисень практично не надходить в глибинні шари – його досить для життя лише в поверхневих шарах (близько 150 метрів).

Особливості Чорного моря:

1. Сірководень в Чорному морі, є однією з його головних особливостей. Оскільки саме через це на глибині 150–200 м відсутнє життя (крім бактерій-анаеробів, річ про котрих піде пізніше). Відомо, що сірководень знаходиться в глибинах всіх морів. Туди дуже повільно проникає кисень з води, а процеси бактеріального гниття і хемосинтезу проходять з виділенням H_2S і поглинанням O_2 , тому H_2S накопичується в ґрунті. Нирніть глибше, туди де хвилі не ворують ґрунт, копніть дно рукою, і ви побачите, що жовтий пісок, сірий мул або різнокольоровий черепаший мул, вже через декілька сантиметрів мають однаковий чорний колір, що говорить про наявність сульфідів у ґрунті. З цим зв'язана одна з легенд про походження назви «Чорне море». Ця назва прийшла людям у голову, коли моряки опустили металевий лот у воду, щоб виміряти глибину. Коли його підняли він став зовсім чорним. Можливо все було так. Але гіпотеза про те, що середземноморські моряки назвали його так, коли мандрували під час шторму, є більш ймовірною. Моряки міряють глибину за допомогою лота.

2. Хімія та фізика сірководню. Сірководень – хімічна сполука з формулою H_2S . Це безбарвний, дуже отруйний, горючий газ з характерним неприємним запахом тухлих яєць. Запах відчувається за таких низьких концентрацій, як 0,00047 часток на мільйон, але має властивість пригнічувати нюх, що вимагає додаткової обережності при роботі, особливо самостійній. Цей газ утворюється в результаті вулканічної активності, входить до складу природного газу і деяких вод. Людське тіло виробляє невелику кількість H_2S як сигнальної молекули. Осад у ставку, чорний колір пов'язаний з наявністю сульфідів металів. Сірководень

день трохи важчий за повітря, суміш H_2S і повітря – вибухонебезпечна. Сірководень у кисні горить синім полум'ям, з утворенням SO_2 і води. Загалом сірководень діє як відновник. При внесенні в полум'я сірководню, що горить, холодного предмету на ньому осідає елементарна сірка («сірчаний цвіт») та утворюється вода. Ця реакція відома як процес Клауса, основний спосіб перетворення сірководню в елементарну сірку. Сірководень мало розчинний у воді і діє як слабка кислота, дисоціюючи на гідросульфід-йон HS^- і протон H^+ . Сірководень реагує з йонами металів з утворенням сульфідів, які можуть бути розглянуті як солі сульфідної кислоти.

3. Деякі руди є сульфідами. Сульфіди металів частіше за все мають чорний колір. Папір з плюмбум (Pb) ацетату використовується для виявлення сірководню, оскільки він реагує з сіркою в присутності газу з утворенням плюмбум (Pb) сульфідів. Сульфіди металів реагуючи з сильною кислотою утворюють сірководень. Сірководень реагує зі спиртами з утворенням тіолів.

4. Походження сірководню Нижче глибини 150–200 м починається суцільна сірководнева зона. Розподілена вона, правда, нерівномірно: біля берегів верхня її межа сягає позначки 300 м, в центрі ж сірководень підходить до глибини близько 100м. Загальна кількість розчиненого у Чорному морі сірководню досягає 90%, так що все життя зосереджене в невеликому поверхневому шарі, і глибоководної фауни в Чорному морі немає. Існують декілька теорій про походження газу. Одна з теорій зародження сірководню (так звана, «геологічна теорія») говорить про те, що сірководень виділяється в процесі підводного вулканічної діяльності, і в моря він може надходити по тектонічних розломах земної кори. Доказом цієї теорії можуть служити сірководневі озера на Камчатці. Інша теорія – біологічна – говорить про те, що виробництву сірководню ми зобов'язані бактеріям, які, переробляючи органічні рештки, що впали на дно моря, утворюють з солей ґрунту (сульфатів) речовину, яка при сполученні з морською водою утворює сірководень. Проте не потрібно думати, що сірководень в морях зберігається як хімічна речовина на складі, закупорена в ящики. Море – це постійно діюча біохімічна лабораторія. Завдяки роботі бактерій, рослин і тварин одні елементи в морі постійно

перетворюються в інші. Формуються екологічні ланцюжки, в яких підтримується рівновага, визначальна цілісність всієї структури. Величезну роль у розкладанні органічних останків до споживаних рослинами форм відіграють бактерії. Деякі бактерії можуть жити без кисню і світла (анаеробні бактерії), іншим для життя потрібне сонячне світло, треті переробляють органічні сполуки, використовуючи і світло і кисень. Потрапляючи в різні шари моря, органічна речовина потрапляє на відповідний цикл його обробки і, в кінцевому підсумку, цикл замикається – система повертається в первинний стан. Тому при переміщенні шарів моря (перемішуванні) сірководень поступово перетворюється в інші сполуки. У Чорному морі вода перемішується дуже слабо. Причиною тому служать різкі перепади солоності, що розділяють морську воду, як в келиху з коктейлем, на окремі шари. Головна причина появи таких шарів – недостатній зв'язок моря з океаном. Чорне море з'єднується з ним двома вузькими протоками – Босфорським, провідним в Мармурове море, і протокою Дарданелли, що підтримує зв'язок з досить солоним Середземним морем. Така замкнутість призводить до того, що солоність Чорного моря не перевищує 16–18 проміле (величина, що дорівнює вмісту солі в крові людини), тоді як солоність нормальної океанічної води повинна бути в межах 33–38 проміле (Мармурове море, маючи проміжну солоність близько 26 проміле, виступає своєрідним буфером, який не дає сильно солоним водам Середземного моря вливатися безпосередньо в Чорне море). Солоніша вода з Мармурового моря, як більш важка, при зустрічі з водами Чорного моря опускається на дно і у вигляді підводного перебігу надходить у його нижні шари. В області прикордонного шару відбувається не тільки різка зміна солоності – «галоклін», а й різка зміна густини води – «піноклін» і температури – «термоклін» (глибокі, більш щільні шари води завжди мають постійну температуру – 8-9 градусів вище нуля). Такі різномірні шари роблять з нашого морського коктейлю справжній листковий пиріг, і, звичайно, «перемішати» його стає дуже важко. Так, для того, щоб вода з поверхні води досягла дна моря, потрібні сотні років. Всі ці фактори призводять до того, що сірководень, постійно накопичуючись в товщах Чорного моря, поступово утворив широку мляву зону.

5. Сірководень та екологічні проблеми На жаль, останнім часом в море було викинуто величезну кількість добрив і неочищених стоків каналізаційних вод, які викликали перенасичення живильного середовища Чорного моря. Це стало причиною бурхливого цвітіння фітопланктону і зниження прозорості води. Недостатність надходження сонячної енергії, необхідної для дихання рослин, призвело до масової загибелі водоростей, а, разом з ними, і багатьох живих істот. Підводні ліси змінилися заростями примітивної, швидкозростаючої морської трави (нитчатки і пластинчастих водоростей). Органічні останки, що не перероблені бактеріями, в незліченних кількостях потрапляють на морське дно. Відбувається масовий замор флори і фауни. У 2003 році було повністю знищено унікальне скупчення червоної водорості філофори (філофорного поля Зернова), площею 11 тис. кв. км, яке займало практично всю частину північно-західного шельфу Чорного моря. Цей «зелений пояс» моря виробляв близько 2 млн м³ кисню на день і, звичайно, з його знищенням, царство сірководню втратило одного з головних конкурентів у боротьбі за природні ресурси, – окиснення його киснем. Велика швидкість відмирання водоростей і морської трави, масова загибель живих істот, зниження рівня кисню у воді, – всі ці фактори неблаганно призводять до скупчення величезної кількості гниючих залишків у товщах Чорного моря і до підвищення кількості сірководню у воді. Поки сірководень нам не страшний, оскільки для того, щоб бульбашка газу вийшла на поверхню, необхідна його концентрація, яка в 1000 разів перевищує існуючий рівень. Проте розслаблятися не варто. Занадто багато факторів прискорюють цей процес. Серед них: будівництво хвилеломів, що знижують швидкість циркуляції води, роботи з поглиблення морського дна, прокладка нафтопроводів, скидання в море добрив і каналізаційних вод, видобуток корисних копалин. Людська діяльність має такі масштаби, що ніяка екосистема їй протистояти не може. Що ж нам загрожує? Вивчаючи археологічні шари, вчені виявили разючий факт майже миттєвого зникнення переважної більшості форм життя в Пермському періоді. Одна з теорій, що пояснюють подібну катастрофу, заявляє, що масовий замор фауни і флори був обумовле-

ний вибухом отруйного газу, імовірно сірководню, який міг утворитися як завдяки численним вивержень підводних вулканів, так і в результаті діяльності бактерій, що виробляють сірководень. Дослідження Лі Кампа з Пенсільванського університету США показали, що зниження концентрації кисню в море провокує посилене розмноження бактерій, які виробляють сірководень. При досягненні критичної концентрації цей процес може призвести до виділення отруйного газу в атмосферу. Звичайно, говорити про якісь конкретні висновки рано, динаміка зміни рівнів сірководню поки точно не ясна (на проведення всебічного аналізу може піти близько 10 років), але в наведених фактах не можна не відчувати прихованої загрози.

Джерела інформації:

1. <http://blacksea-education.ru>
2. <http://cyclowiki.org>
3. <http://demisroussos.net>
4. <http://ru.wikipedia.org>

Використання сірководню Чорного моря

Для вирішення проблеми видобутку сірководневої води з певних глибин було запропоновано використати ефект фонтанного піднімання [68]. Активним елементом є розчинений у ній сірководень. Запропонований метод підйому сірководневої морської води, зовнішньо аналогічний ерліфту, рис. 5.121, може бути одним з найбільш енергетично ефективних «Спосіб добування сірководню з морської води» патент України № 25861 [68].

Цей спосіб передбачає розміщення в морській воді вертикального трубопроводу на необхідній глибині, пропущення по трубопроводу води із сірководнем і відділення сірководню від води. Згідно з корисною моделлю перед розміщенням трубопроводу у воді усередині трубопроводу, у його нижній частині, установлюють перегородку, а після розміщення трубопроводу у воді перегородку видаляють. Вміщення перегородки усередині трубопроводу, у його нижній частині, дозволяє створити після розміщення його в морську воду по один бік від перегородки зону, вільну від води, а по інший – зону з підвищеним вмістом сірководню (відповідним необхідній глибині).

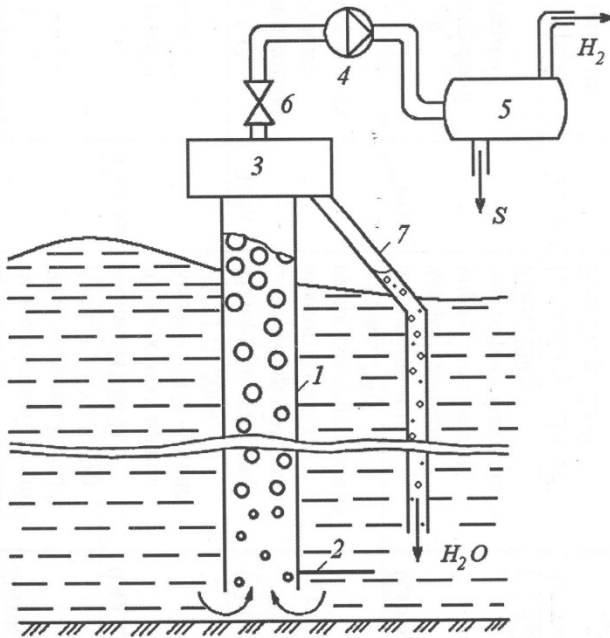


Рис. 5.121. Спосіб видобування чорноморської сірководневої води

Наступне видалення перегородки сприяє виникненню ефекту газліфта за рахунок високої концентрації сірководню на необхідній глибині без використання додаткових засобів і матеріалів. Крім того, відсутність пластин, що активують появу водню (як це відбувається в способі, обраному як прототип) виключає утворення твердих часток, що гальмують висхідний потік води. Це обумовлює підвищення продуктивності добування сірководню з морської води. На рис. 5.121 представлений пристрій для здійснення способу [68]. У середині вертикального трубопроводу 1, у нижній його частині, установлюють перегородку 2 (на кресленні вона зображена у відкритому стані). Верхня частина трубопроводу з'єднана із пристроєм 3 для поділу газорідної суміші, що у свою чергу з'єднано з компресором 4. Останній приєднаний до пристрою 5 для розкладання сірководню на водень і полімерну сірку. Між пристроєм 3 і компресором 4 установлений клапан 6

для організації початку роботи й зупинки процесу. Для повернення води, очищеної від сірководню, пристрій 3 має патрубок 7.

Спосіб за патентом України № 25861 у цьому прикладі реалізують таким чином: вертикальний трубопровід 1 із закриваючою його перегородкою 2 поміщають у морську воду на необхідну глибину. Порожнина трубопроводу вільна від води. Після цього перегородку 2 видаляють і вода, збагачена сірководнем, по трубопроводу 1 піднімається нагору. По мірі підйому й, отже, зменшення тиску вода, чим вище, тим більше насичується сірководнем, і подальший вертикальний рух її нагору забезпечується завдяки ефекту газліфта. У пристрої 3 відокремлюють сірководень від води й компресором 4 подають його в пристрій 5, де сірководень розкладають на водень і полімерну сірку. Вода, збіднена сірководнем через патрубок 7 повертається у море, туди ж повертається водяний конденсат, що відділюється від видобутого газу (поз S на рис. 5.121). Для зупинки процесу клапан 6 закривають.

Продуктивність установки визначається площею поперечного перерізу трубопроводу, глибиною занурення трубопроводу в море й висотою підйому нижнього рівня пристрою 3. По попередніх розрахунках, за умови 50% виділення сірководню з морської води, глибині занурення трубопроводу 1000 м, площі поперечного перерізу трубопроводу $0,01 \text{ м}^2$, висоті підйому нижнього рівня пристрою 3 над поверхнею води 7,5 м, продуктивність установки складе не менш 20 л/хв сірководню. Отриманий водень використовують як екологічно чисте пальне. Полімерну сірку використовують у хімічній промисловості, а очищену воду повертають у водойму на глибину, що відповідає показнику залишкової зараженості сірководнем зворотної води, зменшуючи при цьому забруднення морської води сірководнем.

Альтернативним до розглянутих способів може служити винахід [68] «Спосіб видобування сірководню з дна Чорного моря», патент РФ № 2134237. Винахід належить до галузі енергетики і екології, зокрема до видобутку сірководню в якості палива, із дна Чорного моря і, таким чином, до методів для запобігання його природного підймання до поверхневого населеного шару морсь-

ких вод. Засіб забезпечує підвищення ефективності процесу за рахунок зниження потужності видобуваючих сірководень засобів. Суть винаходу: у винаході описано систему, що містить трубу 1, рис. 5.122, яка виведена у море до глибини сірководневого шару. Відповідно до опису винаходу за допомогою нержавіючої або полімерної труби 3 сполучають її з баком 2, розміщеним на узбережжі, і поміж баком і морем розміщено сполучені сосуди 4. Водяним насосом переміщують сірководневу воду до водострумного насоса 6, із захватом сірководню, що виділився з сірководневої води внаслідок різкого зниження тиску.

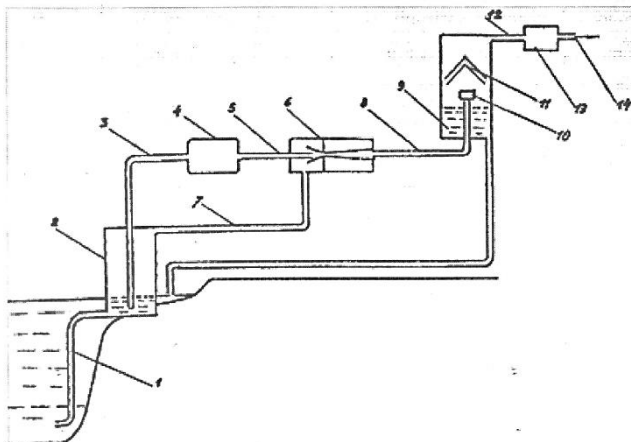


Рис. 5.122. Спосіб видобування сірководню з води Чорного моря [68]

Утворену газоводяну емульсію розприскують відцентровою форсункою в окремій ємкості 9, 10, 11 і остаточно відокремлюють сірководень від чистої води, яку повертають у море, а сірководень через піновідбійники 13 направляють трубопроводом 14 на спалення і отримання гарячої водяної пари для роботи турбоелектрогенератора. Сірчистий газ направляють на завод, для виробництва сполук сірчистої кислоти, або на доокислення з метою виробництва сірчаної кислоти [68].

Таким чином, великомасштабна проблема видобування сірководню для його використання та для зменшення його концентрації в морі потребує подальших серйозних тривалих досліджень,

з урахуванням передового світового досвіду в галузі, з особливою увагою відносно екологічних наслідків від використання розроблених технологій.

Перспективи використання енергетичного потенціалу сірководню Чорного моря

Активізація діяльності з пошуку способів використання сірководню пояснюється не лише потребою в додаткових енергоресурсах, але і загрозою детонації сірководню. В результаті землетрусу, або антропогенного впливу сірководень може вийти на поверхню і вибухнути від контакту з повітрям. Особливо загострилася проблема після землетрусу силою 5 балів за шкалою Ріхтера, яке було зафіксовано в Чорному морі у вересні 2009 року [71].

Проблема вилучення сірководню з Чорного моря вивчається давно, проте поки що немає прийняттого рішення. Разом з тим, низка країн вже близька до початку промислової розробки цих запасів.

У 80-ті роки **Румунія** була готова почати будівництво теплоелектростанції, яка працювала б на водні. Об'єкт передбачалося розмістити в місцевості Неводарь, а сірководень доставляти з моря через трубопровід. Технічна концепція полягала в тому, що вода під тиском 200 атмосфер прокачується на поверхню і перевозиться судами на електростанцію потужністю 4000 МВт.

Росія. У 1979 році Юткін Л.А. розробив проект видобутку сірководню, який ґрунтувався на способах розділення і збагачення газів. Було запропоновано придонні шари морської води з районів аномально високого вмісту сірководню піднімати на технологічну висоту, де їх піддавати дії електрогідралічних ударів, що забезпечують виділення сірководня, а потім повертати назад в море (електрогідралічний ефект). Отриманий газ можна зріджувати і спалювати, а двоокис сірки – окислювати в сірчану кислоту.

У **Туреччині** Дослідницький центр TUBITAK спільно з компанією COWI SNS Ltd. представили проект відповідного каталізатора і сонячної електростанції для відділення сірки від водню [7]. Болгарія зробила технологію виробництва 9 млрд. мегават-

годин електроенергії з сірководню. Це може повністю задовольнити потреби населення на 200 років вперед. Фахівці мають намір перетворити сірководень на електроенергію за допомогою нового типу «паливної клітки» (установки, в якій відбувається реакція з'єднання водню з киснем або окислом вуглецю, при цьому утворюється електричний струм).

Науково-практичні розробки України. Технології використання енергетичного потенціалу сірководню Чорного моря розроблені у Кримському науковому центрі НАНУ (м. Севастополь) і Херсонському державному морському університеті. Перехід на водневу енергетику означає великомасштабне виробництво водню, його зберігання, розподіл і транспортування. Зважаючи на сучасні темпи і масштаби розвитку водневої енергетики у світі, світова економіка найближчим часом повинна перейти до водневої економіки. В енергетичному відношенні (по теплоті згорання) 1 м³ сірководню еквівалентний 1,49 м³ побутового газу. При розкладанні сірководню і подальшому спалюванні водню виходить 14-кратний енергетичний ефект в порівнянні з процесом безпосереднього спалювання сірководню. Технологія зниження сірчано-водневого забруднення вод Чорного моря і подальшої повної і безпечної утилізації отримуваних компонентів передбачає створення інтегрального виробничого комплексу [71].

«Глибинний лід» на дні Чорного моря

Чорне море іноді ще називають «чорною дірою». Здавалося б, його вже вивчили вздовж і впоперек, але одне з найбільших внутрішніх морів планети й досі залишається повним таємниць. Давно відомо, що життя в Чорному морі існує лише на глибині до двохсот метрів. Далі ідуть шари надзвичайно отруйного сірководню. На чорноморському дні містяться найбільші на Землі поклади твердого метану. При цьому експерти наголошують, що розвідані родовища можуть становити лише невеличку частку від тих запасів газу, про які наука тільки здогадується. З огляду на останні відкриття, дедалі переконливішою стає версія, що під час кримського землетрусу 1928-го року причиною загадкового заїмання моря – а полум'я тоді сягало висоти кількох сотень метрів

- був не сірководень, як вважалося раніше, а газ метан, що вирвався на поверхню крізь розломи на дні. Локальний вихід метану постійно відбувається в багатьох районах Світового океану. Це природне явище має глобальний характер. Але масштаби виділення газу в Чорному морі викликають в океанологів як велику зацікавленість, так і занепокоєння [69].

На глибині рівне мулисте дно Чорного моря нагадує сіру підводну пустелю без будь-яких ознак життя. На дні Чорного моря з карбонатів подекуди утворюються «димарі». З них, наче із заводських труб, у товщу води вилітають бульки метану. Верхній край такого «димаря» заселяють бактерії. Їхній шар буває завтовшки до 10 сантиметрів. В зоні інтенсивних викидів знайшли карбонатний риф у чотири заввишки і метр завтовшки.

Це білі тверді сполуки води й газу, які ще називають «гарячим» або «сухим» льодом. Утворюються вони в морських глибинах за низьких температур та високого тиску. Теоретично гідрати метану могли б розв'язати сучасні енергетичні проблеми як джерело природного газу. Над проектами розробки твердих підводних покладів уже давно наполегливо працюють у таких країнах, як США, Канада, Японія, Індія, Китай. За деякими оцінками, світові запаси кристалогідрату метану містять більше енергії, ніж усі розвідані поклади нафти, газу й вугілля разом. Якби при піднятті на поверхню твердий конденсат не танув так швидко, тобто, знову не розкладався б на метан і воду, то Україні, певне, судилося б стати «новим Кувейтом».

Океанологи встановили, що від семисот двадцяти метрів і глибше метан залишається лежати на морському ґрунті в твердому стані: у вигляді розсіяних крупинок або тонких шарів. У Чорному морі, наприклад, зустрічаються білі метанові шари до шести метрів завтовшки. І, що важливо, подекуди поклади гідратів метану розташовані тут на аномально невеликій глибині – близько ста вісімдесяти метрів.

Поклади метану в морях видаються непомірними. Але насправді в атмосферу потрапляє дуже невелика частка цього газу. За існуючими оцінками, із загальної кількості наявного в атмос-

фері метану з морських глибин походить лише від 1 до 2%. І на-вряд чи ця цифра суттєво збільшиться, якщо температура води в океані зросте на десятки частки градуса [69].

Понад 60% земної поверхні займають річки, моря океани. Вся маса води перебуває в постійному русі (хвилі, припливи, відливи і ін.). гідроенергетика дає приблизно 19% світової електроенергії, не збільшуючи парниковий ефект і практично не погіршуючи екологію. Сумарна потужність припливів оцінюється в 10^{20} Дж, що порівнянно з річним споживанням енергії населенням Землі. Приливна енергія, на відміну від сонячної і вітрової, характеризується постійністю місячного потенціалу [91].

Приклади розв'язання задач

Задача 5.1

Використовуючи формулу Л. Б. Бернштейна, оцінити приливний потенціал басейну $E_{\text{пот}}$, кВт·год, якщо його площа $F = 1000 \text{ км}^2$, а середня величина припливу $R_{\text{сп}} = 7,2 \text{ м}$, [6; 101]

Розв'язання

Приливний потенціал басейну за формулою Л. Б. Бернштейна:

$$E_{\text{пот}} = 1,97 \cdot 10^6 \cdot R_{\text{сп}}^2 \cdot F;$$

$$E_{\text{пот}} = 1,97 \cdot 10^6 \cdot 7,2^2 \cdot 1000 = 102 \cdot 10^9 \text{ кВт} \cdot \text{год}.$$

Задача 5.2

Як зміниться потужність малої ГЕС, якщо напір на турбіну у посушливий період зменшиться в $n = 2$ рази, а витрата води скоротиться на $m = 20\%$? Втрати в гідротехнічних спорудах, водоводах турбінах і генераторах вважати постійними.

Розв'язання

Відомо, що потужність ГЕС (Вт) визначають за наступною залежністю:

$$N = 9,81 Q H \eta, \quad (5.15)$$

де Q – об'ємна витрата води, $\text{м}^3/\text{с}$; H – напір на турбіну, м; η – ККД ГЕС, що враховує втрати в гідравлічних спорудах, водоводах, турбінах, генераторах. Для малих ГЕС $\eta = 0,5$. ККД гідротурбін змінюється в межах 0,5–0,9.

Згідно з вихідними даними потужність ГЕС в нових умовах, коли $H_I = H/n$, а витрата $Q_I = (1 - m/100)Q$, потужність ГЕС $N_I = 9,81 \cdot Q_I \cdot H_I \cdot \eta = 9,81(1/2)H \cdot (1 - 20/100)Q\eta = 9,81 \cdot 0,5Q \cdot 0,8H\eta = 0,4 \cdot 9,81QH\eta = 0,4N$.

Таким чином, в нових умовах потужність ГЕС буде складати 40% від попередньої потужності.

Задача 5.3

Визначити конструктивні та технологічні параметри поперечно-струменевої гідротурбіни (типу «Банкі»), водоводів і водоприймача, кількість виробленої за рік електроенергії згідно наступних даних: витрата води $Q_n = 0,3 \text{ м}^3/\text{с}$; швидкісний напір $H_c = 21 \text{ м}$; довжина безнапірної ділянки підвідного водоводу $L_6 = 63 \text{ м}$ [102].

Розв'язання

Зовнішній діаметр колеса гідротурбіни, рис. 5.123.

$$D = \sqrt{\frac{Q_n}{\sqrt{H_c}}} = \sqrt{\frac{0,3}{\sqrt{21}}} = 0,26 \text{ м.}$$

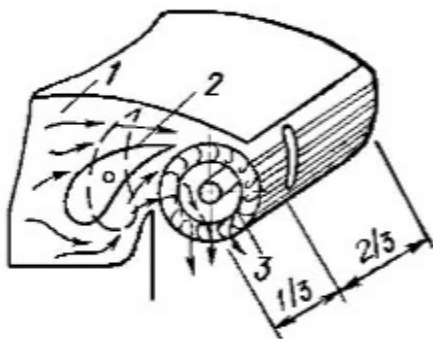


Рис. 5.123. Схема активної поперечно-струменевої турбіни: 1 – напірний водовід; 2 – затвор; 3 – робоче колесо

Ширина робочого колеса турбіни

$$B = \frac{Q_n}{0,42D\sqrt{H_c}} = \frac{0,3}{0,42 \cdot 0,26\sqrt{21}} = 0,6 \text{ м.}$$

Звичайно турбіна ділиться за шириною на дві частини: $1/3$ і $2/3$, см. Для регулювання подачі відкривають вужчу або ширшу частину або повністю весь отвір.

Ширина напрямного апарата

$$B_{na} = 0,8B = 0,8 \cdot 0,6 = 0,48 \text{ м.}$$

Висота вхідного потоку води

$$h_{на} = \frac{Q_n}{B_{на} \varphi \sqrt{2gH_c}} = \frac{0,3}{0,48 \cdot 0,98 \sqrt{2 \cdot 9,81 \cdot 21}} = 0,03 \text{ м,}$$

де φ – коефіцієнт швидкості, $\varphi = 0,98$.

Частота обертання робочого колеса

$$n = \frac{30\sqrt{2gH_c}}{\pi D} = \frac{30\sqrt{2 \cdot 9,81 \cdot 21}}{3,14 \cdot 0,26} = 745 \text{ об/хв.}$$

Потужність гідротурбіни

$$N = 9,81 Q H_c \eta = 9,81 \cdot 0,3 \cdot 21 \cdot 0,8 = 50 \text{ кВт,}$$

де η – коефіцієнт корисної дії генератора, $\eta = 0,8$.

Нестача води на п'ятому місяці

$$Q_{5м} = 0,1 Q_n = 0,1 \cdot 0,3 = 0,03 \text{ м}^3/\text{с;}$$

$$V_{5м} = Q_{5м} \cdot 30 \cdot 24 \cdot 3600 = 77760 \text{ м}^3.$$

Нестача води на шостому місяці

$$Q_{6м} = 0,2 Q_n = 0,2 \cdot 0,3 = 0,06 \text{ м}^3/\text{с;}$$

$$V_{6м} = Q_{6м} \cdot 30 \cdot 24 \cdot 3600 = 155520 \text{ м}^3.$$

Повний запас води

$$V = V_{5м} + V_{6м} = 77760 + 155520 = 233280 \text{ м}^3.$$

Для невеликих стаціонарних ГЕС, які встановлюють у гірській місцевості, доцільні водоводи комбіновані зі стаціонарних безнапірних лотків і напірних сталевих трубопроводів, рис. 5.124 [102; 103].

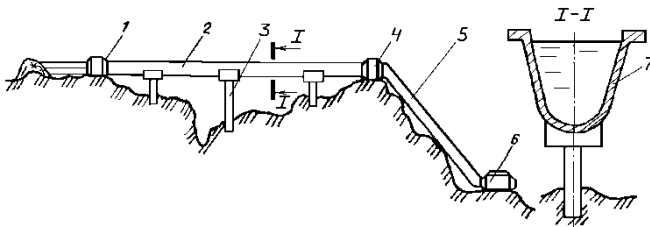


Рис. 5.124. Схема дериваційної ГЕС: 1 – водозабірна споруда; 2 – безнапірна ділянка водоводу (лоток); 3 – опірна конструкція водоводу; 4 – напірний басейн; 5 – напірна ділянка водоводу; 6 – гідроагрегат; 7 – поперечний переріз безнапірної ділянки водоводу

При будівництві безнапірної ділянки водоводу дуже важливий вибір похилу i дна каналу, від якого залежить швидкість потоку в ньому. При малих швидкостях потоку може замулюватися або заростати канал, а в зимовий період – утворюватися шуга, льодовий покрів і виникати затори.

Замулення, шуга, лід, як правило, не виникають при швидкостях води

$$w > (t_n)^{0,06},$$

де t_n – розрахункова мінімальна температура зовнішнього повітря.

В той же час, при більших швидкостях води спостерігаються значні втрати напору, а, отже, і потужності ГЕС. Тому швидкість водотоку в деривації повинна бути від 1,0 до 1,5 м/с. Приймаємо $w = 1,23$ м/с.

Необхідний похил каналу визначають за формулою Шезі

$$i = \frac{w^2}{C^2 R} = \frac{1,23^2}{56^2 \cdot 0,15} = 0,02,$$

де R – гідравлічний радіус живого перерізу каналу, м; C – коефіцієнт Шезі.

Гідравлічним радіусом називається відношення площі живого перерізу потоку до змоченого периметру в цьому перерізі.

$$R = S/\chi = 0,24/1,6 = 0,15,$$

де χ – змочений периметр, який являє собою довжину лінії, за якою рідина в живому перерізі торкається з твердими поверхнями, що обмежують потік.

Коефіцієнт Шезі можна знайти, наприклад, за формулою Манінга

$$C = \frac{1}{n} R^{\frac{1}{6}} = \frac{1}{0,013} \cdot 0,15^{\frac{1}{6}} = 56,$$

де n – коефіцієнт шорсткості, який для бетонних лотків можливо приймати в межах 0,012–0,014.

Втрати напору по довжині на безнапірній ділянці водоводу становить величину Δh , що приблизно дорівнює

$$\Delta h = i \cdot L = 0,02 \cdot 63 = 1,26 \text{ м},$$

де L – довжина водоводу, м.

Втрати напору на напірній ділянці водоводу за рахунок як по довжині так і місцевих опорів (останні прийнято рівними 10% від втрат напору по довжині), знаходять наближено за формулою

$$\Delta h = 1,1 \cdot \lambda \frac{l}{d} \cdot \frac{w^2}{2g} = 1,1 \cdot 0,025 \cdot \frac{30}{0,6} \cdot \frac{1,23^2}{2 \cdot 9,81} = 0,106 \text{ м,}$$

де λ – коефіцієнт тертя води та стінки труб, звичайно становить 0,02–0,03; l – довжина напірної ділянки водоводу, $l = 30$ м; d – діаметр напірної ділянки водоводу, м.

Діаметр напірного трубопроводу визначають за формулою

$$d = \sqrt{\frac{4Q_n}{\pi w}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,3}{3,14 \cdot 1,23}} = 0,557 \text{ м. Приймаємо } d = 0,6 \text{ м.}$$

Контрольні питання

1. Які важливі аномальні властивості спостерігаються у воді?
2. Якою кількістю оцінюються запаси прісної води в гідросфері?
3. Які запаси водних ресурсів приходиться на одну людину в Україні?
4. На які потреби використовуються водні ресурси?
5. Який територіальний розподіл водних ресурсів спостерігається в Україні?
6. Які переваги і недоліки будівництва великих водосховищ?
7. З якими параметрами були побудовані перші ГЕС в Україні?
8. Який каскад рівнинних ГЕС побудований в Україні?
9. Яка побудована ГЕС є найпотужнішою в світі?
10. Які перспективи розвитку гідроенергетики в Україні?
11. Як поділяються малі ГЕС за існуючою класифікацією ООН?
12. В чому полягає державне стимулювання розвитку малої гідроенергетики у вигляді «зеленого тарифу»?
13. Які плюси і мінуси розвитку малої гідроенергетики України?
14. Які заходи впроваджує асоціація «Новосвіт» для відновлення малої гідроенергетики України?
15. Які типи турбіни з номенклатури 50-их років використовували для малих гідроелектростанцій України?
16. Які типи і на які параметри турбін для малих ГЕС забезпечує поставки ВАТ «Турбоатом»?
17. Які типи турбін для малих ГЕС постачає МНТО «ІНСЕТ» і в чому особливість поставок?
18. Як виконується підбір гідротурбін?

19. Як здійснюється добір електричного обладнання малих ГЕС?
20. Конструкція, принцип роботи, переваги і недоліки турбіни «Д. Банкі»?
21. Особливості роботи ортогональних і вільно-потоккових гідротурбін?
22. Які конструкційні нововведення і в чому переваги роторно-лопатевої турбіни Самойленка?
23. Як працює гелікоїдна турбіна Горлова і де вона може бути використана?
24. Яка причина виникнення припливів і відпливів в океані?
25. В яких місцях Землі припливи особливо високі?
26. Який принцип дії припливної гідроелектростанції?
27. Яка перша в світі припливна гідроелектростанція?
28. Яка конструкція безребельних припливних прямоточних гідроенергетичних установок?
29. Який принцип дії хвильового термінатора?
30. Як працює австралійський перетворювач хвиль типу Oceanlinx?
31. Як працює «качка Солтера»?
32. Яка конструкція конвертора хвильової енергії Pelamis?
33. Який принцип дії гравітаційно-хвильового насоса?
34. Який принцип дії і переваги хвильової електростанції AWS?
35. Як використовують теплову енергію океану?
36. Чим корисний і небезпечний сірководень Чорного моря?
37. Які є принципи використання сірководню Чорного моря?
38. Які особливості кристалогідратів метану, що розташовані в Чорному морі?

6. ЕНЕРГІЯ БІОМАСИ

6.1. Енергетичний потенціал біомаси

Поняття біомаси

Те, з чого складаються рослини і тварини, прийнято називати

біомасою. Основа біомаси – органічні сполуки вуглецю, які в процесі з'єднання з киснем при згорянні або в результаті природного метаболізму виділяють тепло, рис. 6.1 Початкова енергія системи біомаса – кисень виникає в процесі фотосинтезу під дією сонячного випромінювання, яке є природним варіантом перетворення сонячної енергії [7].



Рис. 6.1. Схема планетарного круговороту біомаси



Рис. 6.2. Види перетворення біомаси

Біомаса є органічною речовиною рослинного або тваринного походження, яка може використовуватися в якості альтернативного джерела енергії. Звичайні форми біомаси – це деревина, солома, осад стічних вод, комунальні відходи, рис. 6.2. Значна кількість біомаси утворюється при виробництві і переробці продукції рослинниц-

тва (солома від зернових, лузга, качани кукурудзи, відходи лісової, деревообробної промисловості та виробництва паперу). До біомаси відносять також рослинний матеріал, який спеціально вирощується в енергетичних цілях, наприклад, плантації тополі та верби [11].

Енергія біомаси

Рослинна маса Землі оцінюється в 1800 млрд. тонн сухої речовини, що відповідає енергетичному потенціалу $30 \cdot 10^{18}$ кДж. Ліси становлять близько 68% маси суходолу, трава – 16%, оброблена земля – 8%. На Землі, завдяки фотосинтезу, щорічно продукується 173 млрд тонн сухої речовини, що в 20 разів перевищує сучасне використання енергії корисних копалин. Майже одну сьому частину енергії, використану в світі, отримують з біомаси [7], рис. 6.3.

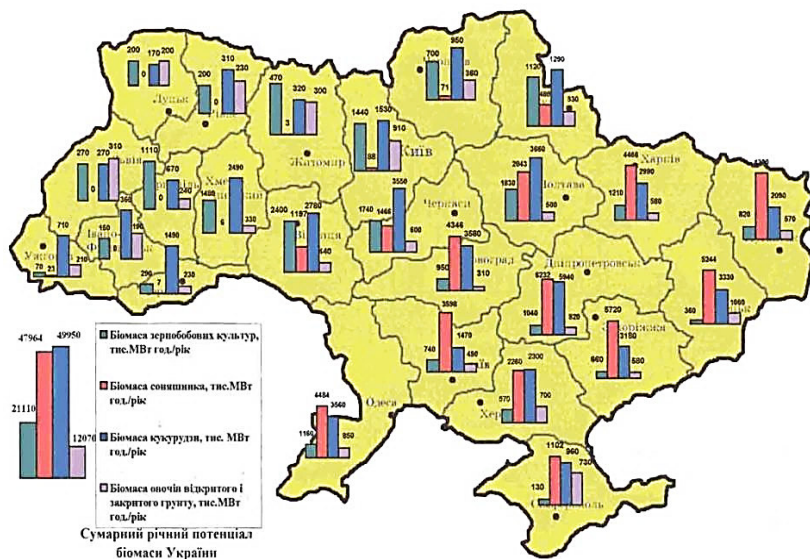


Рис. 6.3. Потенціал рослинної сільськогосподарської біомаси України

Для України біоенергетика є одним із стратегічних напрямків розвитку сектору відновлюваних джерел енергії, враховуючи

високу залежність країни від імпортних енергоносіїв, в першу чергу, природного газу, і великий потенціал біомаси, доступної для виробництва енергії. На жаль, темпи розвитку біоенергетики в Україні досі істотно відстають від європейських. На сьогоднішній день частка біомаси у валовому кінцевому енергоспоживанні становить 1,78%. Щорічно в Україні для виробництва енергії використовується близько 2 млн т у. п./рік біомаси різних видів. На деревину припадає найвищий відсоток використання економічно доцільного потенціалу – 80%, тоді як для інших видів біомаси (за винятком лушпиння соняшника) цей показник на порядок нижче. Найменш активно (на рівні 1%) реалізується енергетичний потенціал соломи зернових культур та ріпаку (станом на 2013 рік), рис. 6.4.

В Україні щорічно (2013) збирається понад 50 млн т зернових культур. У значних обсягах солома і рослинні відходи, як побічні продукти сільськогосподарського рослинництва. Річний технічно-досяжний енергетичний потенціал твердої біомаси в Україні є еквівалентним 18 млн т н.е., а його використання дає змогу щорічно заощаджувати близько 22 млрд м куб. природного газу. Найбільший потенціал твердої біомаси зосереджений у Полтавській, Дніпропетровській, Вінницькій та Кіровоградській областях і становить понад 1,0 млн т н.е./рік. Для визна-

Структура встановленої потужності об'єктів відновлюваної енергетики України, 2016 рік

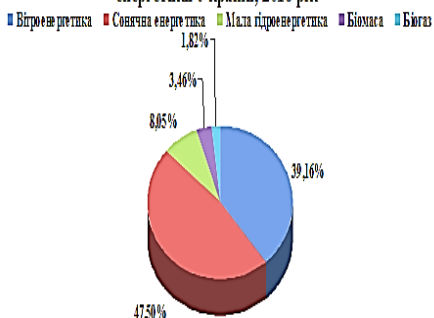


Рис. 6.4. Потужність об'єктів відновлюваної енергетики України, 2016 р.

чення виходу соломи і рослинних залишків використовують коефіцієнт відходів - відношення урожаю соломи або стебел рослин до урожаю зерна. За різними оцінками, на кожен тону зерна можна отримати 1,5–2,0 т соломи або рослинних залишків. 50–60% соломи пшениці, ячменю, жита використовується для утримання ху-

доби та удобрення ґрунтів, а стебла кукурудзи та соняшнику залишаються на полях після збирання врожаю, рис. 6.5.



Рис. 6.5. Різні види палива з біомаси

Таким чином, в Україні є достатній енергетичний потенціал соломи і рослинних відходів. Значна частина соломи після збирання пресується у тюки, брикети та пелети і використовується для опалення. На 14 підприємствах олійної промисловості спалюється понад 500 тис. т лушпиння соняшнику і 120 тис. т його гранулюється.

<https://saee.gov.ua/uk/ae/bioenergy>

Лісистість території країни становить близько 16% її загальної площі. Щорічно заготовлюється 16–17 млн м³ ділової деревини; відходи переробки деревини складають до 10 млн м³. На даний час близько 70% відходів деревини у вигляді тирси, трісок, дерев'яних гранул – пелет і брикетів використовується як біопаливо. Енергетичні культури – це окремі види дерев та рослин, що спеціально вирощуються для виробництва твердого біопалива. Вони поділяються на три окремі групи: швидкоростучі дерева; багаторічні трави (міскантус, шавнат); однорічні трави (сорго, тритикале).

<https://saee.gov.ua/uk/ae/bioenergy>

До енергетичних рослин також належать традиційні сільськогосподарські культури, що вирощуються з метою виробництва біодизельного пального (ріпак, соняшник), біоетанолу (кукурудза, пшениця) та біогазу (кукурудза). Одним із напрямків

використання біомаси є її переробка у рідке біопаливо: біодизель та біоетанол.

Таблиця 6.1

Потенціал енергії за видами біомаси, млн т у. п.

Біомаса	мін	макс
Рослинництво	8,3	40,6
Тваринництво	2,3	6,3
Деревина	1,7	2,7
ТПВ*	0,5	1,6
Стічні води**	0,1	0,3
ВСЬОГО:	12,9	51,5

6.2. Основні характеристики енергії біомаси

Біодизель – метилові



Рис. 6.6. Біоетанол, біодизель

та/або етилові етери (прості ефіри) вищих органічних кислот, отриманих із рослинних олій або тваринних жирів, що використовуються як біопаливо чи біокомпонент, рис. 6.6.

Біоетанол – спирт етиловий зневоджений, виготовлений з біомаси або спирту етилового сирцю для використання як біопалива.

Україна має необхідні умови для виробництва рідких біопалив, як за земельними ресурсами і рослинним потенціалом, так і за наявністю власних виробничих потужностей. Вже на сьогодні потенціал біомаси в Україні, придатний для рентабельного виробництва рідких біопалив (біоетанолу і біодизелю) дає підстави стверджувати про перспективність цього напрямку. Річний технічно-досяжний ене-

енергетичний потенціал рідкого біопалива в Україні є еквівалентним 1 млн т н.е. Його використання дає змогу щорічно заощаджувати близько 1,2 млрд м куб. природного газу. Найбільший потенціал рідкого біопалива зосереджений у Вінницькій та Полтавській областях, де він становить понад 90 тис. т н.е./рік. <https://saee.gov.ua/uk/ae/bioenergy>

Біогаз – газ, отриманий з біомаси, що використовується як



паливо, рис. 6.7. Виробництво енергії з біогазу не шкідливе для оточуючого середовища, оскільки не спричиняє додаткову емісію парникового газу CO_2 і зменшує кількість органічних відходів.

На відміну від енергії вітру і сонячного випромінювання, біогаз можна отримувати незалежно від кліматичних і погодних умов, а на відміну від викопних джерел енергії біогаз в Україні має дуже великий відновлюваний потенціал. Річний теоретичний потенціал біогазу в Україні становить 3,2 млрд m^3 .

Рис. 6.7. Біогаз у сільському господарстві

Найбільший потенціал біогазу зосереджений у Дніпропетровській, Донецькій та Київській областях і становить понад 150 тис. т н.е./рік.

Ефективним шляхом доповнення та заміни традиційних паливно-енергетичних ресурсів є виробництво та використання біогазу, який утворюється в результаті застосування технологій метанового зброджування тваринницької біомаси і на 60–70% складається з метану, Іншим джерелом біогазу є звалища сміття на полігонах твердих побутових відходів, рис. 6.8 і рис. 6.9. <https://saee.gov.ua/uk/ae/bioenergy>

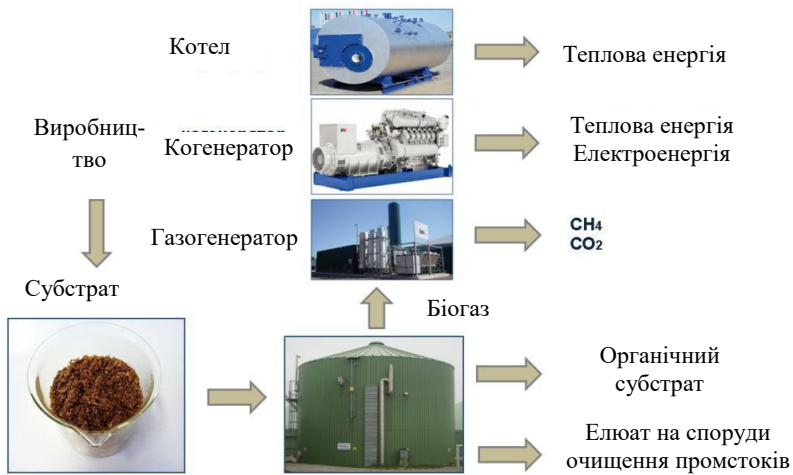


Рис. 6.8. Біогазові установки



Рис. 6.9. У Львові вироблятимуть біогаз з мулу стічних вод

Крім цього, джерелом біогазу є стічні води. Утилізація відстоїв міських і промислових стічних вод забезпечує вирішення важливих екологічних, енергетичних і соціальних проблем міст, особливо мегаполісів. Відстої міських і промислових стічних вод мають у своєму складі велику кількість органічних речовин.

За рахунок використання біогазу, отриманого в результаті анаеробної ферментації біомаси, можна замінити наступні види палива: природний газ та зріджені гази, що використовуються для енергозабезпечення промислових і побутових потреб; бензин, дизельне паливо та гас у двигунах внутрішнього згоряння.

Застосування біогазу дає змогу отримувати теплову та електричну енергію, що є особливо привабливим для фермерських господарств.

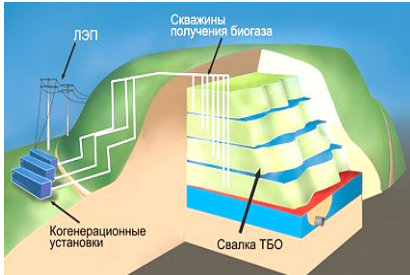


Рис. 6.10. Біогаз з законсервованого сміттєзвалища

довищ. Завдяки тому, що звалища ТПВ містять значну кількість органічних відходів, у товщі звалища в умовах обмеженого доступу кисню, органічні речовини під дією природних метаноутворюючих бактерій піддаються процесу анаеробної ферментації з утворенням біогазу.

Біогаз є багатокомпонентним газом, склад його може змінюватися залежно від морфологічного складу відходів, що потрапляють на звалища, та умов їх захоронення. Проте, основними компонентами біогазу є метан (40–60%) і вуглекислий газ (30–45%). <https://sace.gov.ua/uk/ae/bioenergy>



Рис. 6.11. Перспективи енергетичної утилізації твердих побутових відходів (ТПВ)

На миколаївському міському полігоні твердих побутових відходів відбулося відкриття заводу з виробництва електричної енергії з біогазу, рис. 6.12. Функціонування заводу дозволить заощадити споживання природного газу, генерувати до 9,3 мільйона КВт електроенергії в рік і позитивно впливати на стан навколишнього середовища.



Рис. 6.12. Завод генерації електроенергії з побутових відходів

Міському полігону вже більше 40 років і товщина сміттевого шару становить 50 метрів. В результаті розкладання органічної частини відходів утворюється біогаз, до складу якого входить метан. Крім шкоди для навколишнього середовища, метан ще і дуже пожежо-небезпечний. Однак може використовуватися в якості палива для енергетичних установок, рис. 6.13. <https://news.pn/ru/public/145365>

6.3. Технологічні аспекти виробництва біопалива

Біопаливо – це паливо із біологічної сировини, що отримується в основному в результаті переробки стебел цукрової тростини чи насіння рапсу, кукурудзи та сої. Розрізняють рідке біопаливо для двигунів внутрішнього згорання (енатол, метанол, диметилевий ефір, біодизель), тверде паливо (дрова, солома, смола) та газоподібне (біогаз, біоводень) [3].



Рис. 6.13. Склад біогазу при розкладанні твердих побутових відходів



Рис. 6.14. Завод із виробництва етанолу в штаті Небраска, США



Рис. 6.15. Виробництво біоетанолу в Північному Казахстані

Біоетанол – звичайний етанол, що отримується в результаті переробки рослинної сировини для використання у якості біопалива, рис. 6.14 і рис. 6.15. Світове виробництво біопалива у 2005 році становило 36,3 млрд л, з яких 45% було вироблено в Бразилії і 44,7% в США. В даний час більша частина біоетанолу виробляється із кукурудзи та цукрової

тростини. Сировиною для виробництва біоетанолу також можуть бути різного роду сільськогосподарські культури із великим вмістом крохмалю чи цукру: картопля, цукровий буряк, сорго, ячмінь, маніок, пшениця, кукурудза, жито [1].

«Суть технології виробництва біоетанолу полягає в тому, що сировина розмелюється на частинки до 180–200 мікронів (мікрометрів), потім додається вода, і цю масу розділяють на дві фракції – крохмаль і клейковину, рис. 6.16 і рис. 6.17. Із крохмалю, точніше крохмального молока, одержують звичайний етиловий спирт 96,5°. В цеху зневоднення з нього видаляють сивушні масла й альдегіди, потім масу нагрівають і пропускають через молекулярні сита, де за певної температури відбувається зневоднення».

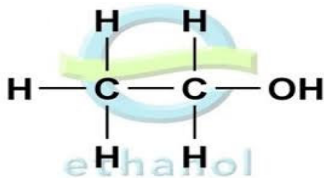


Рис. 6.16. Хімічна формула етанолу C_2H_5OH

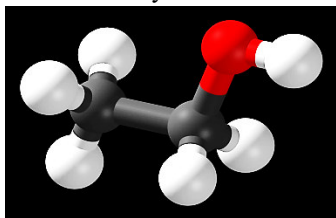


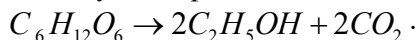
Рис. 6.17. Модель етанолу

рії гинуть. Отриманий таким шляхом етанол потребує очистки та концентрування, зазвичай шляхом дистиляції, рис. 6.18 і рис. 6.19.

Вихід кінцевого продукту із 1 тони сировини (сухий помел) представлений в таблиці 6.2.

Крім цього етанол виробляють методом зброджування цукру, глюкози, сахарози за допомогою дріжджів і наступною перегонкою з метою обезводнення.

Ця реакція представлена у вигляді наступного рівняння



В результаті бродіння отримується розчин, який містить не більше 15% етанолу, так як в більш концентрованих розчинах дріжджові бактерії гинуть.

Таблиця 6.2

Вихід біоетанолу із 1 тони сировини

Сировина	Етанол, л	Суха барда, кг	CO ₂ , кг
Пшениця	375	330	370
Жито	257	390	350
Ячмінь	330	430	320
Кукурудза	410	300	400



Рис. 6.18. Кому заважає біоетанол?

Біоетанол, як паливо є нейтральним у якості парникових газів. Він володіє нульовим балансом оксиду вуглецю, оскільки при його виробництві шляхом бродіння і подальшого згорання виділяється стільки ж CO₂, скільки і до цього було зв'язано із атмосфери рослинами, які були

використані для його виробництва [3].

Вуглець, що міститься в етанолі, дозволяє більш повно спалювати вуглеводні палива. Десятивідсотковий вміст етанолу в бензині дозволяє скоротити викиди аерозольних частинок до 50%, а викиди вуглекислого газу – на 30%. Паливні суміші етанолу розрізняють за наступним маркуванням:



Рис. 6.19. Зберігання і перевезення етанолу

Е5, Е7, Е10 – суміші із низьким вмістом етанолу (5, 7, 10 вагових відсотків відповідно). У цьому випадку додавання етанолу не тільки зекономить бензин, шляхом його заміщення, але і дозволить видалити шкідливу добавку метилтрибутилового

ефіру, який є одним з представників простих ефірів [3]. Використовують також суміші Е85, Е95, Е100.

Етиловий спирт, на відміну від метилового, утворює з водою азеотроп. В азеотропному стані концентрація спирту в парі та рідині, з якої утворюється ця пара, збігаються, рис. 6.20. Для етилового спирту й води це відповідає масовій частці спирту 95,57%.

Окремі галузі господарства використовують дегідратований або абсолютований етиловий спирт.

<https://helpiks.org/7-64416.html>

Меляса – побічний продукт цукрового виробництва (містить близько 80% сухих речовин і 20% води). Сухі речовини представлені цукрами, безазотистими органічними та азотовмістними мінеральними речовинами. Основний цукор меляси – сахароза. У сухих речовинах її 45–50%. Міститься також 0,1–0,5% інвертного цукру (суміші глюкози і фруктози) та 0,5–2% рафінози. Всі інші сухі речовини меляси – нецукри, вони визначають якість меляси як сировини спиртового виробництва

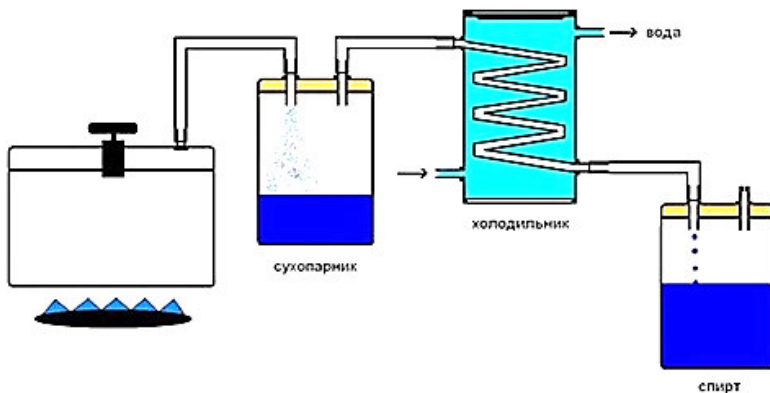


Рис. 6.20. Принципова схема виробництва біоетанолу

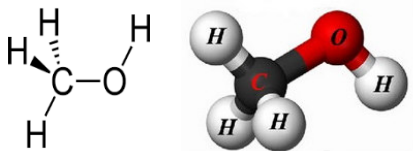


Рис. 6.21. Структурна схема біометанолу CH_3OH



Рис. 6.22. В таких реакторах масло з фітопланктону перетворюється в біопаливо

Ще одним видом палива є **біометанол**, який виробляється з біомаси та використовується у якості біопалива, рис. 6.21 і рис. 6.22. Сировиною для цього палива є водорості, що найшвидше ростуть на планеті. Початкове виробництво біомаси здійснюється шляхом культивування фітопланктону у штучних водоймах, що створюються на морському побережжі, рис. 6.23.

Вторинні процеси представляють собою метанове бродіння біомаси та подальше гідроксилювання метану з отриманням метанолу [3].

Основними перевагами використання мікроскопічних водоростей є:

- висока продуктивність фітопланктону (до 100 т/га в рік);



Рис. 6.23. Вирощування мікробіодоростей у відкритих чеках

- у виробництві не використовуються родючі землі та прісна вода;

- процес не конкурує з сільським господарством;
- Енерговіддача процесу на стадії отримання метану становить 14, на стадії отримання метанолу 7 [3].

Недоліки: Культивування мікробіодоростей об-

ходиться занадто дорого.

Бутанол або бутиловий спирт з формулою C_4H_9OH представляє собою безкольорову отруйну рідину с ярко-визначеним

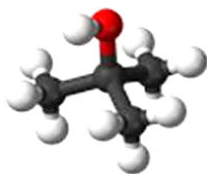


Рис. 6.24. Біобутанол або бутиловий спирт

запахом сивушної олії, рис. 6.24. В світі відомі 4 види бутанолів:

- нормальний первинний бутиловий спирт $CH_3(CH_2)_3OH$,
- нормальний вторинний бутиловий спирт $CH_3CH_2CH_2(OH)CH_3$,
- ізобутиловий спирт $(CH_3)_2CHCH_2OH$ і
- триметилкарбинол $(CH_3)_3COH$.



Рис. 6.25. Виробництво біобутанолу від 130 до 150° С и тиску в 20–35 МПа.

<http://zaryad.com/2011/05/01/biobutanol>

В промислових об'єктах бутанол отримують шляхом оксосинтезу із пропілена с додаванням до реакції нікель-кобальтових каталізаторів. Реакція проходить при температурах

Завдяки своїм фізичним властивостям, економічності, безпечності, а також через те, що його застосування не потребує перероблення двигуна, бутанол може замінити бензин в якості палива, рис. 6.25. Порівняно з етанолом, бутанол може бути змішаний в більших пропорціях з бензином і використовуватися в автомобілях без модифікації системи формування повітряно-паливної суміші.

Бутанол виділяє чистої енергії за робочий цикл більше, ніж етанол чи метанол і приблизно на 10% більше, ніж бензин.

Серед переваг бутанолу перед етанолом можна виділити наступні:

- бутанол містить на 25% більше енергії у порівнянні з етанолом;
- бутанол безпечний у використанні, оскільки випаровується в шість разів менше ніж етанол і має у 13,5 разів меншу летючість, порівняно з бензином;
- бутанол менш агресивна речовина, порівняно із етанолом, оскільки може транспортуватися по існуючим паливним трубопроводам, тоді як етанол повинен транспортуватися залізничним або водним транспортом.

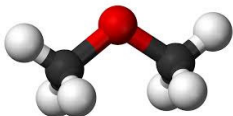
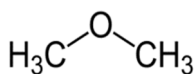


Рис. 6.26. Диметиловий ефір – структурна форма $\text{C}_2\text{H}_6\text{O}$

Диметиловий ефір (ДМЕ) як хімічну речовину одержали порівняно давно й вивчили достатньо добре, рис. 6.26. Донедавна його використовували

в парфумерії та як холодоагент і розчинник. В нормальних умовах це газ без кольору, майже не має запаху, в рідкому стані нагадує воду, хімічна формула – $\text{CH}_3\text{-O-CH}_3$; густина за температури 20°C – $2,091\text{ кг/м}^3$; температура кипіння – $23,65^\circ\text{C}$; спалаху в закритому тиглі – $41,1^\circ\text{C}$; самозаймання в повітрі – 350°C , рис. 6.27. ДМЕ характеризується коротким напівперіодом існування в тропосфері (менше одного дня); не надходить в стратосферу, повністю розкладається на воду та диоксид вуглецю, нетоксичний, неконцерогенний, немутагенний [3].

Існує два сорти ДМЕ: вищий і нижчий. Вищий сорт ДМЕ містить не менше 99,5% ефіру, його використовують

у парфумерії; нижчий має не менше 95% ефіру, його застосовують як паливо для дизельних двигунів.

ДМЕ має низку переваг, порівняно з іншими альтернативними паливами й дизельним паливом за наступними п'ятьма показниками:



Рис. 6.27. Зберігання диметилефіру

Хімічний:

- не має хімічних сполук «вуглець» – «вуглець», що знижує схильність до сажоутворення під час горіння;

- вміст до 35% зв'язаного кисню забезпечує повноту згорання ДМЕ (завдяки чому в камері згорання немає нагару й сажистих частинок у відпрацьованих газах)

та зниження температури горіння палива в камері згорання і, як наслідок, зниження оксидів азоту у відпрацьованих газах, усуває димність відпрацьованих газів;

- добра самозаймистість у циліндрах дизельного двигуна (цетанове число ЦЧ=55–60 порівняно з ЦЧ=45–50 для дизельного палива, не кажучи вже про інші види альтернативних палив: метанол, етанол, а також природний газ), що робить його ідеальним як паливо для дизелів [3].

Фізичний:

- добра випаровуваність, що призводить до швидкої газифікації впорскуваного в циліндри палива й сприяє вдосконаленню процесу сумішоутворення, поліпшенню економічності за зниження тиску впорскування.

- за фізичними властивостями ДМЕ подібний до пропан-бутанових газів, які широко використовуються як газоподібне паливо для двигунів внутрішнього згорання.

- ДМЕ треба зберігати так само як пропан і бутан, у зрідженому (скрапленому) стані в балонах під тиском 1–1,5 МПа, а технологія роботи зі скрапленими газами добре відпрацьована.

Екологічний:

- зниження рівня викидів шкідливих речовин у відпрацьованих газах. Так, за викидами менше стандарту Євро-4; в шестеро – оксиду вуглецю (CO₂); вчетверо – вуглеводнів (CH); вчетверо – твердих часток (сажа і кіптява) і на 20% – оксидів азоту.

- відсутність в ДМЕ сірки, вирішує проблему вмісту оксидів сірки у відпрацьованих газах, що є однією з найактуальніших проблем використання нафтових дизельних палив;

- ДМЕ є екологічно чистим продуктом, який не завдає шкоди навколишньому середовищу, бо, потрапляючи в атмосферу, швидко розкладається на воду і диоксид вуглецю [3].

Економічний:

- підвищення ефективного коефіцієнта корисної дії до 60–65% порівняно з 35–45% для двигунів, що працюють на рідкому паливі.

Експлуатаційний:

- зниження динаміки циклу й тиску згоряння, що підвищує надійність роботи двигуна й знижує на 10 дБ його шумність;

- не має потреби у будівництві спеціальних автомобільних заправних станцій (АЗС), оскільки за своїми фізико-технічними властивостями (крім цетанового числа) ДМЕ подібний до зріджених газів, тому для заправлення можна використати наявні автомобільні газонаповнювальні станції (АГНС). У цьому разі АГНС стає двопаливною заправкою (зріджений газ і ДМЕ), аналогічно діючим АЗС (бензин і дизельне паливо).

Найістотнішими недоліками ДМЕ як палива для дизельного двигуна є менша теплота згоряння та низька кінематична в'язкість.

Нижча теплота згоряння ДМЕ в 1,5 рази менша за теплоту згоряння дизельного палива (28900 проти 42500 кДж/кг), що призводить до збільшення витрати ДМЕ в 1,5–1,6 рази порівняно з дизельним паливом. Це потребує відповідного співвідношення цін ДМЕ і дизельного палива, щоб забезпечити конкурентноспро-

можність ДМЕ. Його ціна має бути вдвічі нижча за ціну дизельного палива, а це може бути досягнуто за крупномасштабного виробництва ДМЕ на установках великої потужності.

Недоліком ДМЕ є також низька кінематична в'язкість (на порядок менша порівняно з дизельним паливом), внаслідок чого ускладнюється герметизація рухомих вузлів ущільнення паливної апаратури, та незадовільні мастильні властивості, що потребує спеціальних протиспрацювальних присадок або ж принципово іншої системи подавання ДМЕ в камеру згоряння. Існує також проблеми ущільнень, оскільки ДМЕ – сильний розчинник і руйнує гумові вироби.

Та незважаючи на недоліки, інтерес до ДМЕ як палива для дизельних двигунів зростає. Ним зацікавилися відомі фірми Японії, Франції, США, Великої Британії, Німеччини, а в деяких країнах (Швеція, Данія, Швейцарія) дизельні двигуни міського транспорту вже перевели на ДМЕ [3].

У Росії теж зростає інтерес до ДМЕ. Ще в травні 2004 року з'явилося розпорядження російського уряду «Об организации работ по внедрению диметилового эфира на транспорте в качестве экологически безопасного альтернативного топлива», рис. 6.28 і рис. 6.29.

Перша партія екологічно чистих автомобілів – 30 рефрижераторів на шасі ЗИЛ-5301 «Бичок» – проходить випробування в АТП Москви. Підготовлено три модернізації двигунів цих автомобілів: перша – використовує ДМЕ як добавку до дизельного пального; друга – двопаливна: основне паливо ДМЕ, дублююче – дизельне; третя – двигун працює тільки на ДМЕ [3].

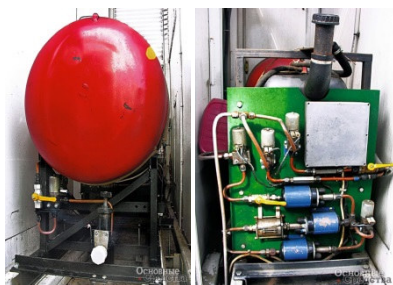


Рис. 6.28. Розміщення балона по-заду кабіни «Бичка» і блок паливних насосів для ЗИЛ 5301



Рис. 6.29. Експлуатаційні випробування «Бичка» в «Мосавтохолод»

Біодизель – це рідина жовтого кольору, рис 6.30 і рис. 6.31. Майже не змішується з водою, має високу температуру кипіння та низьку пружність пари.

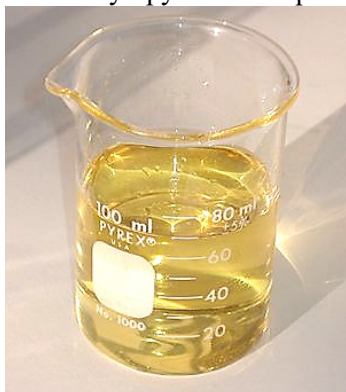


Рис. 6.30. Біодизель



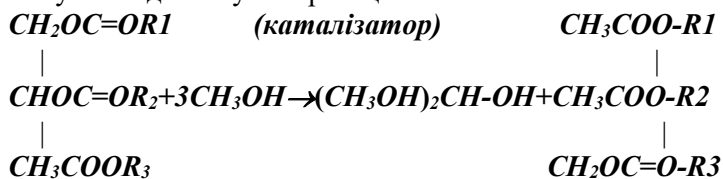
Рис. 6.31. Рапсове поле

Відносна висока температура займання біодизелю 150°C робить паливо досить безпечним у плані протипожежної безпеки. Густина біодизелю $0,86\text{ г/см}^3$. Виготовлений із незабрудненої сировини, біодизель є нетоксичним, В'язкість біодизелю та звичайного дизельного пального однакова. Для позначення палива, що містить біодизель застосовується латера «В». В100 – 100% біодизелю. В20 – 20% біодизелю, 80% звичайного дизельного пального [3], рис. 6.32.



Рис. 6.32. Процес виробництва біодизелю із ріпаку

Найпоширенішим способом отримання біодизелю є етерифікація рослинної олії. Процес виробництва біодизелю можна представити у вигляді наступної реакції:



де R_1 , R_2 , R_3 – довгі ланцюги вуглецю та водню. Як каталізатор найчастіше використовується гідроксид натрію або калію. Час, необхідний для реакції, становить від 1 до 8 годин. Найчастіше реакція протікає при 70°C (температура кипіння спирту). Зі зменшенням температури на 10°C швидкість реакції уповільнюється вдвічі, рис. 6.33.

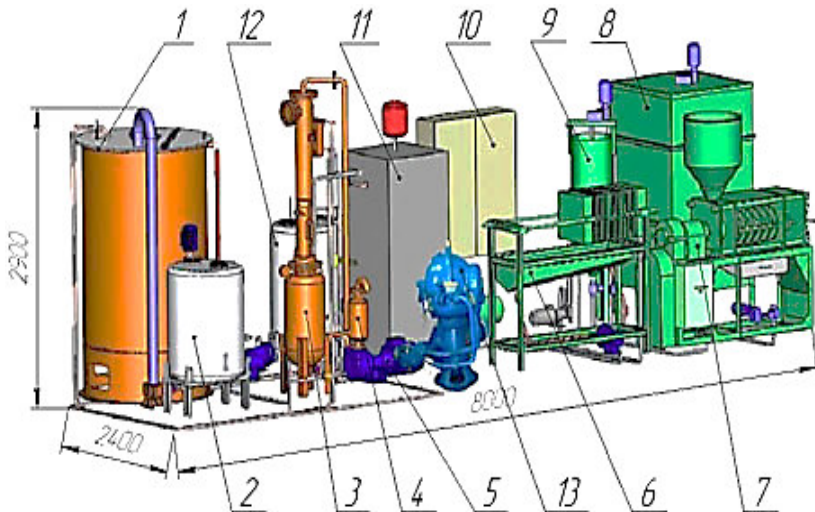


Рис. 6.33. Загальна схема обладнання міні-заводу МЗДП-1 для виробництва дизельного біопалива:

1 – реактор; 2 – місткість для суміші метанолу та КОН; 3 – апарат ректифікації; 4 – адсорбер; 5 – вакуум-насос; 6 – фільтр-прес; 7 – відтискний прес; 8 – місткість для накопичення олії; 9 – відстійник; 10 – шафа керування; 11 – водонагрівач; 12 – місткість для води; 13 – сепаратор

Технологічний процес на обладнанні міні-заводу для виробництва дизельного біопалива МЗДП-1, рис. 6.33, проходить наступним чином: насіння ріпаку автоматично, за допомогою шнекового транспортера, подається на відтискний прес 7, з якого олія поступає у відстійник-очишувач 9, де звільняється від шламу (фузу), який насосом повертається для додаткового відтискання у прес. Попередньо очищена олія з відстійника 9 для повного очищення від фосфатів подається у фільтр-прес 6, а потім у збірник чистої олії 8, в якому очищується абсорбентом «Фосфолісорб» і підігрівається до заданої температури. Підігріта і попередньо очищена олія насосом подається в реактор 1. Туди ж перекачується з місткості 2 розчин каталізатора у метанолі. При постійному кавітаційному змішуванні і підігріванні реагентів за допомогою водонагрівача 11 і водяного контуру, в реакторі проходить реакція переестерифікації олії, завдяки чому утворюються РМЕ

(естери), які за характеристиками близькі до нафтового дизельного палива. <https://nubip.edu.ua/node/2342/6>



Рис. 6.34. Сировина для біогазу

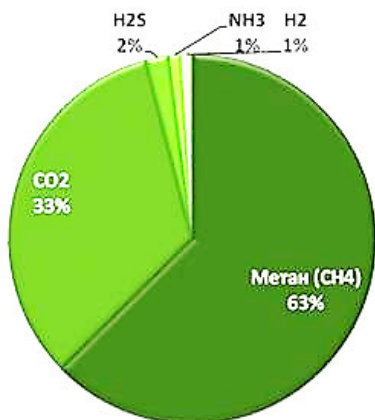


Рис. 6.35. Склад біогазу

тів та врожайність різних культур на 10–50%. Біогаз, що виділяється у процесі складного бродіння органічних відходів, складається із суміші газів: метану – 55–75%, вуглекислого газу – 23–33%, сірководню – 7%.

Бродіння біомаси – бактеріальний процес. Головною умовою його протікання та утворення біогазу є наявність у біомасі тепла

Біогаз – газоподібне паливо, продукт анаеробного мікробіологічного розкладу органічних речовин. Біогаз отримують в процесі анаеробної (без доступу повітря) ферментації (розкладу) органічних речовин (біомаси) різного походження: пташиний послід, листя, солома, інші органічні відходи. Таким чином біогаз можна виробляти із усіх господарсько-побутових відходів, що мають здатність бродити та розкладатись у рідкому чи твердому стані без доступу кисню. Анаеробні установки дають можливість переробляти будь-яку органічну масу при перебігу процесу у дві фази: розклад органічної маси (гідротация) та її газифікація, рис. 6.34 і рис. 6.35.

Застосування в якості добрив органічної маси, що пройшла процес мікробіологічного розкладу у біогазових установках, підвищує родючість ґрунтів

без доступу повітря. Для цього створюються спеціальні ферментатори. Основною органічною сировиною, що завантажується в ферментатор є гній, рис. 6.36.

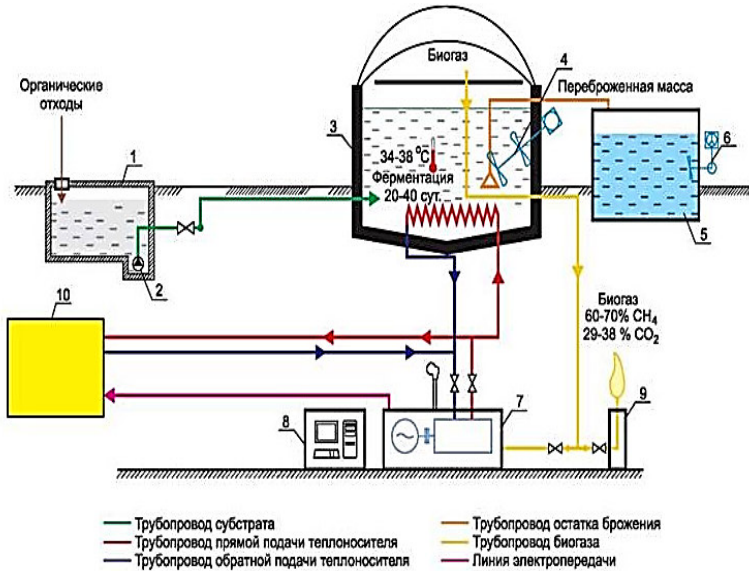


Рис. 6.36. Структурна схема біогазової установки:

- 1 – пункт приймання стоків; 2 – насос; 3 – метантенк (ферментер);
 4, 6 – мішалка; 5 – резервуар для зберігання органічного добрива;
 7 – когенераційна установка; 8 – пульт системи контролю та управління;
 9 – факел безпеки; 10 – споживач

Протягом першого етапу завантаження в ферментатор гною великої рогатої худоби, тривалість процесу ферментації повинна бути 20 діб, гною свиней – 30 діб. Експериментальним шляхом встановлено, що при завантаженні різних органічних компонентів отримується більша кількість газу. Наприклад, при одночасному завантаженні гною великої рогатої худоби і пташиного посліду, у біогазі може міститися до 70% метану, що значно підвищує ефективність біогазу як палива.

6.4. Проектування біогазової установки

Методика визначення технічних параметрів метантенку [2] зводиться до наступного:

1. Об'єм відстійника гною:

$$V_n = k \cdot m_\partial \cdot t_{c\partial} / \rho_n, \quad (6.1)$$

де k – коефіцієнт, що враховує зміну щільності гною, в залежності від початкової вологості ($k = 1,5$); $t_{c\partial}$ – період накопичення гною – тривалість зброджування в метантенку (від 8 до 20 діб); m_∂ – добовий вихід гною з початковою вологістю ω (близько 92%), кг/добу;

$$\omega = \frac{m_\partial}{m_\partial} = \frac{m_\partial - m_{\partial\partial}}{m_\partial}, \quad (6.2)$$

тоді

$$m_{\partial\partial} = m_\partial(1 - \omega), \quad (6.3)$$

де $m_{\partial\partial}$ – добовий вихід сухого зброджуваного матеріалу, кг / добу; ρ_n – щільність гною, кг/м³ ($\rho_n = 1020$ кг/м³).

2. Обсяг метантенка:

$$V_m = m_{\partial\partial} \cdot t_{c\partial} \cdot v, \quad (6.4)$$

де v – питома вага рідкої маси на 1 кг сухого зброджуваного матеріалу, $v = 0,02$ м³/кг.

3. Добовий вихід біогазу, м³/добу:

$$B_\partial = m_{\partial\partial} \cdot b, \quad (6.5)$$

де b – питома вихід біогазу, що припадає на 1 кг переробленого гною (від 0,2 до 0,4 м³/кг).

4. Загальна теплова енергія одержуваного біогазу, МДж/добу:

$$Q_{заг} = B_\partial \cdot Q_\partial, \quad (6.6)$$

де $Q_\partial = 20-25$ МДж/м³ – теплота згоряння біогазу.

5. Витрата теплоти на нагрівання рідкої маси в метантенку (МДж/добу) з $t_1 = 15^\circ$ С до $t_2 = 35^\circ$ С (мезофільних режим).

$$Q_n = c_n \cdot m_{\partial\partial} \cdot v \cdot \rho_n (t_2 - t_1) / \eta, \quad (6.7)$$

де c_n – теплоємність рідкої маси ($c_n = 0,00406$ МДж/(кг·С)); η – ККД нагрівального пристрою ($\eta = 0,7$).

6. Витрата теплоти на власні потреби, МДж/добу:

$$Q_{в.п} = 1,06 Q_n, \quad (6.8)$$

де 1,06 – коефіцієнт, що враховує теплові втрати.

7. Загальна кількість біогазу, що йде на власні потреби, м³/добу:

$$B_{в.н} = Q_{в.н} / Q_{б.} \quad (6.9)$$

8. Вихід товарного біогазу, м³/добу:

$$B_{б.т} = B_{б.} - B_{в.н.} \quad (6.10)$$

9. Коефіцієнт витрати біогазу на власні потреби (0,15–0,5):

$$\varphi_{б.} = B_{в.н.} / B_{б.} \quad (6.11)$$

10. Об'єм газу в газгольдері, м³:

$$V_z = t_{н.б.} \cdot B_{б.т}, \quad (6.12)$$

де $t_{н.б.}$ – період накопичення біогазу, діб; $t_{н.б.} = t_{с.б.}$.

11. Теплова потужність пристрою (МДж/добу), що використовує біогаз, розраховується за наступною формулою [3; 5]

$$N = \eta_n \cdot Q_n^p \cdot B_{б.т} \cdot f_m, \quad (6.13)$$

де η_n – ККД пристрою для спалювання газу; Q_n^p – теплота згорання метану при нормальних фізичних умовах, $Q_n^p = 28$ МДж/м³; $f_m = r_{МН4}$ – об'ємна частка метану в біогазі.

Розрахунок газгольдера [4]

Тиск в газгольдері низького тиску визначається вагою дзвона або вантажу:

$$p_z = (mg) / S, \quad (6.14)$$

де m , S – маса і площа горизонтальної проекції дзвона або вантажу відповідно.

Приймаємо дзвін газгольдера циліндричної форми з діаметром D і висотою $H = 1,5 D$. Тоді діаметр газгольдера можливо визначити з рівняння

$$1,2V_z = (\pi D^2 / 4) \cdot H = (\pi D^2 / 4) \cdot 1,5D. \quad (6.15)$$

Звідси

$$D = \sqrt[3]{1,02 \cdot V_z}. \quad (6.16)$$

Тоді

$$S = \pi D^2 / 4. \quad (6.17)$$

Об'єм металу в газгольдері V_m при товщині стінок $\delta = 6$ –12 мм становить (м³)

$$V_m = 1,1[\pi D \cdot \delta \cdot H + (\pi D^2 / 4) \cdot \delta]. \quad (6.18)$$

Маса металу в газгольдері

$$m = \rho_m \cdot V_m, \quad (6.19)$$

де ρ_m – густина металу, $\rho_m = 2700 \text{ кг/м}^3$.

Маса газу в газгольдері визначається з рівняння Менделєєва-Клапейрона:

$$pV_g = m_g \cdot R \cdot T, \quad (6.20)$$

де m_g – маса біогазу; R – газова постійна біогазу; T – температура біогазу, p – абсолютний тиск в газгольдері, причому

$$p = p_g + p_{am}, \quad (6.21)$$

де p_{am} атмосферний тиск, $p_{am} = 101325 \text{ Па}$.

Стала біогазу R залежить від його складу. Якщо склад біогазу заданий об'ємними частками r_{CH_4} та r_{CO_2} , то кіломолярна суміші μ визначається за формулою

$$\mu = \mu_{CH_4} \cdot r_{CH_4} + \mu_{CO_2} \cdot r_{CO_2}. \quad (6.22)$$

Тоді газова стала біогазу (Дж/(кг·К))

$$R = R_u / \mu = 8314 / \mu, \quad (6.23)$$

де R_u – універсальна газова стала, $R_u = 8314 \text{ Дж/(кг·К)}$.

Температуру біогазу (К) приймаємо рівною температурі оточуючого середовища $T = T_{o.c.}$.

$$T_{o.c.} = t_{o.c.} + 273, \quad (6.24)$$

де $t_{o.c.}$ – температура оточуючого середовища, °С.

Перепад рідини зовні і під дзвоном в мокрому газгольдері визначається з основного рівняння гідростатики:

$$h = p_s / (\rho g). \quad (6.25)$$

6.5. Виробництво та використання твердого біопалива

Методи одержання енергії з біомаси. Практично усі види «сирої» біомаси досить швидко розкладаються, тому тільки деякі придатні для довгострокового зберігання [75]. Методи одержання енергії з біомаси засновані на наступних процесах:

Пряме спалювання біомаси. Термохімічне перетворення біомаси на збагачене паливо. Процеси цієї категорії включають піроліз, газифікацію і скраплення.

Біологічне перетворення. Такі природні процеси, як анаеробне бродіння і ферментація приводять до утворення корисного газоподібного або рідкого палива.

Спалювання. Технологія прямого спалювання являє собою найбільш простий процес отримання енергії з біомаси. Вона проста, добре вивчена і комерційно доступна. Існує безліч типів систем прямого спалювання, в яких можна спалювати різні види палива: солом'яні тюки, дрова, тверді побутові відходи. Тепло, що утворюється, може використовуватися для опалення і гарячого водопостачання, для виробництва електроенергії й у промислових процесах. Однією з проблем, зв'язаних з безпосереднім спалюванням, є його низька ефективність. У випадку використання відкритого полум'я велика частина тепла втрачається.

Найбільш часто при спалюванні біомаси використовується деревина. Заміна вугільних або мазутних котлів централізованого теплопостачання на твердопаливні котли знижує витрати споживачів тепла на 20–60%, оскільки вартість деревини нижче вартості вугілля і мазуту. У той же час, твердопаливні котли більше екологічні. У процесі роботи вони викидають в атмосферу ту ж кількість вуглекислого газу, що була поглинена деревами в процесі росту [75].

Малі твердопаливні котли

Твердопаливний котел може забезпечити теплом і гарячою водою весь будинок – це найкраще рішення. На більш великих об'єктах економія за рахунок використання деревини настільки значна, що тут має сенс встановити автоматичні котли, що спалюють гранули (пелети).

Багато твердопаливних котлів малого розміру завантажуються дровами вручну. Зазвичай вони комплектовані бункером для збереження палива. Ручні котли для спалювання дров і автоматичні котли для тріски і деревних гранул відрізняються між собою. Ручні котли комплектуються баком-акумулятором для нагромадження енергії, отриманої при спалюванні палива. Автоматичні котли обладнані ємністю для подачі тріски або гранул. Паливо подається шнековим конвеєром відповідно до необхідного навантаження будинку.

За останні 10 років великий прогрес досягнуто в удосконаленні обох видів котлів з метою підвищення ефективності і зниження емісії (пилу і монооксиду вуглецю). Поліпшення стосу-

ються конструкції топкової камери, подачі повітря й автоматизації контролю процесу згоряння. Для ручних котлів ефективність збільшилася від 50% до 75–90%. Ефективність автоматичних котлів виросла з 60% до 85–92%, рис. 6.37.

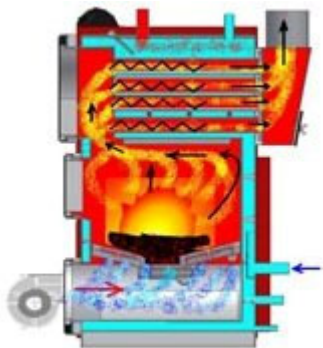


Рис. 6.37. Твердопаливні котли з ручним управлінням

Котли поділяються на такі модифікації:

- Дров'яні котли – переважна сировина – добре висушені дрова (не більше 15–20% вологість).
- Вугільні котли – переважна сировина – кам'яне вугілля.
- Котли пелетного типу – переважна сировина – паливні пелети.
- Котли універсальні – переважна сировина – все, що горить і входить в топку! Остання з представлених модифікацій відмінно служить на виробництві. Купити твердопаливний котел – це значить забезпечити безкоштовну утилізацію горючих відходів, а також отримати безкоштовну теплову енергію.

Наступна категорія твердопаливних котлів ціною трохи вище інших аналогів в даній групі, але при цьому вони найбільш продуктивні і економічні. Йдеться про наявність в концепції котлів автоматики, такий, як термостатичний тяговий регулятор, вентилятор для посилення тяги, контролерів термостатів.

Наявність сучасної котельної автоматики дозволяє значно забезпечити сам процес нагріву теплоносія, так і оптимізувати температуру горіння палива.

Дуже непогано себе показали опалювальні прилади з даної категорії з системою примусової тяги. Повітронегрівник даного котла повільно роздмухує полум'я, тим самим підтримуючи стабільно високу температуру горіння.

Лідер продажів в даній категорії за показником ККД – це піролізний котел. Цей опалювальний агрегат крім палива спалює і газ, що виділяється при повільному горінні котла в середовищі, збагаченої вуглекислим газом з малим вмістом в ній кисню.

URL: <https://volar.com.ua/ua/shop/kotly-tverdoplivnyye/>

Автоматизований пелетний котел показаний на рис. 6.38, [78].

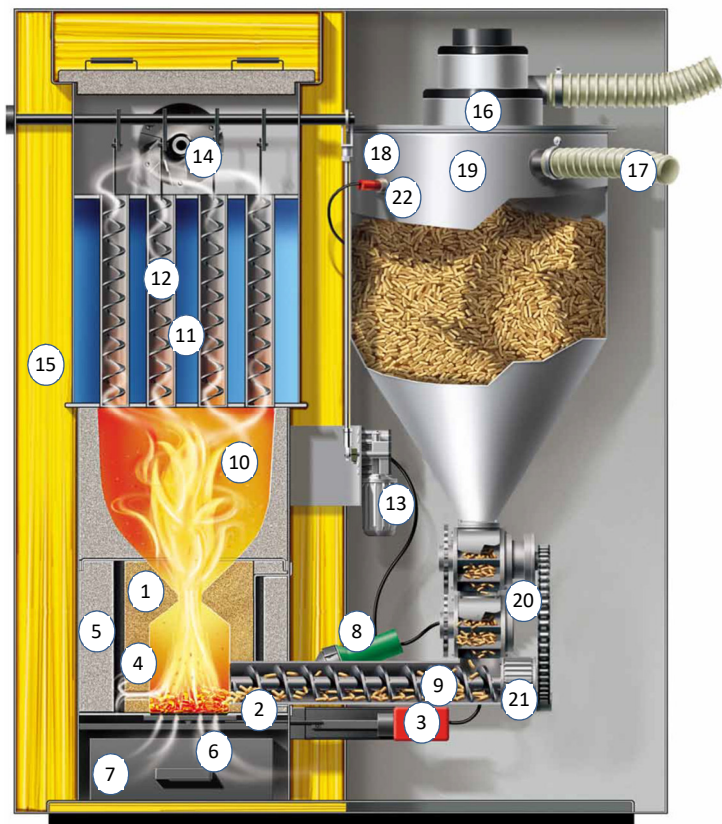


Рис. 6.38. Автоматизований пелетний котел з прямим шнеком RAD фірми Hargassner для опалення потужністю 9–25 кВт:

1 – вогнетривка камера, 2.– рухома решітка, 3 – двигун приводу решітки, 4 – потік вторинного повітря з впускними отворами, 5 – високотемпературні плити, 6 – первинне повітря, 7 – бак для води, 8 – автоматичний пристрій розпалу, 9 – шнек подачі пелетів в топку, 10 – зона циркуляції, 11 – теплообмінник, 12 – завихровічі, 13 – автоматичний пристрій очищення котла, 14 – витяжний вентилятор, 15 – ізоляція, 16 – пневмотурбіна, 17 – закрыта аспіраційна система,

яка не потребує обслуговування, без фільтра, 18 – датчик рівня наповнення, 19 – циклонний накопичувач, 20 – подвійний дозуючий барабан, 21 – двигун системи дозування і подачі палива, 22 – лямбда-зонд

З котлами Харгаснер досягається найвищий коефіцієнт корисної дії 95% при низьких показниках концентрації викидів. Лямбда-зонд з пристроєм розпізнавання якості палива регулює кількість горючого матеріалу при необхідній потужності в залежності від якості палива. Витяжний вентилятор біля випускної труби забезпечує оптимальне розрідження в котлі.

Фірма Харгаснер може постачати пелетні котли і для промисловості з потужністю до 200 кВт.

Універсальні котли на біомасі потужністю від 15 до 500 кВт виробництва ООО «Дозамех Україна», м. Одеса показано на рис. 6.39. www.DOZAMECH.COM.UA

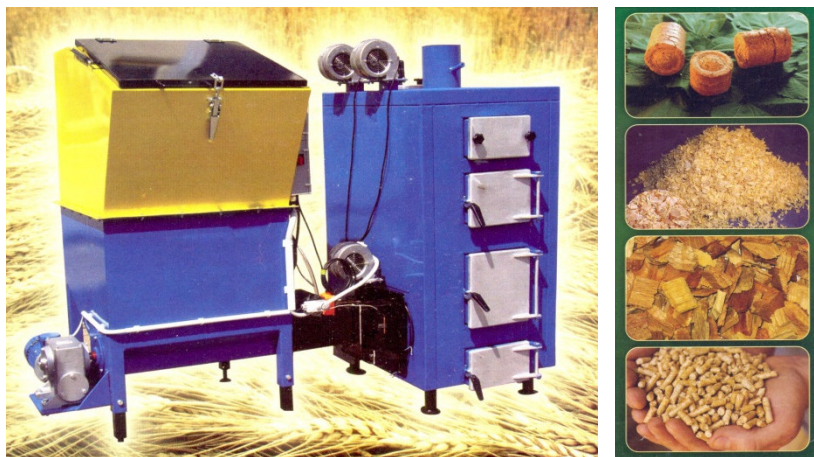


Рис. 6.39. Універсальний котел на біомасі

В накопичувальний бункер для біомаси завантажується паливо на добу і більше. Обладнання складається з котла и пальника з автоматичною подачею палива, що обладнана системою управління, яка дозволяє слідкувати за наступними параметрами:

1. Температура води;
2. Кількість палива, що подається;

3. Тривалість горіння;
4. Кількість повітря, що подається для спалювання.

Використання автоматики дозволяє забезпечити ККД спалювання палива до 87%. Ця система дозволяє приєднати термостати; кімнатний і зовнішній.

Твердопаливний котел «CANDLE» м. Львів, вул. Вулицька 11а, www.sks-instal.com.ua, наведено на рис. 6.40.



Рис. 6.40. Твердопаливний котел «CANDLE»:

- 1 – циркуляція повітря; 2 – зона горіння – 10–15 см; 3 – дверцята для завантаження палива; 4 – димохід; 5 – топка (палильня); 6 – дверцята для видалення золи

Твердопаливний котел «CANDLE» призначений для обігріву індивідуальних і промислових приміщень. В топці циліндричної форми добре згоряють дрова, тирсові та торф'яні брикети. В котлі застосовано унікальний спосіб спалювання твердого палива, при якому горить верхній шар товщиною 10–20 см, а не все

завантажене в топку паливо. Повітря, що подається в топку, підігрівається вихідним димом і направляється в осередок горіння за допомогою розподільника повітря. Після згорання одного шару дров розподільник повітря опускається нижче.

Переваги котла:

- Стабільний і оптимальний режим роботи котла, мін. 7 годин, макс. 32 години;

- Температура води в котлі регулюється автоматичним регулятором тяги подачі повітря;

- Попіл, що накопичується, не заважає процесу горіння палива, його достатньо видаляти 2–3 рази на місяць.

Розрахунки переводу котлів на спалювання місцевих видів палива (вугілля, дрова, опилки, щепи, торф та ін.) [104]

При переведенні котла (www.kriger.com.ua) на спалювання місцевих видів палива відбувається заміщення видів палива, яке імпортується, і економічний ефект досягається в основному за рахунок різниці у вартості палива, що спалюється. Однак, при цьому, як правило, зростають витрати на обладнання, амортизаційні відрахування і витрати на оплату праці. У зв'язку з цим, перед прийняттям рішення щодо капітальних вкладень в обладнання для спалювання місцевих видів палива необхідно розробити техніко-економічне обґрунтування з визначенням простих показників ефективності інвестицій, які широко застосовуються у вітчизняній і зарубіжній практиці.

Розрахунок терміну окупності котла для спалювання місцевих видів палива [104]

1. *Визначення укрупнених капіталовкладень:*

1.1. Вартість обладнання ($C_{об}$) визначається відповідно до договірних цін;

1.2. Вартість проектних робіт – до 10% від вартості будівельно-монтажних робіт ($C_{пр}$);

1.3. Вартість будівельно-монтажних робіт (при реконструкції котельні) ($C_{бмр}$) – 60÷80% від вартості основного обладнання;

1.4. Вартість пуско-налагоджувальних робіт ($C_{пнр}$) – 7÷10% від вартості обладнання.

1.5. Капіталовкладення в захід ($K_{\text{МВП}}$)

$$K_{\text{МВП}} = C_{\text{об}} + 0,1 C_{\text{бмр}} + (0,6 \div 0,8) C_{\text{об}} + (0,07 \div 0,1) C_{\text{об}}, \text{ грн.} \quad (6.26)$$

2. *Визначення термінів окупності заходу за рахунок різниці у вартості палива, що спалюється:*

2.1. *Визначення кількості спалюваного газу ($G_{\text{Газ}}$):*

$$G_{\text{Газ}} = 1,15 \cdot G_1 \cdot k \cdot 24 \cdot n / 1000, \text{ тис. м}^3, \quad (6.27)$$

G_1 – годинна витрата палива, $\text{м}^3/\text{год}$; $k = 0,5$ – коефіцієнт, який залежить від температурного режиму будівлі (середньозважений); $n = 192$ кількість днів в опалювальному сезоні (табличні дані);

2.2. *Визначення кількості спалюваного місцевого виду палива (МВП) ($G_{\text{МВП}}$):*

$$G_{\text{МВП}} = 1,15 \cdot G_1 \cdot k \cdot 24 \cdot n / 1000, \text{ т;} \quad (6.28)$$

2.3. *Визначення різниці у вартості палива, що спалюється ($\Delta C_{\text{пал}}$):*

$$\Delta C_{\text{пал}} = G_{\text{Газ}} \cdot C_{\text{Газ}} - G_{\text{МВП}} \cdot C_{\text{МВП}}, \text{ грн,} \quad (6.29)$$

де $C_{\text{Газ}}$ – вартість газу, грн / тис. м^3 ; $C_{\text{МВП}}$ – вартість МВП, грн/т;

2.4. *Визначення терміну окупності заходу за рахунок різниці у вартості палива, що спалюється:*

$$T_{\text{ок}} = K_{\text{МВП}} / \Delta C_{\text{пал}}, \text{ років,} \quad (6.30)$$

де $K_{\text{МВП}}$ – капіталовкладення в захід, грн; $\Delta C_{\text{пал}}$ – різниця у вартості палива, що спалюється за рік, грн.

Промислові твердопаливні котли

Котли з киплячим шаром

При спалюванні палива в топках з високою температурою утворюється велика кількість діоксиду азоту NO_2 . Це високотоксичний газ бурого кольору з задушливим запахом. При зниженні температури в топці до 1000°C і нижче діоксид майже не утворюється. Це досягається спалюванням твердого палива (кам'яного і бурого вугілля, сланцю, деревинних відходів, побутового сміття) в киплячому (псевдозрідженому) шарі [6].

Дрібнозернистий горючий матеріал, який розміщується на решітці топки, продувається знизу повітрям зі швидкістю, що перевищує межу стійкості щільного шару. «Швидкість зрідження» залежить від щільності горючого матеріалу і від крупності частинок, звичайно вона знаходиться в межах $0,9\text{--}2,3$ м/с. Можливі

стани системи «газ-частинки палива» показані на рис. 6.41 [4].

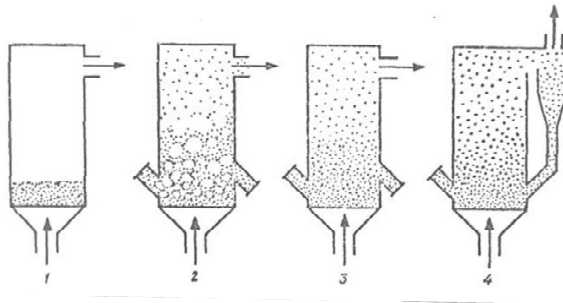


Рис. 6. 41. Топки з киплячим шаром:

1 – шарове спалювання; 2 – киплячий шар з пухирями; 3 – перехід до пневмотранспорту; 4 – циркулюючий киплячий шар

При швидкості продування повітря менше критичної (схема 1) частинки палива знаходяться в щільному шарі. Це – звичайна шарова топка. В топку з киплячим шаром (схема 2) первинне повітря подається знизу, подрібнене паливо вводиться через патрубок зліва. Частина повітря проходить такий шар пухирів, які ще сильніше перемішують горючий матеріал. Частинки циркулюють в об’ємі шару до повного їх вигорання. Для спалювання винесених з шару частинок через правий патрубок вводиться вторинне повітря.

З подальшим збільшенням швидкості продувки (схема 3) все більша кількість дрібних частинок виноситься з киплячого шару, відбувається перехід до режиму пневмотранспорту. В цьому випадку доцільно застосувати сепарацію незгорілого палива (звичайно в циклонних апаратах газоочищення) з повертанням відсепарованих частинок в киплячий шар (схема 4). Такий режим роботи називається циркулюючим киплячим шаром.

Всередині шару розміщуються труби з теплоносієм, що нагрівається і відводить теплоту. Контакт з рухомими гарячими частинками палива призводить до значної інтенсифікації теплообміну. Завдяки порівняно низької температури горіння в топках з киплячим шаром не виникає розплавлення золи, і тому воно не налипає на поверхні теплообміну котла. В результаті скорочуються затрати на очищення поверхонь теплообміну.

Киплячий шар на 90% складається з частинок золи або спеціальних домішок інертного матеріалу (вапняк, доломіт, шамотні крихти). Тому в киплячому шарі можливо спалювати матеріали з дуже високою зольністю. Введення вапняку дозволяє різко знизити викиди диоксиду сірки SO_2 – цей токсичний газ переходить у нешкідливий гіпс CaSO_4 , який видаляється з топки разом з золюю. Підвищення концентрації палива в шарі призвело би до появи в продуктах згоряння водню H_2 і оксиду вуглецю CO .

Топки з киплячим шаром широко використовуються в промисловості для обпалювання різних руд, колчеданів в сірчаноокислотному виробництві. В Фінляндії, Швеції котли з киплячим шаром широко використовують для утилізації відходів лісової промисловості (щепи, кори, тирси) и для спалювання фрезерного і кускового торфу. В США, Англії, Франції котли з киплячим шаром все більше застосовуються на ТЕС. В США потужність котельних установок з киплячим шаром досягає 200 МВт. На рис. 6.42 показана схема топки з циркулюючим киплячим шаром фірми ВДС (США).

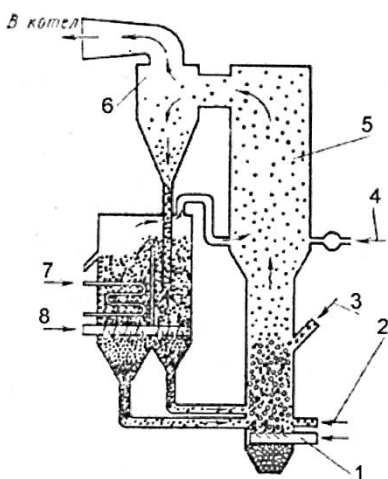


Рис. 6.42. Топка з киплячим шаром фірми ВДС: 1 – первинне повітря; 2 – вапняк; 3 – паливо; 4 – вторинне повітря; 5 – камера топки; 6 – циклон; 7 – подача води; 8 – подача повітря

3 – паливо. В об'ємі 5 продовжується горіння завислих частинок. В циклоні 6 відбувається очищення відхідних газів. Спіймані частинки догорають в бункері, в якому розміщені змієвикові теплообмінники, що гріють живильну воду для котла. Додаткове повітря для допалювання твердого виносу подається через патрубок 8.

Спалювання деревинних відходів

Подрібнені деревинні відходи (кора, щепи, тирса) мають теплоту згоряння сухої маси 18–20 МДж/кг [4], рис. 6.43. Після механічного обезводнення у віджимних апаратах вони мають вологість $W^p = 55\text{--}60\%$, і теплоту згоряння біля 6 МДж/кг. Відходи звичайно спалюють в котлах-утилізаторах з нахиленими колошниковими решітками. Під решітку подається нагріте повітря. На нахиленій решітці за рахунок променистої енергії, що сприймається від топкових газів, відбувається нагрів, підсушування і спалахування відходів, а потім виділення і згоряння летючих речовин – CO, H₂, вуглеводнів. Коксовий залишок допалюється на рухомій механічній ланцюговій решітці, рис. 6.44.



Рис. 6.43. Міні ТЕС на біомасі в м. Пручани (Беларусь), $N=3,7$ МВт, (2009 р.) URL: http://www.energsovet.ru/bul_stat.php?idd=492

Котли для спалювання мулових осадів

Мулові осади спалюють в спеціалізованих котлах-рекуператорах з киплячим шаром. Відхідні гази в таких котлах мають температуру 850–900° С. Їх теплота використовується для нагрівання дуттєвого повітря, яке подається в топку котла. Крім того виробляється пара низьких параметрів з метою опалення і гарячого водоспоживання.

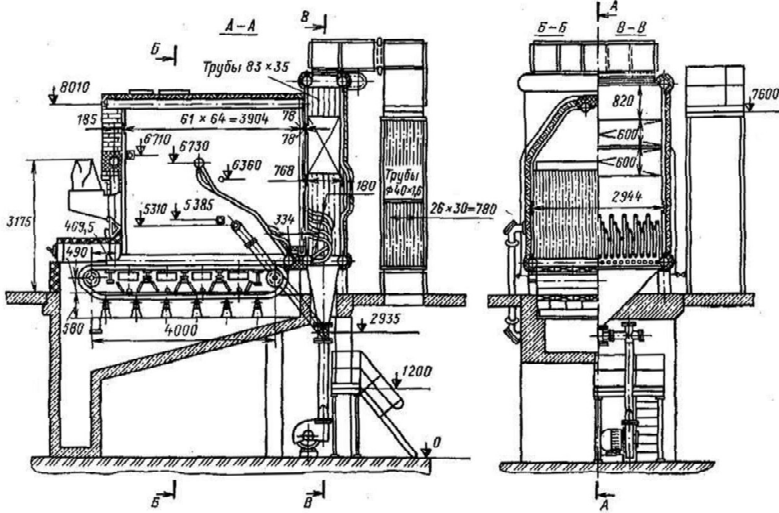


Рис. 6.44. Водогрійний котел KV-TS 1,
<https://bigkotel.ru/vidy-kotlov/informatsiya-o-kotle-kv-ts-1>

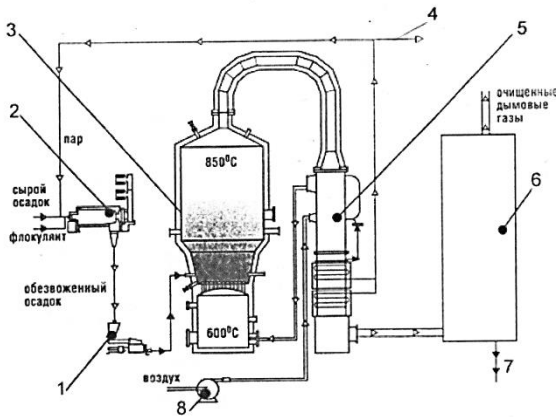


Рис. 6.45. Схема установки для спалювання мулових осадків: 1 – поршневий насос; 2 – центрифуга; 3 – піч; 4 – пара до споживачів; 5 – котел; 6 – система очищування вихідних газів; 7 – вихід зволоженої золи; 8 – повітродувка

На рис. 6.45 показана установка, яка широко використовується в Західній Європі, для спалювання мулових осадків. Установка випускається французькою фірмою «Пірофлуд» [4].

Сирий муловий осад, в якому вміст сухої речовини складає біля 4%,

підсушується за рахунок теплоти з котла, добавляється флокулянт, що сприяє утворенню комків. На центрифугах 2 відділяється рідка фаза. Зневоднений осад зі вмістом сухої речовини біля 30% подається поршневим насосом 1 з тиском до 8 МВт в піч 3, яка працює за принципом топки з киплячим шаром. Подова решітка печі завантажується шаром гравію. Під решітку подається повітря, яке закачується повітродувкою 8 і нагрівається в регенеративних теплообмінниках парового котла до 600° С. Осад спалюється в киплячому шарі, продукти згоряння з температурою 850° С направляються в котел-утилізатор. Відхідні гази проходять очищення від золи і токсичних газових домішок в скрубєрі 6 и перед викидом в атмосферу додатково підігріваються в теплообміннику.

Продуктивність установки становить 62 тони сухої речовини за добу. Для розпалювання котла використовують газові пальники. Установка високоавтоматизована, управління параметрами технологічного процесу повністю здійснюється обчислюваним управляючим комплексом. Введення в експлуатацію установки дозволили різко скоротити складування осаду стічних вод на полігонах навколо міста, транспортування через місто сотню тон смердючого продукту. Димові гази, які пройшли очищення, відповідають вимогам жорстких сучасних європейських нормативів. Відходи установки спалювання – дрібнодисперсна мінеральна зола може використовуватися для виробництва цегли, бетону, облицювальних матеріалів.

Установки для спалювання твердих відходів

Тверді промислові та побутові відходи міст вміщують макулатуру, відходи пакувальних матеріалів, деревину, тканину, харчові відходи, скло і ін. Полігони-звалища для їх розміщення займають великі площі, є джерелом токсичних і смердючих газів, пожежонебезпечні. Відходи включають різні шкідливі речовини: миш'як, ртуть, кадмій, свинець, органічні токсини, діоксини і т.д. Ці засмічувачі з дощовою водою потрапляють в ґрунтові води.

В ряді країн розроблені установки для спалювання твердих відходів. В Японії їх спалюють до 80%, В Швеції біля 60%. Теплота згоряння твердих відходів змінюється в межах 7–12 МДж/кг.

Розглянемо розроблену в США установку для спалювання відходів без попереднього сортування і подрібнення з максимальним розміром окремих предметів до 1 м, рис. 6.46 [4].

Вміст вологи у відходах становить в середньому 23%, інертних речовин і золи – 20%. У відходи можливо додавати відпрацьовані масла, пластмаси, відходи з хімлабораторій, нерозрізані покриття і інші гумовотехнічні вироби, муловий осад міських стічних вод.

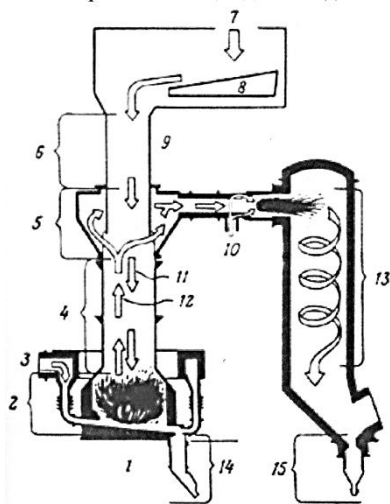


Рис. 6.46. Схема установки для спалювання твердих відходів:

- 1 – газифікатор; 2 – зона первинного горіння; 3 – подача повітря;
- 4 – зона піролізу; 5 – зона сушки; 6 – подача відходів; 7 – введення відходів; 8 – завантажувальний пристрій; 9 – газовідвід; 10 – подача вторинного повітря; 11 – просування підсушених відходів; 12 – просування горючих летючих газів; 13 – зона спалювання горючих летючих; 14 – злив розплавлених шлаків; 15 – відведення залишкових шлаків

В газифікатор 1 тверді відходи подаються завантажувальним пристроєм 8 через бункер 7. Рівень відходів в апараті підтримується постійним. Шар відходів 6 просувається під дією власної ваги в зону осушення 5 і далі в зону піролізу (термічного розкладу) 4. Підігрітий до температури майже 1000° С повітря для горіння підводиться в нижню частину газифікатора через патрубков 3. В зоні спалювання коксового осаду і плавлення негорючих компонентів 2 утворюється шлак, який безперервно виводиться з апарату через гідро затвор в охолоджувальний приймач 14.

Газовий потік, який виходить з газифікатора, виносить до 90% теплоти від спалювання твердих відходів. Основні компоненти газового потоку – CO, CO₂, H₂, вуглеводні і водяна

пара. Теплота згоряння цих газів на рівні 5–7 МДж/м³. Гази спалюються в камері вторинного горіння 13, повітря для горіння подається через патрубок 10. В камері вторинного горіння підтримуються температура 115–1300° С. Завислі негорючі частинки газового потоку при цьому плавляться, утворюючи рідкий шлак, який відводиться через зливну систему 15. Для підігріву повітря, яке подається в апарат, застосовані регенеративні підігрівники, які використовують до 15% об'ємної витрати відхідних газів. Решта 85% напрямляються в котельню, що виробляє пару з тиском до 6 МПа. Відхідні газы з котельні і системи регенеративного підігріву повітря мають температуру 260° С. Вони поступають в систему газоочищення, що вміщують електрофільтри і скрубери. Після очищення відхідні газы вміщують біля 70% N₂, 10% CO₂, 5% O₂ і 15% водяної пари. Шлаки являють собою скловидну чорну масу, яка вміщує токсичні речовини. Вони мають об'єм в 10 разів меншій від вихідного об'єму твердих відходів і можуть бути використані для будівництва шляхів.

Термічний розклад і шлакування твердих відходів, окрім використання додаткових енергоресурсів, вирішує також екологічно важливу задачу скорочення площ під міські звалища і забруднення ними атмосферного повітря і ґрунтових вод [4].

Спалювання є найбільш технічно відпрацьованим серед усіх методів промислового перероблення твердих побутових відходів (ТПВ) [82], рис. 6.47.

З моменту винайдення цього методу техніку та технологію спалювання весь час удосконалювали. В своєму розвитку сміттєспалювальні заводи (ССЗ) пройшли кілька етапів і сьогодні представляють собою складне виробниче підприємство, котре орієнтовано не лише на спалювання ТПВ, а й попутне отримання енергії та попередження забруднення довкілля шкідливими речовинами. В більшості випадків спалювання ТПВ відбувається наступним чином. Сміттєвозами ТПВ накопичуються у бункері, звідки по спусковому жолобу потрапляють на решітки, де власне і відбувається їх спалювання (рис. 6.47).

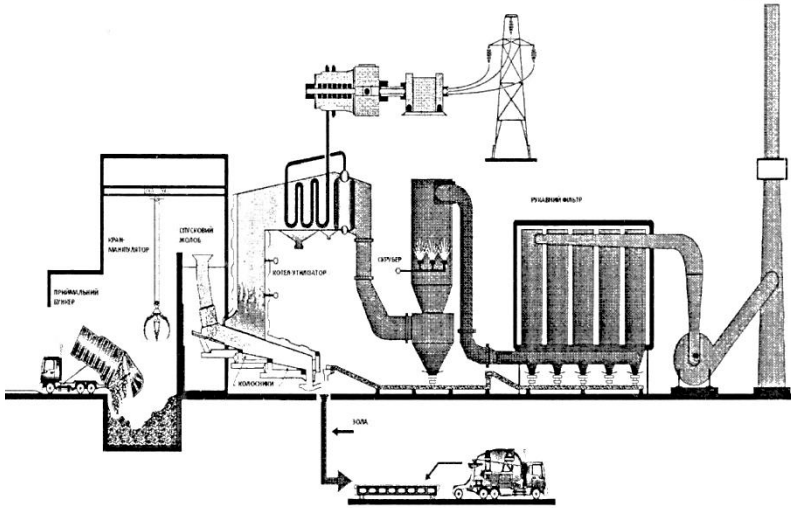


Рис. 6.47. Загальна принципова схема сміттєспалювального заводу

Приймальний бункер повинен бути достатньої ємкості для забезпечення нормальних умов функціонування ССЗ. Разом з тим, накопичені ТПВ не можуть зберігатися в бункері довше тижня, а для попередження накопичення в ньому неприємних запахів та вибухових сумішей влаштовується потужна система витяжної вентиляції.

Газифікація твердих побутових відходів

Альтернативою процесові піролізу є процес газифікації, що відбувається аналогічно, але за температури $800\text{--}1300^\circ\text{C}$ і за наявності невеликої кількості повітря рис. 6.48 [82].

Одним з прикладів газифікуючої установки є ФДУП «ММВП «Салют», в основі якої лежить метод пароповітряної газифікації в реакторі шахтного типу. Принципова схема наведена на рис. 6.48, основні компоненти відповідно: 1 – сміттєвози; 2 – бункер для ТПВ; 3 – транспортер; 4 – газифікатор; 5 – бункер для золи; 6 – система відділення рідкої фази та пилу; 7 – котел; 8 – утилізатор та генератор пари; 9 – система нейтралізації та очищення димових газів; 10 – димосос; 11 – димова труба; а – зона підсушування відходів; б – зона розкладання органічних речовин;

в – зона газифікації; г – зона догоряння вуглецю та органічних залишків; д – зона охолодження золи.

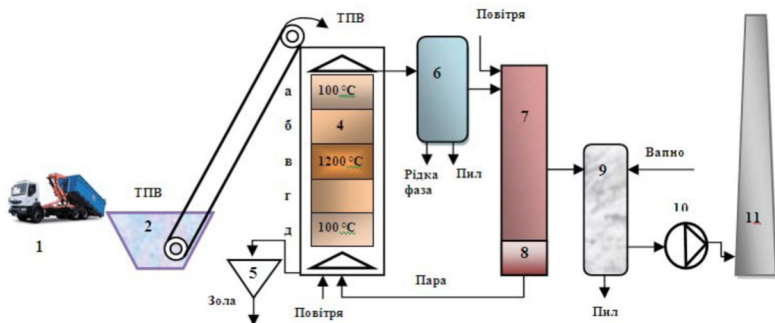


Рис. 6.48. Технологічна схема утилізації ТПВ методом газифікації



Рис. 6.49. Загальний вигляд газифікуючої установки ФДУП «ММВП Салют»

Зовнішній вигляд зображений на рис. 6.49.

Крім ТПВ, установка придатна для переробки широкого спектру містких промислових відходів, відходів деревообробки, лікарських відходів, автомобільних шин, полімерів тощо. Перевагами методу є те, що температура вихідних речовин (зола та синтез-газ) мало відрізняється від температури навколишнього середовища, що дозволяє їх подальшу обробку без попереднього охолодження. Продуктивність установки 15000 т/рік.

Вважається, що в порівнянні із шаровим спалюванням, газифікація має наступні пере-

ваги:

- проходження горючого газу через шар відходів забезпечує для процесу практично повну відсутність виносу золи та осадження

шкідливих речовин на шматках відходів і виведення їх із газифікатора в твердому стані із шлаком;

- стабільні високі температури запобігають утворенню діоксинів та фуранів;
- горючий газ та смола можуть бути використані в якості палива чи хімічної сировини;
- значно менший (в 4–5 разів) об'єм газової фази в порівнянні із шаровим спалюванням;
- високий ККД по проміжному енергоносію – 80–90%;
- завдяки низькій вихідній температурі газу його значно простіше за необхідності очищувати від шкідливих речовин;
- невисока температура шлаків і золи та відсутність в них вуглецю значно спрощує їх подальше транспортування та переробку [82].

Вирощування енергетичної біомаси

Альтернативна енергетика стає одним з базових напрямів розвитку технології в світі, разом з інформативними і нанотехнологіями вона стає важливою складовою нового постіндустріального укладу. Біомаса відіграє домінуючу роль серед інших видів нетрадиційних відновлюваних джерел енергії (НВДЕ), формуючи біля 44% ринку відновлюваних джерел енергії. Отримання енергії з біомаси дерев можливо двома напрямками:

- заготівля і використання деревини від рубань у різних групах лісів, а також відходів від лісозаготівлі та лісопиляння;
- створення енергетичних плантацій на землях не сільськогосподарського призначення.

Вільні обсяги деревинної біомаси, яка може бути використана для енергетичних потреб на підприємствах Державного агентства управління лісовим господарством складають щороку близько 2,5 млн куб м. Потенціали лісової біомаси були оцінені для всіх лісових земель України (насадження із замкнутим наметом), площа яких становить 9,4 млн га, або 15,7% території України. Теоретичний і технічний потенціал лісової біомаси становить 312,24 ПДж і 89,05 ПДж відповідно [83].

Енергетична верба – вид палива для енергетичних котлів. Її вже вирощують у Львівській, Івано-Франківській, Рівненській області, Польщі і скандинавських країнах. В одній Польщі угіддя під вербовими енергогаями складають 500 тис. га. Урожай (12 тон з гектару) збирають раз у 3 роки, за які верба виростає до 6 м. Після зрізання верба відростає знов, рис. 6.50,



Рис. 6.50. Фази розвитку енергетичної верби

тому посадивши один раз, такий енергетичний гай можна використовувати протягом 25–30 років з мінімальними витратами на догляд.



Рис. 6.51. Збирання енергетичної верби

Зрізати вербу можна навіть за допомогою звичайних силосозбиральних комбайнів або ж ботворізок, оскільки діаметр рослин рідко перевищує 12 мм, рис. 6.51. Сировину розмелюють на тріски і роблять пелети для котлів.

Що таке енергетична верба?

Екологічно чистий вид палива, що має:

- високий коефіцієнт тепловіддачі (одна тонна верби з вологістю 40% забезпечує 1 Гкал тепла);

- урожай в рік складає 10–20 т сухої деревини, рис. 6.51;

- невибаглива до ґрунтів та інших екологічних умов;
- сприяє підвищенню рівня зайнятості населення.

Чому вирощувати енергетичну вербу вигідно?

Тому що:

- приріст за висотою – 2 м;
- приріст за вагою за перший рік – 7–10 т/га, після першого року – 20–30 т/га;
- лоза за день може випаровувати до 15–17 л води;



Рис. 6.52. Урожай верби готовий до заготівлі

- помірний клімат;



Рис. 6.53. Плянтация енергетичної верби на початку життєвого циклу

- щорічно у рядки саджанців вносяться мінеральні добрива з розрахунку до першого збору 50 кг N, 50 кг P, та 70 кг K до першого збору врожаю.

- великі обсяги опалого листя покращують структуру ґрунту;
- заготівля біомаси може здійснюватися після першого року вирощування;

- тривалий термін вирощування – 25–30 років, рис. 6.52;
- селекційна верба хороша медоносна культура.

Як вирощувати енергетичну вербу?

- перезволожені, слабо кислі з рН 5,5–6,5 та низьким рівнем поживних речовин ґрунти;

- посадка – ранньою весною саджанцями довжиною 20–25 см, рис. 6.53;

- оптимальна кількість – 18000–21000 саджанців на гектар;

- впродовж першого року важливо забезпечити захист від бур'янів для формування кореневої системи;

Можна вирощувати вербу на рекультивованих землях.

Одна тонна енергетичної верби замінює: 1,12 тонни соломи, 0,43 тонни ріпакової олії, 460 кг викопного вугілля, 800 кг бурого вугілля, 0,37 тонни мазуту, 730 м³ біогазу, 510 м³ природного газу, рис. 6.54.



Рис. 6.54. Вирощування і збирання енергетичної верби [111]

Тепловіддача від спалювання 1 тонни деревини енергетичної верби становить 16 МДж/кг, тоді як від дубових дров – 14,1 МДж/кг, від соснових – 13,8 МДж/кг, від 1 тонни соломи – 14,3 МДж/кг.

Виготовлення деревинних гранул (пелетів) та брикетів

Сьогодні під пелетами розуміють не тільки готову продукцію з дрібної деревної тирси, а й гранульовані відходи деревообробної та сільськогосподарської промисловості взагалі. На виробництво пелет йде все, що може горіти і що раніше в більшості випадків просто викидалося або неефективно утилізувалося.

Гранульоване паливо ділиться на три класи:

- преміум – виготовлені з, очищених від домішок і відходів, дрібної тирси м'яких деревних порід;
- індустріальний – виготовлені з тирси та інших дрібних відходів деревообробки;
- промисловий – на виготовлення йде практично все, що залишається у відходах сільського господарства, лісозаготівель, обробки деревини та навіть птахівництва.

Перший клас має низьку зольність (близько 0,5% від загальної маси пелет), але він дорожче. Другий клас, так само як і третій, більш доступний за цінами, але кількість залишків продуктів згоряння вище. Третій клас використовується в основному для топки котельень, низька вартість і достатня теплота згоряння робить такий вибір дуже вигідним, рис. 6.55.

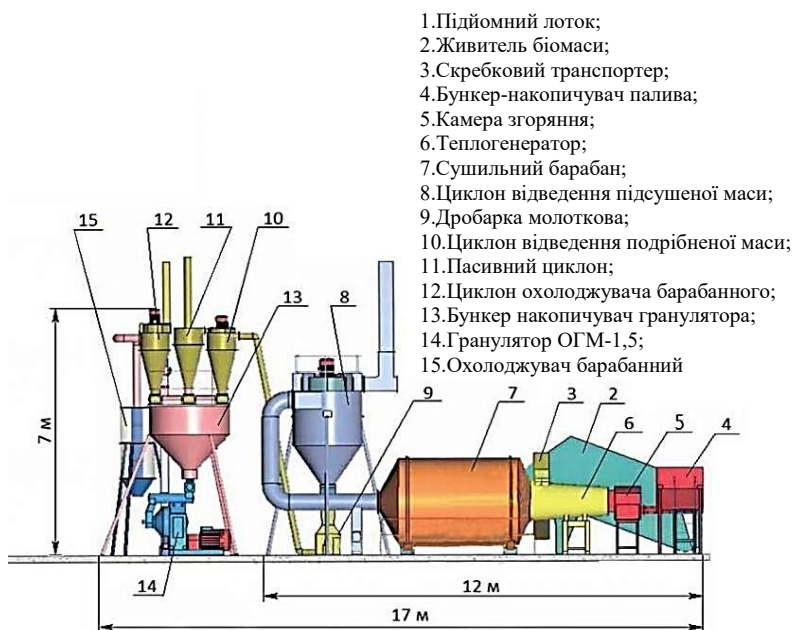


Рис. 6.55. Лінія гранулювання на базі ОГМ-1,5 (тирса, торф)
<https://uofa.ru/uk/samodelnaya-ustanovka-dlya-polucheniya-pellet-izgotovleniie-pellet-v-zavodskih/>

До мінусів пелет відноситься те, що вони вимагають спеціальних умов зберігання, сухості і надійного захисту від пожежі. Плюсів у них набагато більше. Це і низька ціна щодо інших видів палива (в першу чергу – природного газу), і висока тепловіддача, і простота виробництва, і зручність зберігання і транспортування.

Обов'язковий комплекс обладнання на виробництво пелет вміщує такі механізми і пристосування: дробарка; сушарка; подрібнювач; гранулюючий прес. Крім цього може знадобитися додаткове обладнання, наприклад, якщо знадобиться зволожити пересушені матеріали. Це може бути парова установка, що насичує сировину вологою до необхідної консистенції (10–12%), або система, яка використовує звичайну воду, рис. 6.55.



Рис. 6.56. Гранулятор

Гранулятор – найголовніша і найдорожча частина обладнання для виробництва паливних деревинних гранул (пелет) рис. 6.56. Гранулятор складається з диску-матриці з конічними отворами; катків, які витискають подрібнену біомасу з отворів, утворюючи гранули; електродвигуна з черв'ячною передачею.

Редуктор дозволяє забезпечити швидкість обертання матриці гранулятора до 140 об./хв. при приводі потужністю від 90 до 110 кВт, що дозволяє отримувати якісні гранули практично з будь-якої рослинної сировини.

У Винницькій області, смт Турбов, працює завод з виробництва паливних пелет з соломи Vin Pellet, рис. 6.57 і рис. 6.58.

Коротка інформація про завод, виробничі лінії та обладнання:

Проектна потужність – перша черга – 75 тис. тонн; друга – збільшення

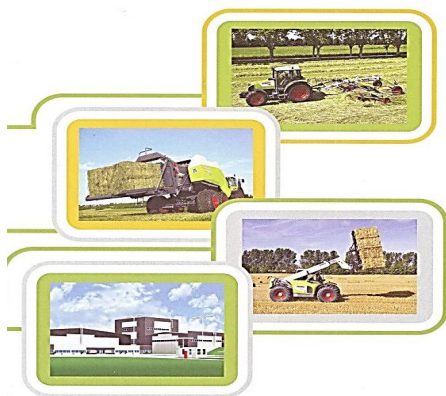


Рис. 6.57. Механізована заготовка біомаси у вигляді соломи

до 150 тис. тонн;

Обладнання – Amadus Kahl (Германія);

Кількість персоналу – до 230 чол. При повній потужності;
Об'єм інвестицій – 26 млн євро.

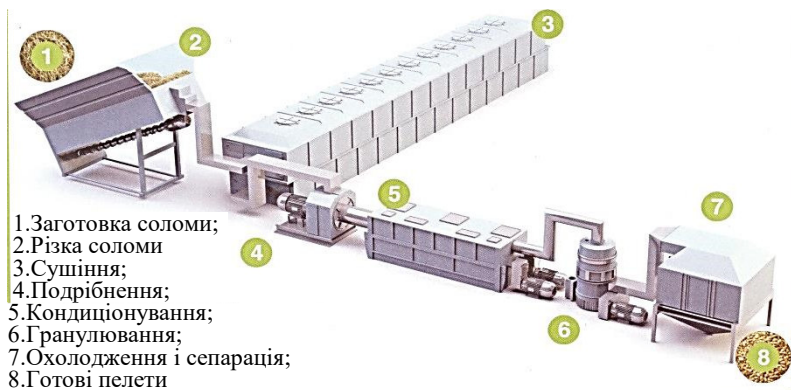


Рис. 6. 58. Схема технологічного ланцюга виготовлення гранул

Порівняння з іншими видами палива – при спалюванні паливних гранул звільнюється стільки ж теплової енергії як і при спалюванні: 1600 кг деревини; 475 куб. м газу; 500 л дизельного палива; 685 л мазуту.

Виробництво – подрібнення соломи і гранулювання.

Екологічність – при використанні брикетів і пелетів в атмосферу викидається в 15 разів менше CO₂, ніж при горінні природного газу. Забруднення пелетами території, нанесення будь-якого збитку неможливе.

Зберігання – маючи більшу тепловіддачу на одиницю об'єму, в порівнянні наприклад, з дровами, вони займають в 5–7 разів менше місця, тому їх можливо заготовляти на весь опалювальний період.

Пожежебезпе́чність – в порівнянні з газом, нафтою і дровами набагато вища, оскільки пелети підлягають самозапаленню в меншому ступені. www.ipree.org.ua

Децентралізовані когенераційні установки

Системи опалення з одночасним виробітком електроенергії знижують витрати первинної енергії, а також викиди шкідливої

для клімату емісії CO₂. Таким чином вони вносять безпосередній внесок у охорону довкілля рис. 6.59.

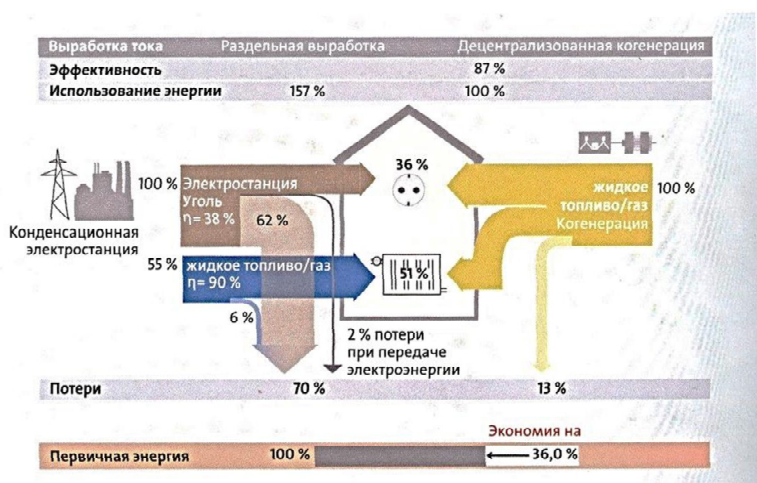


Рис. 6.59. Порівняння первинної енергії при когенерації

Децентралізована когенерація – це технологія з великим майбутнім [84]. Не існує стандартної класифікації когенераційних установок. В залежності від електричної потужності малі установки, як правило, поділяються на наступні види: мікроустановки ТЕЦ < 2 кВт; мініустановки ТЕЦ 2–50 кВт; малі установки ТЕЦ 50 кВт–2 МВт.

В якості базових технологій в розпорядженні знаходяться теплові двигуни і паливні елементи. При цьому перші поділяються на:

- внутрішні двигуни внутрішнього згорання (наприклад, ДВС с примусовим запаленням);
- зовнішні двигуни внутрішнього згорання (наприклад, двигуни Стірлінга и розширювальні парові машини);
- і газові мікротурбіни.

Двигун Стірлінга

Двигун Стірлінга працює за принципом зовнішнього згорання, за рахунок якого робочий газ (наприклад, гелій) нагрівається зовні рис. 6.60.

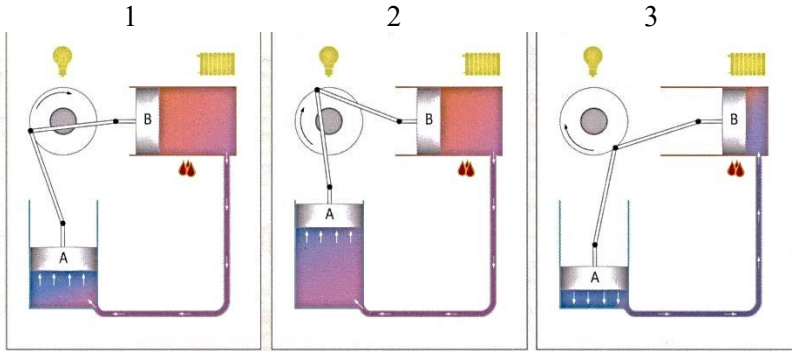


Рис. 6.60. Принцип дії двигуна Стірлінга:

- 1 – Робоче середовище нагрівається зовнішнім джерелом тепла, розширюється, переміщується в прохолодну ділянку;
- 2 – Там поршень А прижимається наверх, при цьому поршень В переміщує більше гарячого газу в прохолодну ділянку;
- 3 – Поршень А нагнітає холодний газ в гарячу ділянку, там він знову нагрівається, розширюється, і процес починається з початку

Газ розширюється і подається в ділянку, яка охолоджується водою з контура опалення будівлі, поршень притискається вгору, переміщує з гарячої ділянки більше газу в більш холодну ділянку. Після того, як поршень в холодній ділянці досяг вищої мертвої точки, він переміщує газ знову у гарячу ділянку. Там він знову нагрівається, розширюється, і процес починається спочатку.

Двигуни Стірлінга працюють безшумно, з незначною емісією і практично без зносу. За аналогією з холодильниками вони мають герметично закриті робочі простори, що суттєво знижує витрати на техобслуговування. Порівняно низькому коефіцієнту електричної ефективності (біля 10–15%) протистоїть висока теплопродуктивність, в результаті чого досягається загальний ККД більше 95%.

6.6. Перспективи розвитку використання енергії біомаси в Україні

Дедалі частіше всюди чути розмови про те, що майбутнє — за альтернативною енергетикою. І це справді так. Загальна потужність сонячних і вітрових електростанцій зростає в рази. Україна, яка планує до 2035 року збільшити до 25% частку відновлюваних джерел енергії у виробництві електроенергії, не відстає від світових тенденцій. Проте, на відміну від решти держав, Україна мало приділяє уваги розвитку одного з перспективних видів альтернативної енергетики – біоенергетиці, рис. 6.61. URL: <https://tridentenergy.ua/biomass-chps-future-of-ukraines-power-production-sector/>



Рис. 6.61. БіоТЕЦ – майбутнє енергетики України

Біоенергетика – це галузь альтернативної енергетики, заснована на використанні біопалива, яке виробляють з біомаси. У свою чергу, біомаса – відновлювана речовина органічного походження, що включає відходи сільського, лісового господарства чи навіть побутові відходи. Тобто біоенергетика — це виробництво теплової або електричної енергії з біологічних відходів.

БіоТЕЦ – це одночасне виробництво двох видів енергії з біопалива. Варто відзначити, що основний напрям біоТЕЦ – виробництво саме теплової енергії та заміна передусім ТЕЦ, які виробляють її з природного газу. Це дозволяє зменшити викиди вуглекислого газу в атмосферу та збільшити енергонезалежність цих країн.

Біомасу, яка може використовуватися в енергетиці, поділяють на два види:

1. Енергетичні рослини. Сюди належать швидкорослі породи дерев і спеціальні однорічні рослини з високим вмістом сухої маси, цукро- та крохмалевмісні польові культури для перероблення на етанол і польові культури, придатні для використання у виробництві біогазу.

2. Органічні відходи. Сюди варто віднести відходи сільськогосподарського, лісового або побутового господарства (наприклад, соломку, траву, листя, гній тощо).

Також на біоТЕЦ можливе використання сміттового газу, який утворюється на великих звалищах.

На жаль, статистика й цифри свідчать про те, що в Україні майже не розвинута біоенергетика. Загальна встановлена електрична потужність становить лише 84,4 МВт станом на 1 квітня 2018 року. Однак варто звернути увагу на потенціал розвитку біоенергетики. Починаючи з 2013 року, електрична потужність збільшилася майже в 3,6 рази з 23,7 МВт. Цю електроенергію в основному продають за «зеленим» тарифом.

Отже, український ринок біоенергетики тільки починає розвиватися, але перспективи в нього дуже великі.

За даними світової організації IRENA (Міжнародне агентство з відновлюваних джерел енергії), Україна має потенціал для збільшення в 10 разів використання відновлюваних джерел енергії до 2030 року. Зокрема агентство відзначає розвиток виробництва теплової енергії альтернативною енергетикою. 80% цього виробництва забезпечуватиме біомаса, включаючи обігрів будівель (централізоване тепlopостачання) рис. 6.62.



Рис. 6.62. Біодизель - паливо майбутнього

Завдяки своєму вигідному географічному розташуванню й дальшому розвитку лісової та сільськогосподарської галузей Україна має шанс стати експортером біомаси до країн Європи, оскільки там біоенергетика

тика розвивається швидше, ніж в Україні. IRENA зазначає, що перш за все мова йде про експорт до ЄС пелетів (паливних гранул з торфу, тирси, соломи тощо) через низькі витрати на їх перевезення. Обсяги можуть сягати до 150 млн т, що дорівнює сукупному обсягові виробництва до 300 великих заводів.

Також, за даними Державного агентства з енергоефективності та енергозбереження України, наша держава має всі потрібні умови для виробництва рідких біопалив, як за земельними ресурсами й рослинним потенціалом, так і за наявністю власних виробничих потужностей. Уже на сьогодні потенціал біомаси в Україні придатний для рентабельного виробництва рідких біопалив (біоетанолу і біодизелю). Це дає підстави твердити про перспективність цього напрямку. Річний технічно досяжний енергетичний потенціал рідкого біопалива в Україні еквівалентний 1 млн т, а його використання дає змогу щорічно заощаджувати близько 1,2 млрд куб. м природного газу. Найбільший потенціал рідкого біопалива зосереджений у Вінницькій і Полтавській областях.

Тому можна вже зараз говорити про те, що коли Україна робитиме акцент на розвиток біоенергетики й будівництві біоТЕЦ, то це дасть змогу значно швидше стати енергонезалежною державою та скоротити використання природного газу. Хоча вже зараз в Україні є яскраві приклади біоТЕЦ, як-от у Славутичі.

У листопаді 2017 року в місті Славутич (Київська область) було запущено найбільшу в Україні біоТЕЦ електричною потужністю 10,5 МВт і тепловою — 25 Гкал/год. Запуск цього об'єкта дозволить забезпечити 40% потреби міста в тепловій енергії та гарячій воді. Завдяки цьому Славутич може зекономити до 4 млн гривень за підсумками опалювального сезону. Перш за все, економія буде за рахунок зменшення споживання природного газу на 7 млн куб. м. У майбутньому планується будівництво ще однієї біоТЕЦ із такою самою тепловою потужністю та електричною 12,5 МВт. Для потреб двох електростанцій буде висаджено близько 1500 га енергетичної верби. Ці заходи дадуть змогу місту стати енергонезалежним і відмовитися від використання природного газу. Це дуже вдалий взірєць для всієї України.

Рослинний і тваринний світ і продукти його життєдіяльності прийнято називати біомасою. Це органічні сполуки вуглецю, які в процесі з'єднання з киснем при згорянні або в результаті природного метаболізму виділяють тепло. За допомогою хімічних або біохімічних процесів біомаса може бути трансформована в такі види палива, як газоподібний метан, рідкий метанол, тверде деревне вугілля. Біомаса поділяється на первинну (деревина, сільськогосподарські рослини та продукти життєдіяльності тварин) і вторинну (відходи при переробці первинної біомаси). Первісна енергія в біомасі виникає в процесі фотосинтезу під дією сонячного випромінювання, що є природним варіантом перетворення сонячної енергії [91].

Приклади розв'язання задач

Задача 6.1

Визначити об'єм біогазогенератора V_0 і добовий вихід біогазу V_2 в установці, яка утилізує гній від $n=18$ корів, а також скільки теплової потужності вона забезпечує N , Вт. Час циклу зброджування $\tau = 14$ діб за температури $t = 25^\circ \text{C}$; подача сухого збродженого матеріалу від однієї тварини йде зі швидкістю $W = 2$ кг/добу; вихід біогазу з сухої маси $V_2 = 0,24$ м³/кг. Вміст метану в біогазі становить $f_m = 70\%$. ККД пального пристрою $\eta = 0,68$. Густина сухого матеріалу, розподіленого в масі біогазогенератора, $\rho_{\text{сух}} = 50$ кг/м³. Теплота згоряння метану за нормальних фізичних умов $Q_H = 28$ МДж/м³, [101].

Розв'язання:

Подача сухого збродженого матеріалу від 18 тварин йде зі швидкістю m_0 (кг/добу):

$$m_0 = W \cdot n = 2 \cdot 18 = 36 \text{ кг/добу}$$

Добовий об'єм рідкої маси $V_{\text{доб}}$, що надходить в біогазогенератор можна визначити за формулою:

$$V_{\text{добу}} = m_0 / \rho_{\text{сух}} = 36 / 50 = 0,72 \text{ м}^3/\text{добу}$$

Об'єм біогазогенератора, необхідного для ферми:

$$V_0 = \tau \cdot V_{\text{сут}} = 14 \cdot 0,72 = 10,08 \text{ м}^3.$$

Добовий вихід біогазу:

$$V_2 = m_0 \cdot v_2 = 36 \cdot 0,24 = 8,64 \text{ м}^3/\text{добу}.$$

Теплова потужність пристрою, що використовує біогаз:

$$N = \eta \cdot Q_n^p \cdot V_z \cdot f_m = 0,68 \cdot 28 \cdot 8,64 \cdot 0,70 = 115 \text{ МДж/добу.}$$

Задача 6.2

Визначити термін окупності інвестицій при заміні сучасного газового котла ($\eta = 94\%$) на котел марки КВМ (а)-82, який працює на фрезерному торфї. Вартість обладнання на котел КВМ(а)-0,82 $C_{об} = 262570,00$ грн, [104];

Розв'язання:

1.1. Вартість будівельно-монтажних робіт

$$C_{бмр} = 262570,00 \cdot 0,8 = 210056,00 \text{ грн;}$$

1.2. Капіталовкладення в захід ($K_{мвп}$) за формулою (6.26)

$$K_{мвп} = C_{об} + 0,1 C_{бмр} + 0,8 \cdot C_{об} + 0,1 \cdot C_{об} = 262570,00 + 0,1 \cdot 210056,00 + 0,8 \cdot 262570,00 + 0,1 \cdot 262570,00 = 519888,60 \text{ грн.}$$

2.1. Визначення кількості спалюваного газу ($G_{газ}$) за формулою (6.27):

$$G_{газ} = 1,15 \cdot G1 \cdot k \cdot 24 \cdot n / 1000 = 1,15 \cdot 91,4 \cdot 0,5 \cdot 24 \cdot 192 / 1000 = 242 \text{ тис.м}^3;$$

2.2. Визначення кількості спалюваного торфу ($G_{мвп}$): за формулою (6.28):

$$G_{мвп} = 1,15 \cdot G1 \cdot k \cdot 24 \cdot n / 1000 = 1,15 \cdot 323 \cdot 0,5 \cdot 24 \cdot 192 / 1000 = 856 \text{ т;}$$

2.3. Визначення різниці у вартості палива, що спалюється ($\Delta C_{пал}$) за формулою (6.29):

$$\Delta C_{пал} = G_{газ} \cdot C_{газ} - G_{мвп} \cdot C_{мвп} = 242,00 \cdot 1430 - 856,00 \cdot 120 = 243340 \text{ грн,}$$

де $C_{газ} = 1430,00$ грн/тис.м³; $C_{мвп} = 120,00$ грн/т.

2.4. Визначення терміну окупності заходу за рахунок різниці вартості палива, що спалюється, за формулою (6.30):

$$T_{ок} = K_{мвп} / \Delta C_{пал} = 519888,60 / 243340,00 = 2,14 \text{ років.}$$

Контрольні питання

1. Що таке біомаса?
2. Які форми біомаси використовують для отримання тепла?
3. Який енергетичний потенціал біомаси в світі і в Україні?
4. Яка структура встановленої потужності об'єктів відновлювальної енергетики в Україні?
5. Який потенціал деревинних біоресурсів в Україні?
6. Які характеристики біопалива – біоетанолу і який його потенціал?

7. Який річний теоретичний потенціал біогазу в Україні?
8. Економічні та екологічні аспекти видобування звалищного біогазу?
9. Які особливості виробництва і використання біоетанолу?
10. Яка хімічна формула і структура біоетанолу?
11. З якої сировини виробляється біометанол?
12. Яка хімічна формула і структура біометанолу?
13. Яка технологія виробництва бутанолу?
14. Яка хімічна формула і структура бутанолу?
15. Переваги використання бутанолу в порівнянні з етанолом?
16. Яка хімічна формула і структура диметилового ефіру?
17. Які переваги диметилового ефіру в порівнянні з іншими біопаливами?
18. Які недоліки диметилефіру?
19. Яка технологія виробництва біодизелю?
20. З яких органічних матеріалів отримують біогаз?
21. Яка структурна схема біогазової установки?
22. Які етапи проектування біогазової установки?
23. Як розрахувати об'єм газгольдера?
24. Які існують методи одержання енергії з твердої біомаси?
25. Як характеризуються малі твердопаливні котли?
26. Яка будова автоматизованого пелетного котла HAR-GASSNER?
27. Яка будова і переваги універсального твердопаливного котла?
28. Чим відрізняється твердопаливний котел CANDLE від інших?
29. Які особливості промислових твердопаливних котлів з киплячим шаром?
30. Як відбувається спалювання деревинних відходів на рухомій ланцюговій решітці?
31. Як працюють котли для спалювання мулових осадів?
32. Як працює установка для спалювання сміттєвих відходів і окремих предметів розміром до 1 м (США)?
33. З яких елементів і процесів складається схема сміттєспалювального заводу?

34. Як відбувається газифікація твердих побутових відходів?
35. Які особливості вирощування енергетичної біомаси?
36. Яку технологію використовують при виготовленні деревинних гранул (пелет)?
37. З яких елементів складається установка для виготовлення пелет?
38. Як працює гранулятор пелет?
39. Які особливості виготовлення пелет з соломи?
40. В чому переваги децентралізованих когенераційних установок?
41. На якому принципі працюють двигуни Стірлінга?
42. Які перспективи розвитку біоенергетики в Україні?

7. ВОДНЕВА ЕНЕРГЕТИКА

7.1. Енергетичні властивості водню

Воднева енергетика – галузь енергетики заснована на використанні водню як засобу для акумулювання, транспортування і споживання енергії. Водень обраний як найбільш поширений елемент на поверхні землі і в космосі, теплота згоряння водню найбільш висока, а продуктом згоряння його в кисні є вода (яка знову вводиться в оборот водневої енергетики). Воднева енергетика відноситься до альтернативної енергетики; <https://ru.wikipedia.org/wiki>

Відзначимо переваги водню як палива в порівнянні з бензином, <http://nek-npo.ru/novaya-energetika/vodorodnaya-energetika/eav-i-vodorodnaya-energetika.html>

Невичерпність. У Світовому океані водню міститься $1,2 \times 10^{13}$ т, дейтерію – 2×10^{13} т. Сумарна маса водню становить 1% загальної маси Землі, а число атомів – 16%. Особливо важливий тут той фактор, що при згорянні водень перетворюється в воду і повністю повертається в кругообіг природи.

Вагова теплотворна здатність водню (119,1 МДж/кг) в 2,8 рази вище в порівнянні з бензином. Енергія займання в 15 разів менше, ніж для вуглеводневого палива. Максимальна швидкість поширення фронту полум'я в 8 разів більше в порівнянні з вуглеводнями.

Випромінювання полум'я в 10 разів менше в порівнянні з полум'ям вуглеводнів.

Екологічність. При використанні водню як палива виключається можливість посилення парникового ефекту, не виділяються шкідливі речовини (автомобільний двигун викидає 45 токсичних речовин, в тому числі і канцерогени), немає небезпеки утворення застійних зон водню: він легко випаровується.

Відзначимо і негативні якості водню. Це низькі щільність і об'ємна теплотворна здатність, більш широкі межі вибуховості та більш висока температура займання в порівнянні з вуглеводнями.

Застосування концепції енергоакуюлюючих речовин (ЕАР) дозволить знизити негативний вплив цих недоліків водню як палива, які помітно перебиваються його перевагами.

Водень взагалі можна вважати універсальним паливом, оскільки він володіє абсолютною екологічною чистотою, може замінити бензин, дизельне паливо і мазут в теплових двигунах (автомобільних, тракторних, комбайнових, локомотивних, суднових, допоміжних і ін.). Придатний для всіх видів теплових двигунів: поршневих із запалюванням від іскри та стиснення, поршнетурбінних, у всіх типах турбоустановок, двигунах Стірлінга, двигунів прямої реакції, для побутових цілей.

Роботи з розвитку водневої енергетики особливо активно розвивалися в СРСР і США. Так, в 1972 році в США на випробувальному полігоні фірми Дженерал моторс проводилися змагання міських транспортних засобів, в яких брало участь 63 автомобіля з різними системами двигунів, в тому числі на акумуляторних батареях, аміаку-пропані 333 і два автомобіля на водні. Останні зайняли перше і друге місце. Кращі результати показав конвертований на водень автомобіль фірми Фольксваген, в якому відпрацьовані гази були чистіше засмокуваного в двигун міського повітря.

Біля витоків досліджень водню стояв професор Ілля Львович Варшавський (1994–1997 рр.), Відомий в першу чергу завдяки циклу Варшавського-Чудакова. І саме він і запропонував концепцію енергоакуюлюючих речовин. При цьому його ідеї втілювалися не тільки в статтях і звітах. Так, в кінці сімдесятих років колективом відділу теплових двигунів Інституту проблем машинобудування АН УРСР під керівництвом І.Л. Варшавського спільно з В.А.Байковим і В.П. Журманом проведена конвертація автомобіля Москвич-412 для роботи на бензині, водні та бензоводневій суміші. Водневе пальне вироблялось в реакторах періодичної дії з порціонним завантаженням ЕАВ на основі кремнію або алюмінію і регульованою подачею води. Були проведені дорожні випробування автомобіля, визначені динамічні якості автомобіля, максимальна швидкість, паливна економічність, експлуатаційні характеристики і токсичність відпрацьованих газів.

В цей же час був конвертований для роботи з добавками водню, що зберігається в гідридах, автомобіль ВАЗ-2101. Випробування показали, що застосування водню в якості додаткового пального вирішує проблему зниження токсичності ОГ автомобіля (окис вуглецю відсутня повністю, кількість вуглеводнів і окислів азоту не перевищують перспективні допустимі норми). Поряд зі зниженням токсичності добавки водню знижують витрату бензину приблизно на 40% і підвищують паливну економічність двигуна на 10–15%. Добавки водню розширюють концентраційні межі запалення, підвищують швидкість горіння бідних сумішей.

Завершенням роботи над автомобілями, які використовують бензоводневі суміші стала експлуатація в Харкові серійних таксомоторів Волга, забезпечених гідридними баками для зберігання водню.

7.2. Виробництво водню

Виробництво водню

В даний час існує безліч методів промислового виробництва водню:

Парова конверсія природного газу – метану

В даний час цим способом виробляється приблизно 90–95% всього водню. Водяна пара при температурі 700–1000° С змішується з метаном під тиском у присутності каталізатора. Собівартість процесу \$ 2–5 за кілограм водню.

Газифікація вугілля

Найстаріший спосіб отримання водню. Вугілля нагрівають з водяною парою при температурі 800–1300° С без доступу повітря. Перший газогенератор був побудований у Великобританії в 40-х роках XIX століття. Собівартість процесу \$ 2–2,5 за кілограм водню.

Використовуючи атомну енергію

Використання атомної енергії для виробництва водню можливо в різних процесах: хімічних, електроліз води, високотемпературний електроліз. Собівартість процесу \$ 2,33 за кілограм водню.

Електроліз води

$2\text{H}_2\text{O} + \text{енергія} = 2\text{H}_2 + \text{O}_2$. Зворотна реакція відбувається в

паливному елементі. Собівартість процесу \$ 6–7 за кілограм водню при використанні електрики з промислової мережі, \$ 7–11 при використанні електрики, одержуваної від вітрогенераторів, \$ 10–30 при використанні сонячної енергії.

Водень з біомаси

Водень з біомаси виходить термохімічним або біохімічним способом. При термохімічному методі біомасу нагрівають без доступу кисню до температури 500–800° С (для відходів деревини), що набагато нижче температури процесу газифікації вугілля. В результаті процесу виділяється H_2 , CO і CH_4 . Собівартість процесу \$ 5–7 за кілограм водню. В біохімічному процесі фіксації азоту водень виробляють різні бактерії, наприклад, *Rodobacter speriodes*.

Інфраструктура виробництва і доставки

Зниження ціни водню можливо при будівництві інфраструктури з доставки та зберігання водню. У США діє 750 кілометрів, а в Європі – 1500 кілометрів водневих трубопровідних систем. Трубопроводи діють при тиску 10–20 бар, виготовлені зі сталевих труб діаметром 25–30 см. Найстаріший водневий трубопровід діє в районі німецького Рура. 210 кілометрів трубопроводу з'єднують 18 виробників і споживачів водню. Трубопровід діє понад 50 років. Найдовший трубопровід довжиною 400 кілометрів прокладений між Францією і Бельгією.

Після невеликих змін водень може передаватися по існуючим газопроводам природного газу. Водень в даний час, в основному, застосовується в технологічних процесах виробництва бензину та для виробництва аміаку. США щорічно виробляють близько 11 мільйонів тонн водню, що достатньо для річного споживання приблизно 35–40 мільйонів автомобілів; <https://ru.wikipedia.org/wiki>

У поняття сонячної енергії входить не тільки сонячне випромінювання. Як зазначалося вище, є види енергії, які наше світло виробляє не безпосередньо (вітрова енергія, гідравлічна енергія річок, енергія біомаси, енергія океану).

Хоча сонячна енергія в своєму прямому і непрямому впливі хороша для навколишнього середовища, у неї все ж є свої недоліки. Вона не настільки зручна для використання, як бензин або

природний газ. Наприклад, ми не можемо просто заправити машину сонячною енергією де і коли завгодно. Крім того, сонце в середньому світить тільки шість-вісім годин на день. Прямий і непрямий вплив сонячної енергії зосереджено в областях, далеких від центрів її споживання. Енергія сонячних променів найсильніше в тропіках і субтропіках, в той час як основні споживачі зосереджені в помірних зонах. Енергія вітру максимальна в полярних регіонах і не настільки велика в помірних областях. Те ж саме можна сказати і про гідроенергію, термальну енергію океанів, енергію хвиль, течій і припливів – в більшості своїй вони найменш доступні в тих районах, де найбільше потрібні.

Існують місця, де в якийсь час і прямий і непрямий вплив сонячної енергії недоступний. І навіть якщо ця енергія присутня, вона дається нам не в тій формі, в якій її можна застосувати вдома, на заводі або в транспортній системі, тому необхідно якось чином акумулювати енергію сонця, вітру, хвиль, океанічного тепла, припливів і течій тоді і там, де вона доступна. Іншими словами, потрібен накопичувач енергії, який буде діяти як сполучна ланка між сонячною енергією (прямою і непрямую) і споживачем.

Ця *сполучна ланка* має відповідати таким умовам:

- вона повинна бути зручною в зберіганні і транспортуванні;
- це повинно бути паливо, яке можна використовувати на транспорті, в будинках і промисловості;
- вона повинна відповідати вимогам екологічної чистоти;
- її ресурси повинні бути необмеженими.

Водень краще всіх відповідає перерахованим умовам. Він не виробляє ніяких речовин, що викликають парниковий ефект, ніяких хімікатів, що утворюють смог і кислотні дощі. Все, що він робить - це електрику і водяну пару.

Водень також і ефективне паливо. Він може бути перетворений в інші форми енергії (механічну і електричну) більш ефективно, ніж інші види палива. Наприклад, в автомобілях його ККД становить 60%, в той час як ефективність бензину – всього 25%.

На Землі водень у вільній формі зустрічається рідко, в основному він з'єднаний з киснем, утворюючи воду. Водень дуже добре заповнює недоліки сонячної енергетики, і це з'єднання сонця і водню називають сонячно-водневою енергетичною системою.

У ній водень виробляється одним з методів його отримання з використанням сонячної енергії в її прямій або непрямій формі в залежності від того, як зручніше. Потім він може переправлятися по трубопроводах або в танкерах в райони споживання, де з нього отримують електроенергію або відразу використовують в якості палива на різні народногосподарські потреби. Традиційні паливні ресурси успішно можна замінити воднем, отримуючи при цьому значну вигоду і не погіршуючи стану навколишнього середовища.

Сонячно-водневе виробництво

Сонячна енергія не завжди і не скрізь доступна. У середньому її можна отримувати протягом приблизно однієї третини доби, і навіть тоді її інтенсивність змінюється від слабкої вранці і ввечері до максимальної опівдні. Тому сонячну енергію необхідно запасати в ті моменти, коли її багато, щоб використовувати потім, коли вона відсутня, <https://metallurgy.zp.ua/solnechno-vodorodnaya-energetika/>

За допомогою сонячної енергії екологічно чистий водень можна виробляти чотирма різними шляхами – прямим нагріванням, термохімічним шляхом, електролізом і фотолізом.

Прямий нагрів. У цьому методі водяна пара нагрівається до 1400° С або вище, після чого молекули води починають розпадатися, утворюючи газоподібні водень і кисень. Чим вище температура, тим вище швидкість розпаду молекул в пару. Для отримання великої кількості водню нагрів необхідно проводити при температурі 2500–3000° С, що можливо при використанні параболічних дзеркал, що фокусують сонячну енергію на контейнери з водою.

Термохімічний метод. Пар з температурою 300–1000° С пропускають через залізний порошок, що призводить до окислення заліза киснем і вивільненню пов'язаного водню. Це лише один

приклад термохімічного методу. В даний час тривають дослідження із застосування різних матеріалів, щоб цей метод став дешевшим.

Електролітичний метод. Технологія цього методу добре розроблена. З її допомогою елементи, подібні автомобільним акумуляторам, використовуються для виробництва водню і кисню з води. Кожен елемент складається з двох електродів, поміщених в електроліт (воду з хімічними добавками, що підвищують її електропровідність), які підключено до джерела постійного струму. Якщо до електродів прикласти напругу, достатню для виникнення струму, то кисень буде виділятися на аноді, а водень - на катоді.

Фотолітичний метод. У цьому методі Сонце використовується для прямого розкладання води на водень і кисень, не вдаючись до допомоги високих температур або електрики. Молекули води поглинають дрібні частки, з яких складаються сонячні промені - фотони. Захопивши багато цих частинок, молекула сама розпадається на водень і кисень. Це явище називається фотоліз. Для ініціювання розкладання води в неї додають різні неорганічні речовини, які будуть поглинати більше фотонів, ніж це може зробити сама вода. Фотолітичний метод отримання водню не дуже ефективний, хоча він дешевший, ніж інші методи.

Таким чином, водень є екологічно чистим посередником в застосуванні сонячної енергії. Спочатку, використовуючи сонячну енергію (пряму і непряму), отримують електроенергію. Далі, використовуючи електроенергію в електролітичних установках, з води отримують водень – нове екологічно чисте паливо – і кисень, який може бути випущений в атмосферу або як-небудь використаний. Потім за допомогою танкерів або трубопроводів водень транспортується до центрів споживання. Там водень буде спалений як паливо в двигунах внутрішнього згорання замість бензину і дизельного палива або використаний в паливних елементах для отримання механічної, електричної та теплової енергії. І кінцевим продуктом всіх цих процесів буде вода. У перспективі сонячно водневі системи повинні забезпечити людство екологічно чистою енергією.

Можливі такі схеми електролітичного отримання водню за рахунок сонячної енергії: електроліз води електричним струмом, що виробляється шляхом прямого перетворення енергії випромінювання Сонця в електроенергію за допомогою сонячних батарей, і електроліз води електричним струмом, що виробляється тепловою сонячною станцією в паровому циклі звичайного типу, рис. 7.1. Загальна ефективність схеми, показаної на малюнку 1а, становить від 5 до 12% (при ККД електролізера 75–80% і ККД кремнієвих фотобатарей 16–20%). Загальна ефективність схеми на малюнку 1б при попередньому значенні ККД електролізера досягає 21% при температурі пара на вході в турбіну 825 К і на виході 300 К.

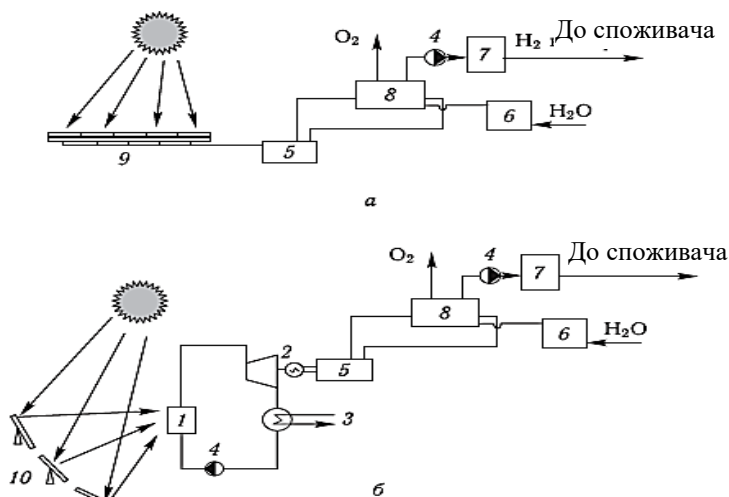


Рис. 7.1. Можливі схеми отримання водню електролізом води за рахунок сонячної енергії: 1 – парогенератор; 2 – турбоагрегат; 3 – конденсатор; 4 – насос; 5 – перетворювальний пристрій; 6 – приготування розчину; 7 – сховище водню; 8 – електролізер; 9 – фотоелектрогенератор; 10 – концентратори сонячного випромінювання

Особливе значення для локальних споживачів північних важкодоступних районів, де малі річки промерзають, мають вітроводневі електростанції (ВВЕС). Отримання водню електролізним розкладанням води, його акумулювання в періоди сильного вітру (при надлишку електроенергії, вироблюваної вітроагрегатами) і використання накопиченого водню як палива в теплоагрегатах в періоди слабкого вітру кардинально вирішують задачу гарантованого електро-постачання від ВВЕС.

Спрощена схема отримання та перетворення енергії в системі ВВЕС представлена на рисунку 7.2, а за рахунок електролізу на рис. 7.3.

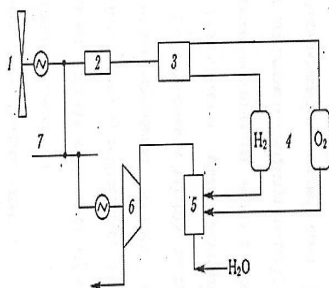


Рис. 7.2. Схема отримання і перетворення енергії в системі вітроводневої електростанції (ВВЕС):

- 1 – вітроенергетичний агрегат;
- 2 – трансфор-моторно-випрямний блок;
- 3 – блок електролізера;
- 4 – ресивери для зберігання водню і кисню;
- 5 – парогенератор;
- 6 – турбогенераторний блок;
- 7 – збірні шини електростанції

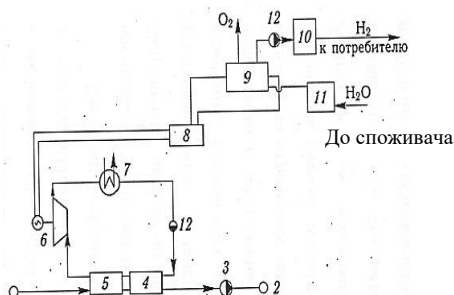


Рис. 7.3. Схема отримання водню електролізом води за рахунок геотермальної енергії:

- 1 і 2 – припливна і нагнітальна геотермальні свердловини;
- 3 – насосна станція закачування відпрацьованої термальної води;
- 4 – теплообмінник-підігрівник;
- 5 – випарник;
- 6 – турбогенератор;
- 7 – конденсатор;
- 8 – перетворювальний пристрій;
- 9 – електролізер;
- 10 – сховище водню;
- 11 – приготування розчину;
- 12 – насос

У запропонованій схемі електроенергія бінарної ГеоЕС в нічний час використовується в електролізній установці для отримання водню.

Водень також можна отримувати з вуглеводневої сировини (зокрема, з природного газу) і органічних відходів з використанням ядерної енергії, вугілля і проміжних енергоносіїв.

Виробництво водню з вуглеводнів і органічних відходів найчастіше здійснюється термохімічними методами, а при виробництві з води традиційно використовується електроліз. Для цілей водневої енергетики необхідна розробка нових економічних, екологічно чистих методів отримання водню.

Одним з перспективних методів отримання водню в найближчій перспективі може стати виробництво водню за допомогою бактерій. При такому методі процес йде за схемою фотосинтезу: сонячне світло поглинається синьо-зеленими водоростями, які досить швидко ростуть. Ці водорості можуть служити їжею для деяких бактерій, в процесі життєдіяльності виділяють із води водень. Дослідження, які були проведені з різними видами бактерій, показали, що всю енергетику міста з мільйонним населенням може забезпечити водень, виділений бактеріями, що харчуються синьо-зеленими водоростями на плантації площею близько 18 квадратних кілометрів.

Зберігання та використання водню

У великих кількостях водень найкраще зберігати під землею. Для цього можна використовувати вироблені колектори-порожечі, що залишилися після викачування нафти і природного газу, або шахти та інші підземні споруди. Подібні сховища є в Великобританії і Франції.

Запасений водень надалі необхідно доставити до місця споживання. У невеликих кількостях його можна перевозити і розподіляти в паливовозах як газ, але там, де потрібно його велика кількість, трубопроводи є набагато більш економічним способом транспортування. У США і Європі нагромаджено певний досвід безпечного транспортування водню по трубах.

У водневої енергетичної системі з води одночасно з воднем виробляється і кисень. Він також може бути поміщений в сховища і доставлений по трубопроводах до місця споживання або викинутий в атмосферу. При спалюванні водень буде з'єднуватися з киснем або зі сховища, або прямо з повітря.

Найбезпечніше акумулювання і зберігання водню в твердофазному зв'язаному стані в металогідридах і композитних наноструктурних матеріалах (водень «зберігається» в міжатомних просторах кристалічної решітки металу). Для виділення вільного водню метал потрібно нагріти до невисокої температури. Дослідження і розробки таких нових технологій охоплюють як створення і дослідження нових металогідридних систем, так і систем на основі нових воднепоглинаючих матеріалів.

У створених до теперішнього часу низькотемпературних оборотних металогідридних системах зберігання ваговий вміст доступного водню становить не більше 2% при його об'ємній щільності, що перевищує щільність рідкого водню. Для використання в великомасштабних і транспортних системах акумулювання такий низький масовий вміст водню є серйозним бар'єром. Істотно більшого вагового вмісту водню (до 5% ваги) вдається досягти для високотемпературних оборотних металогідридних систем. Однак для їх функціонування необхідні джерела високотемпературного тепла, що знижує економічну ефективність таких систем акумулювання.

У зв'язку з цим найважливішими завданнями при створенні ефективних механізмів для зберігання водню в твердофазному зв'язаному стані є розробки нових поглинаючих матеріалів (в тому

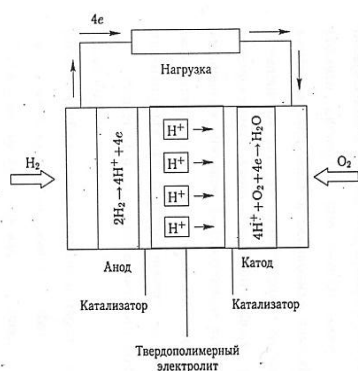


Рис. 7.4. Схеми твердополімерного повітряно-водневого паливного елемента

базі паливних елементів, рис. 7.4.

числі композитних, каталітичних і наноструктурних) з поліпшеною кінетикою сорбції і підвищеною місткістю за воднем.

Вирішення зазначених проблем може привести до радикального розширення практичного використання акумулюючих пристроїв із застосуванням воднепоглинаючих матеріалів в автотранспорті та автономної енергетиці. Це має особливе значення для цілей безпечного зберігання водню на борту транспортних засобів, які використовують енергоустановки на

Зберігання водню можливо в обмежених кількостях і в посудинах балонного виду при відповідному високому тиску. Використання водню як екологічно чистого енергоносія для виробництва електроенергії можливо в паливних елементах.

Паливні елементи

Паливний елемент (ПЕ) – це хімічне джерело генерування струму, його найпростішим аналогом є звичайна електрична батарея. Усередині ПЕ розташовані два електроди, між якими знаходяться мембрана і каталізатор. В ПЕ водень з'єднується з киснем і виробляє електрику; при цьому кінцевим продуктом є вода – джерело водню, так що процес виходить поновлюваним і екологічно чистим. В ПЕ реалізується розімкнутий процес (близький до ізотермічного), а не цикл і обмеження, пов'язані з ККД циклу, тут неприйнятні. Теоретично вся хімічна енергія палива може бути перетворена в ПЕ в електроенергію.

Теоретичний ККД водень-кисневого ТЕ, розрахований як відношення виробленої електроенергії до теплоти реакції, близький до одиниці. ПЕ вже давно і успішно використовуються на борту космічних кораблів, виробляючи електрику і воду для космонавтів. Електростанція на ПЕ потужністю 4,5 МВт успішно працює в Японії з 1984 р.

Накопичено значний досвід використання рідкого водню в ракетно-космічній техніці. Космічні держави (Росія, США, західноєвропейські країни, Японія, Китай) є головними споживачами рідкого водню.

Створене вітчизняне кріогенне устаткування і системи в повній мірі задовольняли потреби в рідкому водні основного споживача – ракетно-космічну галузь. У ВАТ «Кріогенмаш» проводилися роботи по вдосконаленню і розробці нового кріогенного обладнання. До основних досягнень можна віднести розробку уніфікованого ряду кріогенних резервуарів місткістю 8, 25, 63, 75 м³ вертикального типу; місткістю 50, 100, 230, 250 м³ горизонтального типу і місткістю 1400 м³ сферичного типу для зберігання водню і кисню. Завдяки застосуванню високоефективної теплової ізоляції вдалося сконструювати великі резервуари, що забезпечують низьку випаровуваність, що практично вирішило проблему тривалого зберігання кріопродуктів.

Серйозну проблему представляє собою забезпечення споживачів рідкого водню транспортними цистернами. Розроблено залізничні цистерни об'ємом 100 м^3 з добовими втратами 1,2%. Для транспортування рідкого водню по шосейних дорогах розроблена одна з найбільших в світі автомобільна транспортна цистерна об'ємом 45 м^3 . Цистерна має високоефективну екранно-вакуумну ізоляцію, що забезпечує втрати рідини в добу на рівні 0,8%, що в свою чергу гарантує можливість транспортування рідкого водню на відстань до 1000 км без скидання пари.

Подальший неминучий розвиток водневої енергетики вимагає створення нового покоління високоефективних і надійних кріогенних систем для зрідження водню, його зберігання та транспортування. Мова може піти про заводи-зріджувачі з продуктивністю до 3 т/год рідкого водню і сховищах з одиничним об'ємом резервуарів до 4000 м^3 . Важливими споживачами рідкого водню є електронна і скляна промисловості. Також неминуче широкомасштабне впровадження в Україні водневих технологій в металургії, хімії, нафтохімії, в процесах переробки жирів і ін. Безсумнівно, перспективно використання рідкого водню в авіації, де в аеродромних кріогенних комплексах повинні застосовуватися зріджувач продуктивністю 2–3 т/год і сховища на базі резервуарів об'ємом до 4000 м^3 .

На шляху до масового впровадження водневого палива залишається цілий ряд технічних перешкод, подолання яких потребує серйозних вкладень і зусиль протягом, принаймні, кількох десятиліть,

<https://metallurgy.zp.ua/solnechno-vodorodnaya-energetika>

Комірка Мейера

Очевидно, що винахідник зі США Стенлі Мейер розробив електричну комірку, яка дозволяє розділяти звичайну водопровідну воду на водень і кисень з набагато меншою витратою енергії, ніж потрібно при звичайному електролізі. Комірка Мейера, зроблена вдома винахідником в Grove City, Огайо, виробляла набагато більше воднево-кисневої суміші, ніж могло очікуватися при простому електролізі, рис. 7.5.

У той час як звичайний електроліз води вимагає струму, що вимірюється в амперах, комірка Мейера виробляє той же ефект

при міліамперах. Більш того, звичайна водопровідна вода вимагає додавання електроліту, наприклад, сірчаної кислоти, для збільшення провідності; комірка Мейера діє при величезній продуктивності з чистою водою.



Рис. 7.5. Лабораторна установка з коміркою Мейера

Згідно з очевидцями, самим різючим аспектом комірки Мейера було те, що вона залишалася холодною навіть після годин виробництва газу. Комірка Мейера має багато спільного з електролітичною коміркою, за винятком того, що вона працює при високому потенціалі і низькому струмі краще, ніж інші методи.

Конструкція проста. Електроди зроблені з паралельних пластин нержавіючої сталі, що утворюють або плоску, або концентричну конструкцію. Вихід газу залежить зворотно пропорційно відстані між ними; пропонується патентом відстань 1,5 мм дає хороший результат.

Значні відмінності полягають в живленні комірки. Мейер використовує зовнішню індуктивність, яка утворює коливальний контур з ємністю комірки, – чиста вода, очевидно, має діелектричну проникність близько 81, – щоб створити паралельну резонансну схему. Вона порушується потужним імпульсним генератором, який разом з ємністю комірки і випрямним діодом складає схему накачування. Висока частота імпульсів виробляє східчастий підйом потенціалу на електродах комірки до тих пір, поки не досягає точки, де молекула води розпадається і виникає короткочасний імпульс струму. Схема вимірювання струму живлення виявляє цей стрибок і замикає джерело імпульсів на кілька циклів, дозволяючи воді відновитися.

Зафіксований вихід газу був достатнім, щоб показати воднево-кисневе полум'я, яке миттєво плавило сталь.



Рис. 7.6. Демонстрація виходу окремих молекул водню і кисню – «гримучого газу» – в комірці Мейєра

Крім рясного виділення кисню і водню і мінімального нагрівання комірки, очевидці також повідомляють, що вода в усередині комірки зникає швидко, переходячи в її складові частини у вигляді аерозолі з величезною кількістю крихітних бульбашок, що покривають поверхню комірки, рис. 7.6.

Мейєр заявив, що у нього працює конвертер воднево-кисневої суміші протягом останніх 4 років, що використовує ланцюжок з 6 циліндричних осередків. Він також заявив,

що фотонне стимулювання простору реактора світлом лазера за допомогою оптоволокна збільшує виробництво газу.

Низькоамперний електроліз води (Ф. М. Канарев)

В останні роки зростає інтерес до водневої енергетики. Пояснюється це тим, що водень є невичерпним і екологічно чистим енергоносієм. Однак реалізація цих якостей стримується великими витратами енергії на отримання його з води. Найсучасніші електролізери витрачають 4,0 кВт·год на кубічний метр цього газу. Процес електролізу йде при напрузі 1,6–2,0 Вольтів і силі струму в десятки і сотні Ампер. При спалюванні кубічного метра водню виділяється 3,55 кВт·год енергії. Проблему зменшення витрат енергії на отримання водню з води вирішують багато лабораторій світу, але істотних результатів немає. Тим часом в Природі існує економний процес розкладання молекул води на водень і кисень. Протікає він при фотосинтезі. При цьому атоми водню відокремлюються від молекул води і використовуються в якості сполучних ланок при формуванні органічних молекул, а кисень йде в атмосферу. Виникає питання: а чи не можна змодельювати електролітичний процес розкладання води на водень і кисень, який йде при фотосинтезі?

http://www.o8ode.ru/article/energo/electroliz_water.htm

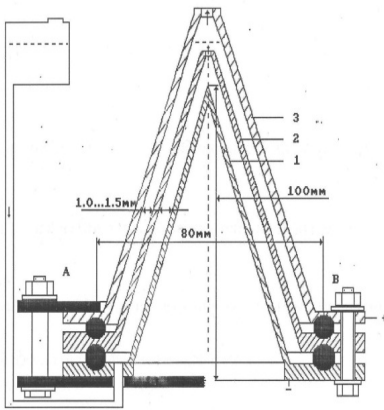


Рис. 7.7. Модель низькоамперного електролізера Ф. М. Канарева
http://www.vixri.com/d/Kanarev%20F.M.%20_Elektroliz%20vody.pdf

Пошук відповіді на поставлене вище питання привів до простої конструкції комірки, рис. 7.7, в якій процес йде при напрузі 1,5–2,0 Вольта (за показаннями вольтметра) між анодом і катодом, і силі струму 0,02 Ампера (по показаннями амперметра і осцилографа).

Процес низькоамперного електролізу може складатися з двох циклів, в одному циклі електролізер включено в електричну мережу, а в іншому вимкнений.

Електроди комірки виготовлені зі сталі, що виключає явища, притаманні гальванічному елементу. Проте на електродах комірки з'являється різниця потенціалів близько 0,1 В при повній відсутності електролітного розчину в ній. Після заливки розчину різниця потенціалів збільшується. При цьому позитивний знак заряду завжди з'являється на верхньому електроді, а негативний – на нижньому. Якщо джерело постійного струму генерує імпульси, то вихід газів збільшується.

Оскільки лабораторна модель осередку низькоамперного електролізера генерує невелику кількість газів, то найнадійнішим методом визначення їх кількості є метод визначення зміни маси розчину за час досвіду і подальшого розрахунку отриманого водню і кисню. Витрати енергії на отримання водню з води при низькоамперному електролізі зменшуються не в 12 разів, а майже в 2000 разів, рис. 7.8.



Рис. 7.8. Лабораторна модель низькоамперної комірки електролізера

Невелика величина струму $0,02\text{ A}$ і невелика величина, відповідної напруги $0,062\text{ В}$, дають нам підставу припускати, що в низькоамперному електролізері процес електролізу води аналогічний тому, який йде при фотосинтезі.

Відповідність процесу електролізу води при низькоамперному електролізі процесу її електролізу, що протікає при фотосинтезі, підтверджується також інтенсивним виходом бульбашок газів протягом декількох годин після відключення електролізера від мережі.

Плазмоелектролітичні процеси

На початку був один плазмоелектролітичний процес – плазмовий електроліз води. Тепер з'явилася сукупність плазмоелектролітичних процесів з різними функціональними можливостями: плазмовий електроліз води, плазмовий електроліз і нагрівання водних розчинів одночасно і найефективніший плазмотеплотлізерний процес, при якому в одній камері йдуть три процеси: плазмовий електроліз води, спалювання газів, одержуваних з неї, і нагрівання водного розчину.

Плазмовий електроліз води, реалізується в одній катодно-анодній камері. Плазма атомарного водню виникає в зоні (Р.Р) катода 1, робоча площа якого багаторазово менша робочої площі анода 2 (рис. 7.9, а). Утвориться суміш водню і кисню і парів води, яка виходить через патрубок 3.

Подальші дослідження показали, що, якщо анод і катод розмістити в окремих камерах, то ефективність плазмоелектролітичного процесу збільшується, рис. 7.10.

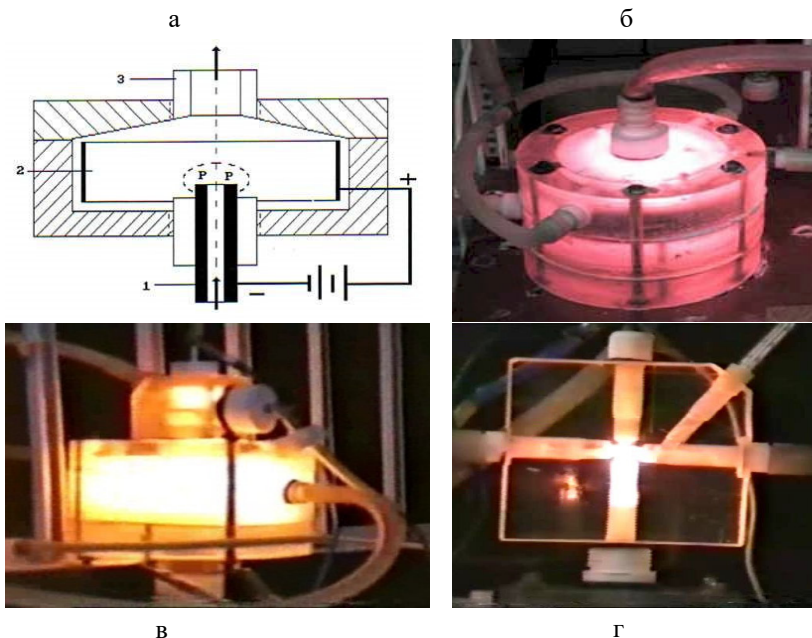


Рис. 7.9. а) – схема плазмоелектролітичної комірки : 1 – катод і вхідний патрубок для розчину; 2 – анод у вигляді циліндра; 3 – випускний патрубок парогазової суміші; P-P – зона плазми; б), с) і д) варіанти плазмоелектролітичних комірок в роботі

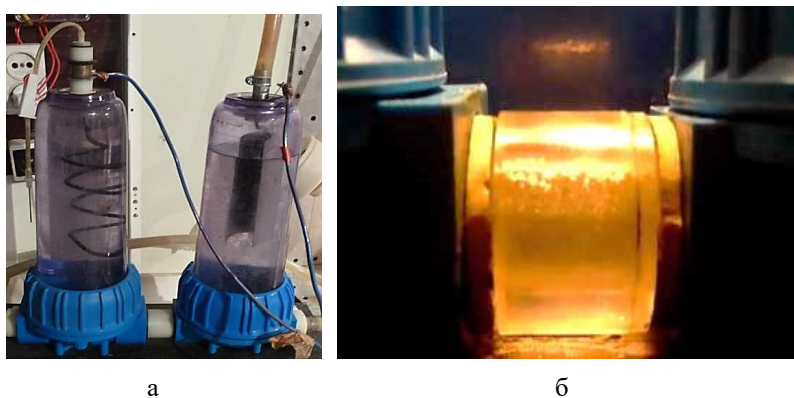


Рис. 7.10. а) – двокамерний плазмоелектролізер (зліва-катодна камера; праворуч – анодна); б) – трубка, що з'єднує анодну і катодну камери

У двокамерному плазмоелектролізері процеси електролізу йдуть не тільки в зоні катода і анода, але в трубці, що з'єднує камери, рис. 7.10, б. Виявилось, що двокамерний плазмований електролізер може працювати в двох режимах: в режимі інтенсивного відокремлення газів і в режимі інтенсивного виділення тепла і меншого виділення газів. Режими ці залежать від конструкції катода. В результаті виникла необхідність дати цим процесам і пристроям, які реалізують їх, відповідні назви.

Плазмоелектролізр – електротехнічний пристрій, що працює в плазмовому режимі і виробляє з розчину води кількість газів: водню і кисню значно більше, ніж тепла.

Плазмотепполізер – електротехнічний пристрій, що працює в плазмовому режимі і виробляє тепла значно більше за енергоємністю, ніж енергоємність водню і кисню, які також виділяються в цьому випадку.

Але найефективнішим виявився плазмотепполізер, що має одну камеру і спеціальні катод і анод. У однокамерному плазмотепполізері йдуть одночасно три процеси: електроліз води, спалювання водню і кисню, і нагрів водного розчину.

Таким чином, плазмотепполізер, зменшує витрату електроенергії на нагрівання теплової батареї в 2,5 рази за показаннями лічильника електроенергії. Якщо врахувати, що в плазмотепполізері імпульси напруги трикутні, тобто мають шпаруватість рівну $S = 2$, то відповідно до формули (2) реальна витрата електроенергії на нагрівання поверхні батареї становитиме $0,33/2 = 0,165$ кВт год і виникає питання про реалізацію цього додаткового ефекту при існуючих лічильниках електроенергії, які неправильно враховують її імпульсну витрату?

Плазмований спосіб генерації тепла і вихід водню

Спочатку напрямком плазмового електролізу розглядалося як розділ класичної електрохімії, доповнений гіпотезою про внесок в ініціювання хімічних реакцій випромінювання розряду, а пізніше – радіаційно-хімічних ефектів, що викликаються бомбардуванням поверхні розчину іонами, що генеруються в плазмі,

<http://www.tet.in.ua/index.php/en/41-poluchenie-vodoroda/plazmennym-elektrolizom/166-plazmennyj-sposob-generatsii-tepla-i-vykhod-vodoroda>

При «класичному» електролізі водних розчинів електролітів виділення основних газоподібних продуктів кисню і водню пов'язане з електродними процесами розрядки іонів гідроксилу і гідроксоні. Гідроксил – гідроксильна група – група OH' , що входить в молекули хімічних сполук. Гідроксоній – одна з основних форм існування іону водню у водному розчині. Якщо в якості таких електродів виступає плазма, що контактує з розчином, то ситуація змінюється. Спостерігається виділення гримучого газу, яке не описується законом Фарадея. Виходи за струмом кисню і водню, що спостерігалися в тліючому і контактному розрядах, при всіх умовах значно перевищують одиницю. Електролітичні процеси відомі давно і широко використовуються в хімічній промисловості. Плазмоелектролітичні процеси виявлені порівняно недавно, тому поки що не існує ні фізичної, ні хімічної теорій цих процесів.



Рис. 7.11. Горіння плазми на кінці вольфрамового електрода

Попередній аналіз показує, що повний опис плазмоелектролітичного процесу не може базуватися на суто фізичних або чисто хімічних уявленнях. Це – взаємопов'язані фізико-хімічні процеси, тому розділити їх на фізичні і хімічні можна лише умовно, рис. 7.11.

Стале отримання плазми досягається при різній площі позитивного і негативного електродів. При зануренні стрижневого електрода діаметром 4 мм. в електроліт більш ніж на 10 мм і подачі напруги від 0 до 250-ти вольт плазма не світиться. На електродах з підвищенням напруги збільшується газовиділення і зростає струм. У разі, коли стрижневий електрод опущений на 3–4 мм нижче меніска, то при напрузі на електродах 60–70 вольт починаються іскрові пробої в області газовиділення водню. Плавно підвищуючи напругу, зростає характерний гул, іскрові пробої переходять в стаціонарне горіння плазми. Перевищення напруги понад 150 вольт веде спочатку до плавлення вольфрамового стрижневого електрода, а потім до його закипання. Концентрацію еле-

ктроліту і температуру доводиться міняти в залежності від параметрів комірки. Основне дослідження проводилося в лужному електроліті.

Підвищення напруги призводить до зміни сили струму в ланцюзі, характерна закономірність якого показана в наведеному графіку, рис. 7.12.

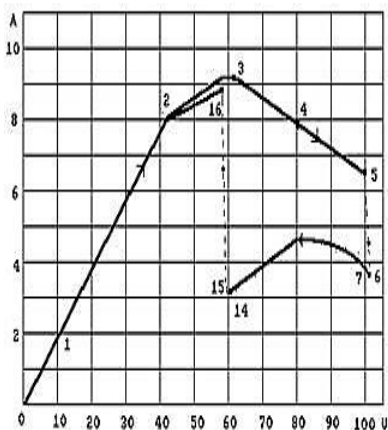


Рис. 7.12. Залежність сили струму від напруги в електролізері

Спочатку, при підвищенні напруги лінійно, відповідно до закону Ома, зростає сила струму. Потім, при напрузі понад 40 Вольт закон Ома порушується, а при напрузі близько 100 Вольт (точки 5–6) сила струму зменшується стрибкоподібно, і у катода з'являється яскраве світіння (плазма). Подальше примусове зменшення напруги (точки 6–15) незначно змінює силу струму. При напрузі близько 60 Вольт (точки 14–15) світіння у катода зникає, сила струму стрибкоподібно збільшується майже до колишньої величини.

Світіння в електроліті Na_2CO_3 помаранчового кольору. При підпаленні електрода і меншій площі дотику плазми з електролітом, світіння переходить у фіолетовий колір. У цей час споживання струму зменшується в кілька разів.

Проведені дослідження показали:

1) Дійсно, при плазмовому електролізі кількість виробленого водню перевищує вихід за струмом в лужному електроліті (Na_2CO_3) в 1,7–2,2 рази. У кислотному (H_2SO_4) в 2,5–3 рази. Як вказувалося в роботі Канарьова Ф. М. і Т. Mizuno перевищення по току виходу водню в 10–20 разів в наших експериментах досягнуто не було.

2) Калометричні виміри виділення тепла (без урахування енергії виділення газів) показали, що співвідношення вкладеної електричної енергії та отриманої теплової (в катодній плазмі) мають

в середньому співвідношення 1/1,4.

3) Природа надлишкової теплової енергії, мабуть, пов'язана з іонізацією і рекомбінацією водню.

Дослідження в період з липня 2008 р. по травень 2009 р. відкрили практичні можливості для застосування систем плазмового електролізу в теплотехніці. Основна складність полягала у виключенні ерозії електродів, тому що це безпосередньо пов'язано з експлуатаційними характеристиками агрегату. Віддаючи деяку перевагу анодній плазмі, ми знайшли фізичні умови, при яких плазмовий електрод не піддавався помітного зносу. Були виявлені також моменти аномального поведінки анодній плазми, рис. 7.13. і рис. 7.14.

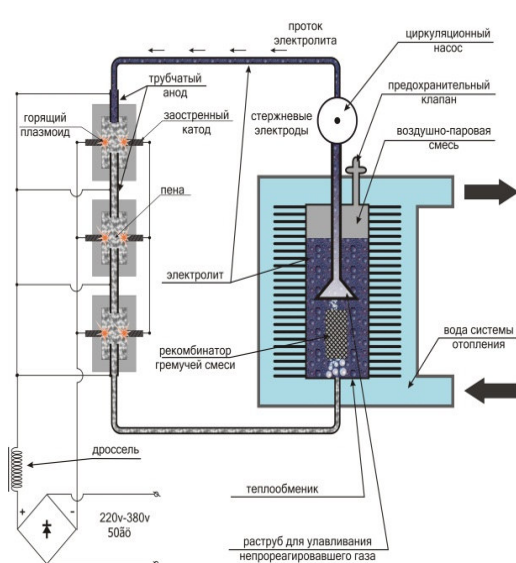


Рис. 7.13. Возможна принципова схема плазмового генератора тепла

<http://www.tet.in.ua/index.php/en/41-poluchenie-vodoroda/plazmennym-elektrolizom/166-plazmenniy-sposob-generatsii-tepla-i-vykhod-vodoroda>

Теплові виміри плазми показали, що перевагу слід віддати катодній плазмі, тому що за інших рівних умов, катодна плазма генерує більше тепла на 20–40%, ніж анодна. Крім того, види-



Рис. 7.14. Стійке горіння плазми при проточній схемі проходження електролізу
Керівник проекту Хрищанович А. П.

лення водню, як пального, в катодній плазмі більше, ніж коли катод є просто металевою пластиною. Крім цієї переваги слід врахувати, що катодна плазма працює майже беззвучно, «м'яко». Анодна плазма видає різкий звук, іноді гримить.

7.3. Турбогенераторний і термохімічний процеси отримання водню

Спосіб отримання водневовмісного газу в турбогенераторній установці, рис. 7.15 і рис. 7.16, <http://grantstroy.net/en/2013-02-25-10-26-03.html>



Рис. 7.15. Воднева турбогенераторна установка ВТГУ-2, винахід НППСО «Грантстрой»



Рис. 7.16. Воднева турбогенераторна установка

Спосіб отримання водневовмісного газу в турбогенераторній установці, де реалізована формула винаходу $H_2O + C_nH_{2n+2} = H_2 + CO_2$, і основним компонентом (90% і більше) становить H_2O і тільки 10% становить каталізатор – вуглеводнева сировина C_nH_{2n+2} , метан CH_4 і нафту будь-якої фракції, – дає всі підстави відмовитися від видобутку, переробки вуглеводневої сировини, газу, нафти.

Вчені вперше в світовій практиці на підставі теоретичних і практичних достовірних експериментальних дослідів науково-обґрунтовано спрямовують усі зусилля на створення високотемпературних (13000–20000 градусів і більше) водневих турбогенераторних установок для застосування їх як джерела енергії у всіх

галузях економіки, житлово-комунального господарства, в теплоенергетиці, хімічній і металургійній промисловості, рис. 7.17 і рис. 7.18.



Рис. 7.17. Автоматизована турбогенераторна установка

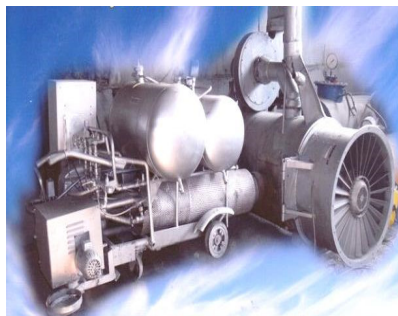


Рис. 7.18. Воднева турботеплогенераторна установка ВТГУ-700

На рис. 7.19 показана принципова схема турботеплогенераторної установки Аракеляна Г. Г.

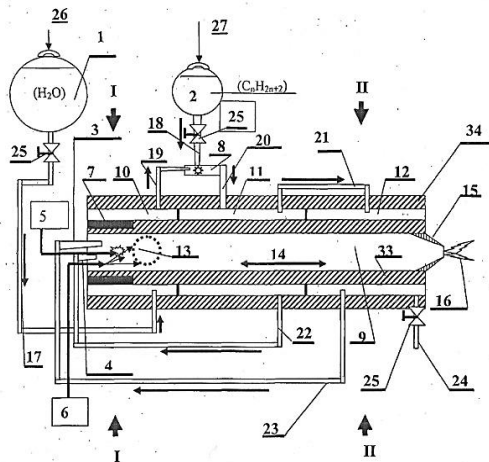


Рис. 7.19 Турботеплогенераторна установка Аракеляна Г. Г.:

1 – витратна ємність для води, 2 – витратна ємність для вуглеводневого компонента C_nH_{2n+2} ; 3 – робочий пальник; 4 – пальник запуску; 5 – зовнішнє незалежне джерело-генератор з іскровим імпульсним пристроєм запалювання; 6 – пристрій турбонаддуву; 7 – індукційний (контактний) нагрівач запуску турбогенератора; 8 – змішувач інжекторного типу; 9 – вогнева камера; 10 – перший ступінь технологічного циліндра; 11 – другий ступінь технологічного циліндра; 12 – третій ступінь технологічного циліндра; 13 – зона

запалювання, займання і утворення вогневого факела; 14 – зона технологічного горіння вогневого факела; 15 – пристрій формування робочого факела; 16 – зона робочого факела; 17 – технологічний трубопровід подачі води нагнітанням з видаткової ємності (I) в перший ступінь (10) технологічного циліндра; 18 – технологічний трубопровід подачі вуглеводневої компонента C_nH_{2n+2} нагнітанням з видаткової ємності (2) в змішувач (8) інжекторного типу; 19 – технологічний трубопровід подачі пари з першого ступеня (10) технологічного циліндра в змішувач (8) інжекторного типу; 20 – технологічний трубопровід подачі паровуглеводневої суміші із змішувача (8) в другий щабель (11) технологічного циліндра; 21 – технологічний трубопровід подачі паровуглеводневої суміші з другого ступеня (II) технологічного циліндра в третій ступінь (12) технологічного циліндра; 22 – технологічний трубопровід подачі паровуглеводневої суміші з другого ступеня (11) технологічного циліндра в пальник запуску (4) (повернення палива в режимі примусового розігріву), 23 – технологічний трубопровід подачі палива з третього ступеня (12) технологічного трубопроводу в робочий пальник (3) повернення палива в штатному режимі саморозігріву; 24 – трубопровід відбору палива зовнішньому споживачеві; 25 – регулювальний клапан; 26 – місце завантаження води в видаткову ємність (1); 27 – місце впуску палива

Турбогенераторна установка забезпечує 100% екологічну чистоту навколишнього середовища і відсутність сумарних викидів вуглекислих CO_2 і сірчанокислих SO_2 газів в атмосферу, тим самим запобігаючи світову глобальну екологічну катастрофу.

Основні напрямки використання винаходу:

1. Мала енергетика – тому що установка мобільна, то її можна використовувати у віддалених місцях. Вона здатна замінити будь-який вітчизняний і зарубіжний пальник. (Температура в ядрі факела от 1100 до 1300 градусів Цельсія).

2. В нафтових компаніях – можливо обладнання свердловин даними установками. Можливо їх застосування для прогріву на глибині високо-парафінованої та бітумної нафти. Можлива утилізація відходів нафтопереробних заводів.

3. Велика енергетика – можливе використання на будь-який ГРЭС, ТЭС, ТЭЦ в великих котельнях та виробничих потужностях.

4. Одержання електричної енергії – можливо отримання електричної енергії в газотурбінних електроустановках.

5. У ЖКГ – може використовуватися на будь-який котельні для отримання теплової енергії.

6. У портах – може використовуватися для утилізації замазаної морської води.

7. У автомобільному транспорті – можливе використання при доопрацюванні двигунів до параметрів необхідних при спалюванні водню.

8. У хімічній промисловості – для отримання дешевого водню.

9. Опріснення морської води – при приєднанні парогенератора установка здатна випаровувати морську воду і після охолодження отримувати питну воду.

10. В металургії – по відновленню оксидів заліза Fe_2O_3 і FeO безпосередньо впливом продуктами горіння водню H_2 на сировину в межах температури $810-9000^\circ C$.

Загальні переваги

1. Виключення споживання зовнішніх енергоресурсів за рахунок створення принципово нової концепції і підходів до технології засноване на раніше невідомому явище двухстадійного високотемпературного окислення вуглеводнів водою на рівні наукового відкриття і технічного рішення.

2. Зниження собівартості водневого палива до рівня собівартості видобутку звичайної ґрунтової води.

3. Забезпечення 100% безпеки самої технології, де виключені дорогі процеси зберігання-транспортування і розподілу водню по споживачах.

4. Екологічна безпека. Технологія і винахід отримання водневовмісного газу в ВТГУ-1, 2 і ВТТГУ-700 і використання за призначенням повністю забезпечують екологічну стабільність навколишнього середовища за рахунок виключення викидів шкідливих газів SO_2 , CO_2 і ін.

Патенти, наукові відкриття ЗАТ НППСО «ГРАНТСТРОЙ»:

- № 22694486 «Спосіб отримання водневовмісного газу в турбогенераторної установці»;

- № 2478688 «Багатостадійний спосіб отримання водовмісного газоподібного палива і теплогазогенераторна установка його реалізації (спосіб Аракелян Г.Г.)»

- № 117145 «теплогенераторні» (установка Аракелян Г.Г.) – Наукове відкриття «Явище двостадійного високотемпературного окислення вуглеводнів водою», диплом № 425.

Атомно-воднева енергетика – шляхи розвитку

Н. Н. Пономарев-Степной, академік; А. Я. Столяревський, канд. техн. наук; «*Енергія*» 2004, № 1. С. 3–9.

Властивості водню

У вільному стані і при нормальних умовах водень – безбарвний газ, без запаху і смаку. Щодо повітря водень має щільність 1/14. Він зазвичай і існує в комбінації з іншими елементами, наприклад, кисню у воді, вуглецю в метані і в органічних сполуках. Оскільки водень хімічно надзвичайно активний, він рідко присутній як непов'язаний елемент.

Охолоджений до рідкого стану водень займає 1/700 обсягу газоподібного стану. Водень при з'єднанні з киснем має найвищий вміст енергії на одиницю маси: 120,7 ГДж/т. Це – одна з причин, чому рідкий водень використовується як паливо для ракет та енергетики космічного корабля, для якої мала молекулярна маса і високий питомий енерговміст водню мають першорядне значення. При спалюванні в чистому кисні єдині продукти – високотемпературне тепло і вода. Таким чином, при використанні водню не утворюються парникові гази і не порушується навіть круговорот води в природі.

Виробництво водню

Запаси водню, пов'язаного в органічній речовині і в воді, практично невичерпні. Розрив цих зв'язків дозволяє виробляти водень і потім використовувати його як паливо. Розроблено численні процеси з розкладання води на складові елементи.

При нагріванні понад 2500° С вода розкладається на водень і кисень (прямий термоліз). Настільки високу температуру можна отримати, наприклад, за допомогою концентраторів сонячної енергії. Проблема тут полягає в тому, щоб запобігти рекомбінацію водню і кисню.

В даний час в світі велика частина виробленого в промислово-му масштабі водню виходить в процесі парової конверсії метану (ПКМ). Отриманий таким шляхом водень використовується як реагент для очищення нафти і як компонент азотних добрив, а також для ракетної техніки. Пар і тепла енергія при температурах 750–850° С потрібні, щоб відокремити водень від вуглецевої основи в метані, що і відбувається в хімічних парових реформерах на каталітичних поверхнях. Перший ступінь процесу ПКМ розщеплює метан і водяну пару на водень і монооксид вуглецю. Слідом за цим на другому ступені «реакція зсуву» перетворює монооксид вуглецю і воду в діоксид вуглецю і водень. Ця реакція відбувається при температурах 200–250° С.

Починаючи з 70-х років минулого століття в країні були виконані і отримали необхідне науково-технічне обґрунтування та експериментальне підтвердження проекти високотемпературних гелієвих реакторів (ВТГР) атомних енерготехнологічних станцій (АЕТС) для хімічної промисловості та чорної металургії. Серед них АБТУ-50, а пізніше – проект атомної енерготехнологічної станції з реактором ВГ-400 потужністю 1 060 МВт (т) для ядерно-хімічного комплексу з виробництва водню і сумішей на його основі, з випуском аміаку і метанолу, а також ряд наступних проектів цього напрямку.

Основою для проектів ВТГР послужили розробки ядерних ракетних двигунів на водні. Створені в нашій країні для цих цілей випробувальні високотемпературні реактори і демонстраційні ядерні ракетні двигуни продемонстрували працездатність при нагріванні водню до рекордної температури 3000 К.

Високотемпературні реактори з гелієвим теплоносієм – це новий тип екологічно чистих універсальних атомних енергоджерел, унікальні властивості яких – здатність виробляти тепло при температурах понад 1000° С і високий рівень безпеки – визначають широкі можливості їх використання для виробництва в газотурбінному циклі електроенергії з високим ККД і для постачання високотемпературним теплом і електрикою процесів виробництва водню, опріснення води, технологічних процесів хімічної, нафтопереробної, металургійної та ін. галузей промисловості.

Одним з найбільш просунутих в цій галузі є міжнародний проект ГТ-МГР, який розробляється спільними зусиллями російських інститутів (ОКБМ, РНЦ «Курчатовський інститут», ВНПНМ, НВО «Луч») і американської компанії GA при управлінні і фінансуванні з боку Міністерства РФ і DOE US. З проектом співпрацюють також компанії Фраматом і Фуджі електрик, рис. 7.20.

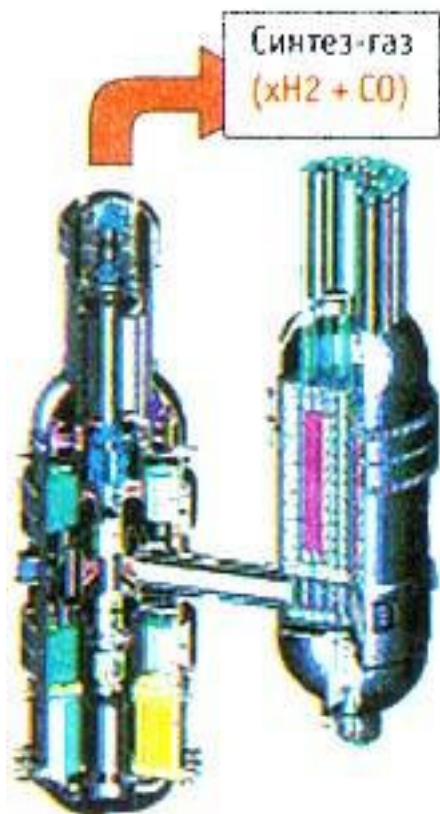


Рис. 7.20. Модульний гелієвий реактор з паровою конверсією метану

ПКМ.

До теперішнього часу розроблений проект модульного гелієвого реактора для генерації електрики (з ККД $\sim 50\%$) з використанням прямого газотурбінного циклу. Енергетична установка ГТ-МГР складається з двох зв'язаних водно-теплових блоків: модульного високотемпературного гелієвого реактора (МГР) і газотурбінного перетворювача енергії прямого циклу (ГТ).

Роботи знаходяться на стадії технічного проектування з експериментально-стендовою відпрацюванням ключових технологій: паливо і система перетворення енергії. В даний час проводиться оцінка технологічного застосування цього проекту для виробництва водню з використанням термохімічних циклів, в тому числі і на базі

Створення такого тандему (ВТГР-ПКМ) відкриває шлях широкому застосуванню ядерної енергії в енергоємній промисловості: великотоннажної хімії, металургії, а також дозволяє шляхом вироблення вторинного енергоносія (чистого водню або його суміші з СО) створювати ядерні енерготехнологічні комплекси для регіонального теплоенергопостачання з постачанням палива для транспорту і низькопотенційного тепла для комунально-побутових потреб і комерційного сектора.



Рис. 7.21. Компонівка модульного гелієвого реактора в будівлі

води, до 100% і, тим самим, повністю уникнути витрат метану можна, якщо отримувати в якості проміжного продукту метанол з наступним електрохімічним відновленням метану, що повертається в голову процесу. Подібний розвиток технології по відношенню до зв'язки «ВТГР-ПКМ» може стати рентабельним при

Термохімічний процес отримання водню з води використовує цикл реакцій з хімічно активними сполуками, наприклад, сполуками бромю або йоду, і проводиться при високій температурі, рис. 7.21. Потрібно декілька стадій – зазвичай три, щоб виконати повний процес. Запропоновано і розглядається кілька сотень можливих циклів. У провідних країнах світу цього процесу приділяється особлива увага як потенційно найбільш ефективної технології виробництва водню з води за допомогою ВТГР. Такий цикл може бути побудований і на базі ПКМ, оскільки при паровій конверсії метану половина водню виробляють не з метану, а з води. Довести в цьому циклі частку водню, одержуваного розщепленням

зростанні цін на природний газ понад 120–150 дол./1000 м³.

Як показав аналіз цих технологій отримання водню, економічність його виробництва залежить від ефективності виробництва споживаної енергії і рівня температур використовуваної в процесі теплоти. Промислове виробництво водню з високою ефективністю можливо при створенні адекватного за температурними можливостями ядерного енергоджерела з температурою нагріву теплоносія 950–1000° С з низьким рівнем радіоактивного забруднення одержуваного продукту. Цим вимогам відповідає (розробляється ОКБМ) ядерний реактор для виробництва водню МГР-Т.

Проект МГР-Т – перший атомний енергокомплекс для виробництва водню

В основі проекту – 30-річний досвід ОКБМ в області високотемпературних газоохолоджувальних реакторів. За цей період було розроблено цілий ряд проектів реакторів для застосування в енергоємних промислових процесах, таких як виробництво аміаку, глибока переробка нафти, газифікація вугілля і т.п. Створена комплексна експериментальна база для проведення НДДКР. З 1995 р. ОКБМ бере участь в міжнародному проекті зі створення високотемпературного реактора з газотурбінним блоком перетворення енергії (проект GT-MHR), будучи головним підприємством з російської сторони. Роботи за цим проектом дозволили значно просунути в освоєнні цієї інноваційної технології.

Проект МГР-Т розробляється в декількох модифікаціях, що розрізняються способом виробництва водню. У варіанті з парової конверсії метану високопотенційне тепло, одержуване в реакторі (гелій з температурою 950° С) передається безпосередньо до парогазової суміші в високотемпературних теплообмінниках (СОТ), що відокремлюють реакторний контур від хіміко-технологічної частини установки.

<http://www.okbm.nnov.ru/component/content/article/4-1/73->

У варіанті з термохімічним циклом розкладання води передача теплоти від реакторного теплоносія з температурою 1000° С

здійснюється в СОТ до гелію проміжного контуру і далі – робочому середовищу хіміко-технологічної частини. Проміжний гелієвий контур служить додатковим бар'єром безпеки, що гарантує радіаційну чистоту отриманого продукту.

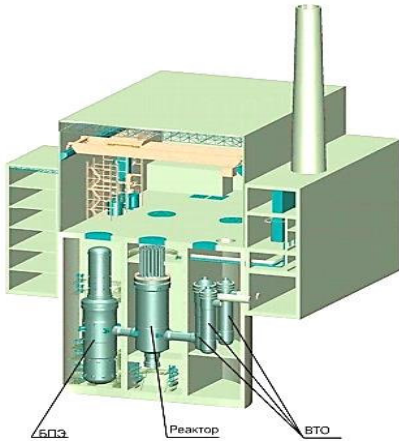


Рис. 7.22. Компонування реакторного модуля МГР-Т для варіанту з парової конверсією метану

Реакторний модуль МГР-Т, в обох варіантах, розміщений в заглибленій реакторній будівлі, рис. 7.22. Він включає власне ядерний реактор, блок перетворення енергії (БПЕ) і СОТ, скомпоновані в єдину конструкцію і розміщені в окремих шахтах реакторній будівлі під герметичною захисною оболонкою.

Основні технічні характеристики установки наведені в таблиці 7.1.

Таблиця 7.1

Основні технічні характеристики установки

Характеристики	Цикл виробництва Н ₂	
	ПКМ	ТХЦ
Теплова потужність, МВт:		
- реактора;	600	600
- на виробництво водню;	160	211
- на виробництво електроенергії.	435	384
Температура гелію на виході з реактора, °С	950	1000
Тиск теплоносія в реакторі, МПа	7,5	7,5
Строк служби реактора	60	60

Блок перетворення теплової енергії в електричну – вертикальна турбомашина, рис. 7.23, що включає газову турбину, електрогенератор і турбокомпресор, об'єднані в єдину одновальну

конструкцію, що обертається в електромагнітних підшипниках.

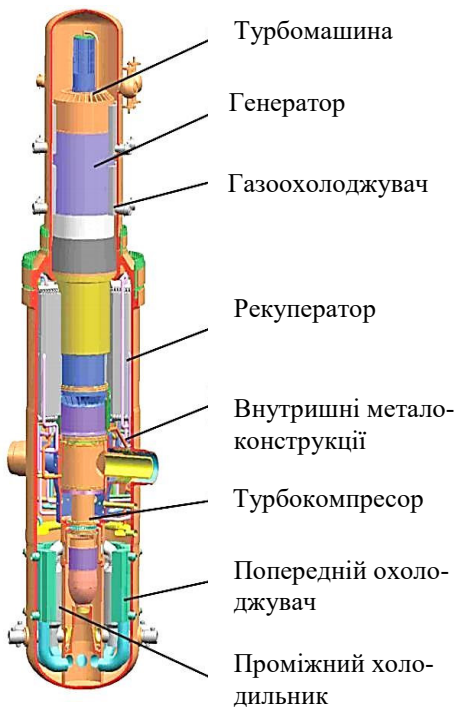


Рис. 7.23. Блок перетворення енергії

особливо для конструкцій, що працюють під тиском гелієвого теплоносія. Ще однією новою і складною науково-технічною задачею в рамках даного проекту є відпрацювання технології виготовлення СОР з жароміцної конструкційної кераміки. До вирішення зазначених проблем також притягнутий цілий ряд спеціалізованих інститутів нашої країни.

Проект такого енергокомплексу, що складається з чотирьох високотемпературних ядерних реакторів тепловою потужністю 600 МВт кожен, продуктивністю від 200 до 500 тис. тонн водню в рік, розробляється в даний час. Розрахункова собівартість виробництва водню в такому комплексі – близько 1,6 рублів за куб. м.

Створення такої унікальної машини пов'язане з вирішенням ряду складних інженерних завдань, що вимагають проведення масштабних досліджень і дослідно-конструкторських робіт. Такі роботи проводяться спеціалізованими підприємствами в рамках згаданого міжнародного проекту GT-MHR.

Технічні труднощі створення ядерних реакторів для виробництва водню пов'язані, перш за все, з дуже високим рівнем робочих температур всіх вузлів реакторної установки. Це, природно, ускладнює обґрунтування вибору, застосування та розробку конструкційних матеріалів,

При цьому термін окупності такого комплексу складе 3 роки, а чистий дохід від реалізації водню за термін служби станції – близько 15 млрд доларів США. Міжнародне співробітництво в рамках програми «Покоління IV» дозволить прискорити здійснення цього інноваційного проекту, здатного радикально змінити на краще енергетичне майбутнє людства вже в першій половині XXI століття.

Електролітичне розкладання води (електроліз)

Електролітичний водень є найбільш доступним, але дорогим продуктом. У промислових і дослідно-промислових установках реалізований ККД електролізера ~ 70–80% при щільності струму менше 1 А/см², в тому числі для електролізу під тиском. Японські дослідники розробили експериментальні мембранно-електродні блоки з твердополімерним електролітом, що забезпечують електроліз води з ККД (з електрики) > 90% при щільності струму 3 А/см².

Особливий інтерес представляє електроліз в поєднанні з поновлюваними джерелами енергії. Наприклад, Дослідницький центр Енергії Університету Гумбольта розробив автономну сонячно-водневу систему, яка використовує фотоелектричний елемент потужністю 9,2 кВт, щоб забезпечити привід компресорів для аерації басейнів риборозведення, і біполярний лужний електролізер потужністю 7,2 кВт, здатний виробляти 25 л Н₂/хв. Система працює автономно починаючи з 1993 р. Коли відсутнє сонячне світло, запасений водень служить паливом для полуторакіловатного ЕХГ, що забезпечує привід компресорів.

7.4. Електрохімічне розкладання води із застосуванням штучного листя

Штучні листя виробляють водневе паливо

Сонячне світло – невичерпне джерело енергії, по-справжньому ефективно використовувати який вміє поки що тільки природа (найяскравішим прикладом є фотосинтез). І ось недавно дослідники з Массачусетського технологічного інституту (МІТ) в Кембриджі вперше змогли наблизитися до створення потенційно дешевих і практичних штучних зразків «листя», що дозволяють

розщеплювати воду на водень і кисень. Для нас це означає ні багато ні мало потенційно невичерпне джерело легкодоступної енергії, рис. 7.24.

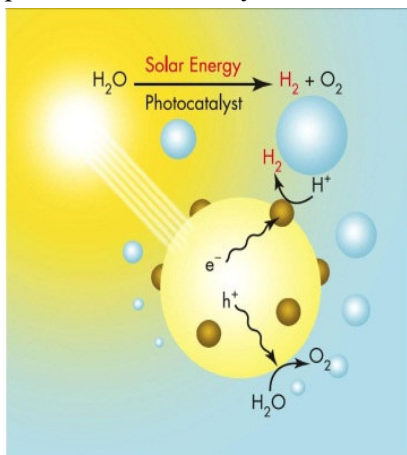


Рис. 7.24. Принцип роботи штучного листа

Новий пристрій являє собою кремнієву пластинку розміром з гральну карту, покриту з обох сторін шарами двох різних каталізаторів. Кремній поглинає сонячне світло і передає енергію каталізаторам, які, в свою чергу, використовують її для розщеплення води на молекули водню і кисню.

Отриманий водень – готове паливо, яке можна або спалювати, або використовувати

в паливних елементах для виробництва електроенергії, причому в будь-якому випадку на виході ми знову отримуємо воду. Таким чином, теоретично пристрій зможе стати джерелом дешевої, чистої і доступної енергії, для якого потрібна наявність лише води та сонця.

Презентація винаходу на засіданні Американського хімічного товариства (проходить двічі на рік) справила незабутнє враження на Роберта Грубса, хіміка з Каліфорнійського технологічного інституту в Пасадені. Наголошуючи на необхідності доопрацювання технології для надання їй більшої практичності він, тим не менше, підкреслює значимість нового методу, так як «потенційно низька вартість може посприяти його широкому поширенню», рис. 7.25. і рис. 7.26.

В цілому ідея використання напівпровідника для розщеплення води аж ніяк не нова. Більше десяти років тому група під керівництвом Джона Тернера з Національної лабораторії поновлюваних джерел енергії в Голдені, Колорадо, створила чіп (тонку пластинку) з арсеніду галію, здатний розщеплювати воду, збираючи, в кінцевому рахунку, 12% енергії сонячного світла у вигляді водню. Однак арсенід галію – досить дорогий матеріал, а

при тривалому контакті з водою пристрій іржавіє, стаючи непридатним для використання.

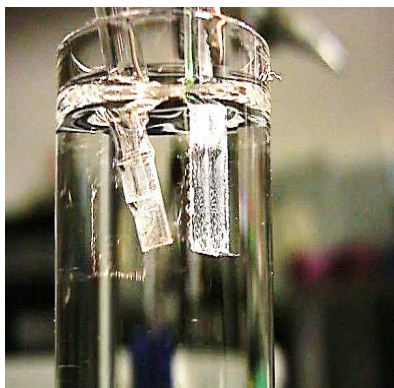


Рис. 7.25. Лабораторні зразки штучного «листя»

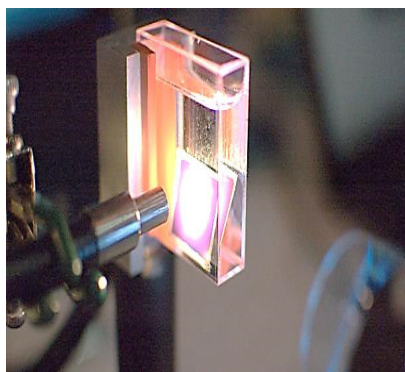


Рис. 7.26. Випробування штучного «листя»

Розщеплення води на складові частини (водень і кисень) вимагає одночасного протікання двох хімічних реакцій. Спершу з атомів водню у воді видаляються електрони. Як результат, молекула води розпадається на позитивно заряджені іони водню, або протони, і негативно заряджені атоми кисню. Потім один з каталізаторів повинен сприяти утворенню зв'язку між двома атомами кисню для отримання O_2 , в той час як інший каталізатор пов'язує два атома водню з двома електронами для створення H_2 .

Три роки тому команда на чолі з хіміком Деніелом Носера з Массачусетського технологічного інституту частково вирішила цю проблему, задіявши в процесі формування молекул O_2 спеціальний каталізатор на основі кобальту і фосфору. Унікальність каталізатора полягала в його здатності розчинятися і перетворюватися в ході каталітичного циклу. За словами Носера, це виявилось величезною перевагою. Проте, каталізатор пристрою, що отримав назву електролізер, виявився також схильний до корозії. Були і інші перешкоди для використання подібного методу зв'язування атомів водню. Для нього добре підходила платина – знову-таки рідкісний і дорогий матеріал.

У 2009-м році Носера з колегами створили компанію Sun Catalytic для отримання прибутку з виробництва електролізерів. Восени компанія отримала додаткове фінансування від індійського промислового гіганта Tata. Отримавши до того ж \$ 4 млн дол. США від Управління перспективних наукових досліджень (ARPA-E), дослідники почали роботу над пристроєм другого покоління.

І ось днями Носера повідомив про розробку дешевого каталізатора, в якому для формування H_2 використовуються відразу три різних метала, що дозволяє обійти проблему з платиною. Склад нового каталізатора поки невідомий, так як робота все ще не опублікована і знаходиться на стадії патентування.

За словами Носера стало відомо, що три метали мають різні функції. Перший, як активний інгредієнт в препараті, з'єднує молекули H_2 . Другий спочатку призначений для утримання двох інших металів в оброблюваному металі. Після нанесення сплаву на поверхню в результаті контакту з водою другий метал розчиняється, залишаючи два інших металу всередині пористого матеріалу. Це дозволяє збільшити площу поверхні для протікання реакції H_2 .

У звичайних умовах ця реакція швидко згасає завдяки наявності фосфат-іонів. Для виведення фосфату з поверхні матеріалу команда Носера і додала третій метал, забезпечив, таким чином, безперервне функціонування пристрою. Для створення штучного листа команда MIT закріпила каталізатори на протилежні сторони кремнієвої пластинки. Кремній поглинає сонячне світло і передає активні негативно заряджені електрони і позитивно заряджені електронні вакансії каталізаторам на протилежних сторонах для формування H_2 і O_2 .

Насправді сонячний колектор, звичайно, являє собою щось більш складне, ніж суцільна плитка кремнію. Це просто необхідно, оскільки напруга, необхідне для розщеплення води, становить, щонайменше, в 1,23 вольт, в той час як один кремнієвий елемент забезпечує лише 0,5 вольт.

Тому команда Масачусетського технологічного інституту використовувала комерційно доступний матеріал, що складається з трьох шарів кремнієвих елементів, що дало їм достатню

напругу для збудження реакції розщеплення води. При приміщенні пристрою в прозору ємність і забезпеченні доступу сонячного світла воно виробляє постійний потік кисню і водню, що проривається (вихідний потік) до поверхні. За словами Носера, установка перетворює 5,5% енергії сонячного світла в водневе паливо (згодом дослідники сподіваються ще підвищити ефективність і термін служби пристрою).

Штучний лист за допомогою фотосинтезу генерує енергію з більшою ефективністю, ніж живі рослини

<http://ecotechnica.com.ua/energy/solntse/205-iskusstvennyj-list-s-pomoshchyu-fotosinteza-generiruet-energiyu-s-bolshej-effektivnostyu-chem-zhivye-rasteniya.html>

Коли мова заходить про сонячну енергію, то в більшості випадків, волею чи неволею, уява малює блискучі сонячні батареї, спрямовані в небо. Але насправді, в цьому випадку правильніше було б представляти звичайні зелені рослини – дерева, трави і водорості. Саме вони є природними сонячними генераторами, що перетворюють сонячне випромінювання в енергію шляхом природного процесу – фотосинтезу, рис. 7.27.



Рис. 7.27. Штучне «листя» підвищеної продуктивності

Нещодавно австралійські вчені з університету Монаша (Monash University) розробили пристрій, що імітує натуральний біо-процес – виробництво органічних речовин з сонячного світла, води і вуглекислого газу. Нова технологія дозволяє домогтися 22% ефекти-

вності - рекордного значення серед подібних механізмів на сьогоднішній день. Показник створеного ними «штучного листа» навіть перевищує продуктивність живих рослин, які витратили мільйони років на вдосконалення своєї «технології».

Значення ефективності отримання водню за допомогою сонячної енергії за останні роки тільки безперервно росли, це відбувалося за рахунок постійного вдосконалення технологій і розробці каталізаторів нових типів. Всього лише в грудні 2014 року показник ефективності пристроїв, здатних відтворювати процес

фотосинтезу становив близько 12%, а досягнення дослідників з Австралії майже на 10% перевищує, зроблений раніше, 18% рекорд.

Результати дослідження (Renewable fuels from concentrated solar power: towards practical artificial photosynthesis) були опубліковані в науковому журналі Energy & Environmental Science. У ньому пояснюється принцип роботи розробленого пристрою для фотосинтезу і умови генерації водневого палива, яке є сьогодні однією з ефективних форм «зеленої» енергії. По суті технологія являє собою електрохімічний поділ води за допомогою квантів світла і електричного струму, в результаті чого вода розпадається на кисень і водень.

Важливим моментом нового методу стало застосування складного каталітичного матеріалу, що є з'єднанням фосфіду галію-індію, германію та арсеніду галію. Ці матеріали вже добре відомі виробникам фотоелектричних сонячних установок. Крім того, більш високої продуктивності посприяло використання нових електродів, виготовлених з нікелевої «піни», яка забезпечує велике значення ефективної площі електрода, що відповідає за електроліз води. Електролітом в новому штучному процесі фотосинтезу служить розчин, до складу якого входять фосфат натрію і поварена сіль у певному співвідношенні, рис. 7.28.

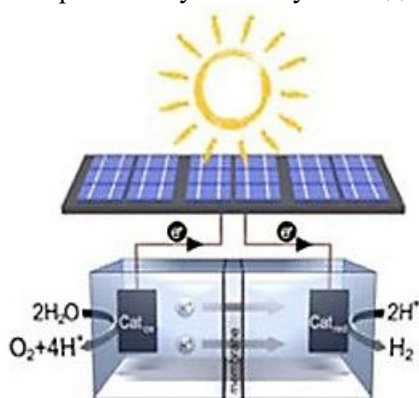


Рис. 7.28. Принцип роботи штучного «листя»

Паперові батареї складаються, як оригами і працюють на брудній воді і бактеріях – нова технологія вчених з США

Один з авторів дослідження, професор Дуг Макфарлейн (Doug MacFarlane) розповідає: «Ми намагаємося ефективно відтворювати штучний фотосинтез, і робимо це набагато продуктивніше, ніж це роблять рослини. Наш штучний лист –

який, швидше за все, не буде схожий на лист взагалі – виробляє екологічно чисту енергію за допомогою штучного фотосинтезу з 22-відсотковою ефективністю. Попереднє досягнення ефективності використання енергії в сонячному паливі становило 18 відсотків. У багатьох рослин рівень ефективності використання енергії знаходиться між 1 і 2 відсотками, таким чином, ця штучна альтернатива є величезний стрибок в продуктивності.

Вчені з Каліфорнійського технологічного інституту створили унікальні «штучні листя». Вчені надихнулися самою природою. Нові штучні листя дозволять новим сонячним пристроям ефективно розщеплювати воду і отримувати справжнє водневе паливо. Цей прорив став можливий завдяки тому, що вчені уважно придивилися до хімічних процесів, які протікають у всіх існуючих живих рослинах на нашій планеті.

Новий тип захисного покриття штучного листа можна з легкістю використовувати в напівпровідникових матеріалах, щоб уникнути появи іржі і полегшити хімічний процес, який в свою чергу, відіграє ключову роль у виробництві палива з допомогою сонячної енергії. Покриття забезпечить виробництво палива з рекордним рівнем ефективності і стабільності. У системі не будуть виділятися вибухонебезпечні суміші водню і кисню, зазначає професор хімії з Каліфорнійського технологічного інституту, співавтор дослідження Джордж Л. Аргірос.

Інновація дозволить виробляти ефективні фотосинтезуючі системи, або штучні листя. Пристрій на основі цієї інновації дозволяє копіювати природний процес фотосинтезу, в якому буде задіяний сонячне світло, вода і вуглекислий газ. Штучний лист складається з двох електродів (фотоанода і фотокатода) і мембран. Фотоанод відповідає за використання сонячного світла для окислення молекули води, що в свою чергу призводить до утворення газоподібного кисню, протонів і електронів. Фотокатод перекремлює протони й електрони, створюючи водень. Мембрана відокремлює гази один від одного, запобігаючи вибух і даючи можливість безпечно їх використовувати, <http://positime.ru/leaves-suggested-a-way-out-of-the-fuel-crisis/53603>

Новий вид сонячних батарей, які б виробляли синтетичне паливо з світла і води, створюється швейцарськими вченими, рис. 7.29.

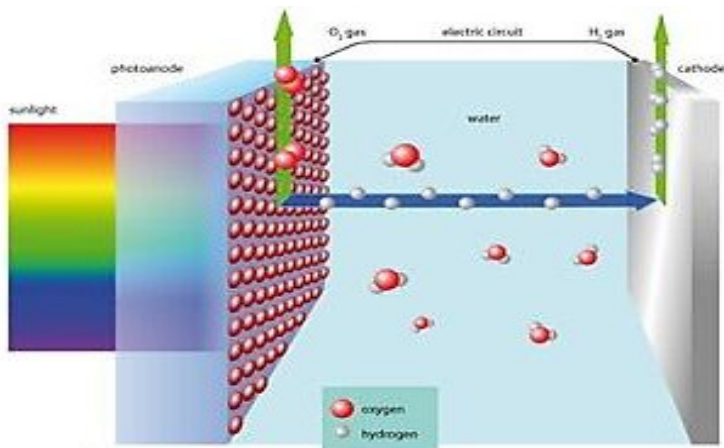


Рис. 7.29. Новий вид сонячних батарей

Основним матеріалом для створення фотоелектрохімічних паливних елементів послужила іржа. Іржа може зробити своєрідну революцію в сонячній енергетиці. З ворога виробництва вона стане одним другом – якщо застосувати її у випуску фотоелектродів, що розщеплюють воду і виробляють водень. Тоді світло можна безпосередньо перетворювати в паливо (а не в електрику, як в нинішніх сонячних батареях),

http://solargenerator.com.ua/solar/solar_battery/51-vodorod-iz-novogo-vida-solnechnyh-batarey-rzhavchiny-i-vody.htm

На жаль, іржа не позбавлена і серйозних недоліків. Хоча вона дуже дешева і поглинає світло якраз на тій самій довжині хвилі, де Сонце видає найбільшу кількість енергії, вона дуже погано проводить електрику. Тому звичайна іржа придатна до використання в сонячних батареях лише у вигляді тонкої плівки, що поглинає вкрай мало світла.

Флоран Будуар і Артур Браун вирішили дану проблему за допомогою мікрочастинок окису вольфраму. Їх наносять на фотоелектрод, а вже потім на них – тонкий шар іржі. Сонячне світло, падаючи прямо на матеріал, починає відбиватися туди і назад, до повного поглинання, рис. 7.30.

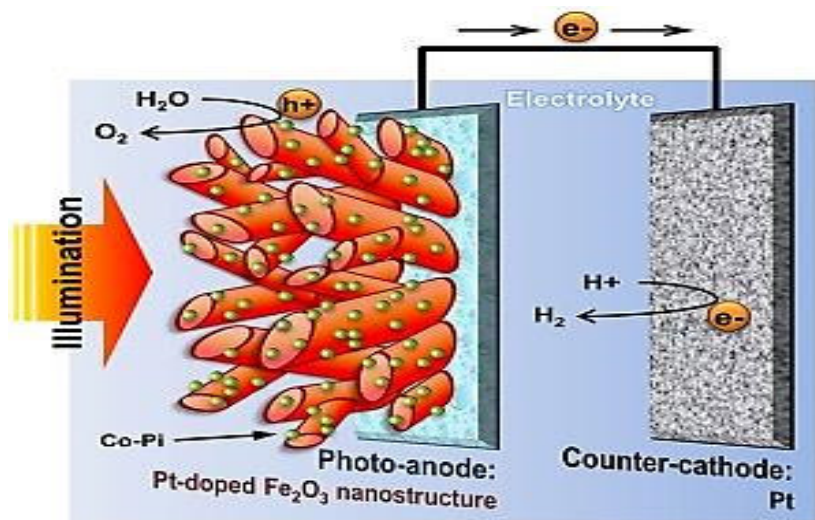


Рис. 7.30. Фотоелектрична комірка

Переваги водню як джерела енергії в тому, що при його спалюванні не виділяється шкідливих для природи речовин. Крім того водень не псується, його можна запасати на необмежений термін. Однак ці переваги мають сенс лише в тому випадку, якщо для виробництва водню використовується ефективний і CO_2 -нейтральний метод. Сонячне розщеплення води саме такий спосіб, так як він використовує лише сонячне світло і воду, найбільш поширений ресурс на нашій планеті, <http://www.facepla.net/the-news/energy-news-mnu/3959-world-record-for-solar-hydrogen-production.html>

Розщеплення води може здійснюватися шляхом електролізу з використанням сонячних комірок, як джерела електроенергії. Але низька ефективність і висока вартість робить такі системи

мало привабливими. Альтернативний шлях – безпосереднє перетворення з використанням фотоелектрохімічних (photoelectrochemical, PEC) комірок більш ефективний, так як поєднує функції сонячного елемента і електролізера в одному пристрої.

Типова PEC-комірка складається з поміщених в водний електроліт електродів: поглинає світло напівпровідникового фотоанода і протилежного металевого катода. Фотоелектрони по електричному ланцюзі переміщуються до катода, де під їх дією виділяється водень. У таких системах першорядне значення має вибір матеріалу для фотоелектрода, який повинен задовольняти ряду специфічних вимог.

Група вчених з Національного інституту науки і технології в Ульсані (Ulsan National Institute of Science and Technology), Університету науки і технології в Пхохані (Pohang University of Science and Technology) і Токійського університету (University of Tokyo) прийшла до висновку, що переважній більшості вимог задовольняє гематит, мінерал заліза Fe_2O_3 , одна з найголовніших залізних руд. Однак мінерал має низьку провідність, що знижує ефективність його використання. Щоб поліпшити властивості гематиту з перенесення заряду вчені впливали на нього високою температурою і отримали оригінальну червоподібну наноструктуру, яку збагатили каталізаторами, рис. 7.31.

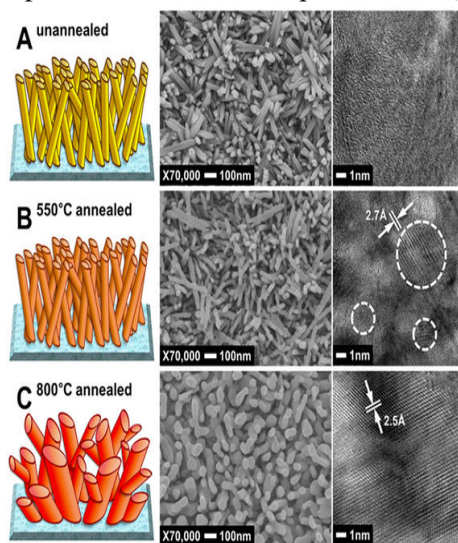


Рис. 7.31. Наноструктура фотоанода

В результаті вченим вдалося домогтися рекордної і стабільної продуктивності фотоанода $4,32 \text{ mA/cm}^2$, що становить близько 34% від максимального теоретичної межі очікуваного для обраного матеріалу. Загальна ефек-

тивність фотоанода $4,32 \text{ mA/cm}^2$, що становить близько 34% від максимального теоретичної межі очікуваного для обраного матеріалу. Загальна ефек-

тивність використання сонячного світла для розщеплення води склала 5,3%. Колишнє вище досягнення в технології PEC-комірок належало дослідницькій групі з Лозанни, Швейцарія. Їх показник ефективності – 4,2%.

Як заявив один з авторів роботи професор Дже Сун Лі (Jae Sung Lee): «Для практичного застосування технології розщеплення води сонячною енергією необхідна ефективність 10%. Попереду ще довгий шлях, щоб досягти цього рівня. Проте, наша робота стала важливою віхою, перевищивши поріг 5%, який був психологічним бар'єром в цій області».

«Штучний лист», що виробляє чисте водневе паливо,
<http://www.nanonewsnet.ru/news/2015/iskusstvennyi-list-proizvodyashchii-chistoe-vodorodnoe-toplivo>

Протягом багатьох років вчені намагаються зробити «штучний лист», зелений підхід до створення водневого палива, скопіювавши здатність рослин перетворювати сонячне світло в енергію,

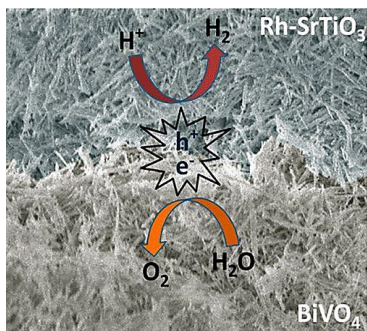


Рис. 7.32. Сітка, яка складається з нанодротів

яку вони можуть використовувати, рис. 7.32. Тепер вони на шляху до автономної системи з невисокою вартістю і можливістю масового виробництва. Розроблена система являє собою сітку, що складається з нанодротів. Стаття була опублікована в журналі ACS Nano, 2014; 8 (11): 11739 (DOI: 10.1021/nn5051954).

Дослідники, використовуючи одну з технологій паперової промисловості, створили плоску сітку з поглинаючих світло напівпровідникових нанодротів, яка при зануренні у воду і дії сонячних променів виробляє водень. Вчені кажуть, що їхня технологія може використовуватися в промислових масштабах, при цьому ціна її невисока. Поки залишається проблемою підвищення ефективності, але їх підхід, на відміну від інших систем «штучного листа», не потребує будь-яких додаткових проводів або інших зовнішніх пристроїв, які можуть впливати на навколишнє середовище.

Воднева енергетика як альтернатива нафтогазової

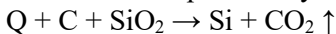
Юрій Максименко, кандидат філософських наук, інженер-конструктор, <http://energyua.com/889-0.html>

Перспективи використання кремнію як енергетично акумулюючої речовини (ЕАР)

Як уже зазначалося, перспективним і випробуваним ЕАР є кремній. Використання його в цій якості спрощено можна описати наступними трьома реакціями:

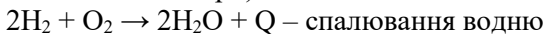
Відновлення кремнію з оксиду. Можливі дві реакції:

Відновлення кремнію вуглецем:



Розкладання оксиду: $Q + SiO_2 \rightarrow Si + O_2 \uparrow$

$Si + 2H_2O \rightarrow SiO_2 + 2H_2 \uparrow + Q$ – отримання водню (використовуються каталізатори)



Здійснення другої реакції вимагає особливих каталізаторів і особливих режимів (поєднання температури та тиску). Тому ця реакція протікає в спеціальному реакторі.

Розглянемо, як може працювати ця схема, в чому її перевага перед використанням нафти.

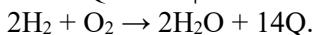
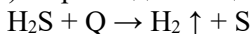
SiO_2 – це пісок. Виробництво кремнію (перша реакція) можна вести всюди, де є пісок і якесь джерело енергії. Ідеальним випадком є пустеля – піску і сонця там вистачає, при цьому пустелі практично не використовуються в господарській діяльності, нікому не завадимо. Працювати станція по відновленню кремнію з піску може в автоматичному режимі.

Зверніть також увагу на реакцію відновлення кремнію вуглецем: вона може застосовуватися при використанні низькоякісного вугілля, спалювання якого недоцільно. Кремній не вимагає якихось особливих умов зберігання і перевезення: вибухопожежобезпечно, не розчиняється у воді. Може зберігатися під відкритим небом. У реакторі він, окислюючись знову до піску, відновлює водень із води, після чого використовується водень як паливо.

<http://nek-npo.ru/novaya-energetika/vodorodnaya-energetika/eav-i-vodorodnaya-energetika.html>

Сірководень Чорного моря, <http://energyua.com/889-0.html>

Енергетично неблагополучні місцевості (Грузія, Крим) стоять на березі колосального складу сірководню (близько мільярда тонн). Сірководень – це готове ЕАР:



Зверніть увагу: при розкладанні сірководню і подальшому спалюванні водню виходить 14-кратний енергетичний вигреш. Залишається лише витягти сірководень з глибинних шарів моря (починаючи приблизно з 80-метрової глибини). Це спочатку бенгежить, так як мимоволі пригадується: «Ксанф, випий море!».

Одна з наукових розробок виходить з того, що для підйому насичених сірководнем глибинних шарів моря зовсім не треба витрачати енергію на її перекачування. Навпаки, створивши в море вертикальний канал з жорсткими стінками (опустивши на глибину трубу, простіше кажучи) і один раз піднявши по ньому воду з глибини (насосом) – ми отримаємо в цьому каналі газоводяний фонтан за рахунок різниці гідростатичного тиску води в море на рівні нижнього зрізу каналу і тиску газоводяної суміші на тому ж рівні всередині каналу (нагадаємо, що кожні 10 метрів тиск в море підвищується на одну атмосферу).

Доречно запропонувати аналогію з пляшкою шампанського. Відкриваючи пляшку, ми знижуємо тиск в ній, через що газ починає виділятися у вигляді бульбашок, причому настільки інтенсивно, що бульбашки, спливаючи, штовхають перед собою шампанське. Відкачування перший раз стовпа води з труби – це якраз і буде відкривання пробки.

Групою вчених під керівництвом А. І. Максименко і А. Таранца на базі Херсонського суднобудівного заводу проведено наземний експеримент, що підтверджує роботу такого фонтану, поки не скінчиться сірководень в морі. Готується натурний морській експеримент.

До речі, це і відповідь на питання: як вирішити проблему підвищення рівня сірководню в Чорному морі.

Вічна енергія Казакова, (отримання водню),
<http://www.skif.biz/index.php?name=Pages&op=page&pid=148>

Унікальне відкриття у нас в Алмати зробив академік народної Академії Казахстану «Екологія» при міжнародному Інституті екології людини Олег Олексійович Казаков.

Коли він вперше в 1997 році отримав водень із води, проводячи черговий із серії дослідів (а велися вони з 1972 року), то мало не загинув, адже кімната стрімко почала заповнюватися воднем! Добре, що це сталося влітку, і всі вікна в лабораторії були відкриті. Але все одно цей інцидент призвів до першого інфаркту у винахідника через те, що він отруївся або тому, що сам був приголомшений значимістю того відкриття, яке довелося зробити йому!

Дослідна установка з отримання водню кустарними методами була зроблена досить швидко і продемонстрована групі вражених результатами експерименту наших вчених. На їхніх очах з бака з водою здіймалися вгору протуберанці водню. Складено акти проведення експериментів з апаратом, в яких засвідчені результати випробування приладу. Продуктивність установки вразила провідних фахівців у цій галузі знання: 9 кубічних метрів в секунду !!! Тобто за секунду типова кімната (кухня, наприклад) повністю заповнюється газом.

Ефективність установки в сотні разів перевищує всі інші, створені в світі. У масштабах світової економіки це означає, що можна буде при мінімумі витрат і шкоди для екології отримувати енергію для опалення, освітлення в реальному часі, в тому місці, де вона зараз потрібна у будь-яких кількостях. Можна прибрати підземні комунікації, не рити траншеї і не протягувати лінії електропередачі, не будувати електростанції. Адже наша планета на 78 відсотків поверхні покрита водою! Значення відкриття відразу оцінили найвідоміші фізики.

Науці давно відомо, що вода має свій слабкий електричний потенціал. Установка ІФП впливає на воду інфразвуковим полем і збільшує цей потенціал приблизно в двадцять разів, він стає рівним приблизно двом вольтам. Це збільшення відбувається за рахунок саморозпаду молекули води на іони водню і кисню, які мають протилежний за знаком потенціал – плюс і мінус. А це в свою

чергу призводить до виділення електричної енергії. Відбувається внутрішній самоелектроліз води. І для цього не треба прикладати сторонню енергію. Цей же процес забезпечує і вихід водню з води. Тобто установку можна використовувати двояко: і для отримання електрики з води, і для отримання водню.

7.5. Потенціал застосування водню, <http://indie-ya.com/electroenerg/mxj34y.html>

Використання паливних елементів для отримання електрики при низьких температурах – дуже хороша ідея, принципово показана на рис. 7.33.

На водневому електроді атоми віддають електрони на дроти, а кисневі атоми на своєму електроді схоплюють ці електрони з проводів і пересичені зустрічають в електроліті водень, утворюючи H_2O . В даному випадку досягається ККД майже до 70%. Однак застосування дорогих металів платинової групи на електродах і їх отруєння після певного терміну дії, «зводять нанівець» всі

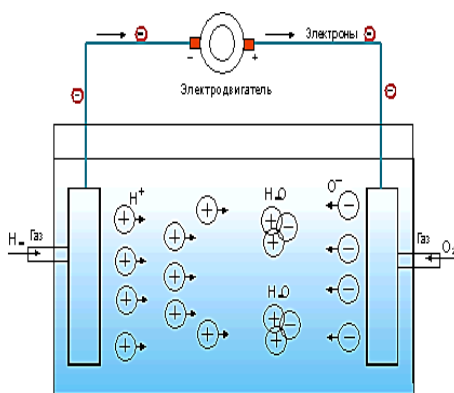


Рис. 7.33. Паливний елемент – пристрій з прямого перетворення хімічної енергії

переваги такого методу. Треба відзначити, що і в даному випадку реагуючі гази навмисно діляться на 2 іонних і 1 електронний потоки. Іонні потоки замикаються в електроліті при низькій температурі, отримуючи воду, а з електронного потоку в дротах знімається необхідне корисне електричне навантаження (показано електродвигуном).

Так ось сьогоднішні електростанції користуються першим випадком, – запалюють газ в топці свічкою. Полум'я в топці є каталізатором всіх хімічних реакцій, що відбуваються там. Другий

спосіб, – платиновий дротик – служить каталітичним методом ведення хімічних реакцій. Завдяки каталізаторам можна навіть змінювати напрямок багатьох хімічних реакцій в заданому напрямку і на виході отримувати той чи інший необхідний продукт. Це здається дивним. Секрет каталізу для багатьох і сьогодні залишається загадкою, хоча в принципі нічого секретного тут немає. У будь-якій речовині, в металах, напівпровідниках і діелектриках існують так звані плазмові коливання від колективної «штовханини» зовнішніх, валентних електронів. Фізично це звичайна електромагнітна хвиля від зазначених електронів зі строго заданою частотою коливань, що існує тільки всередині речовини. При уважному розгляді роботи платини на електроді паливного елемента виявилось, що плазмові коливання на поверхні платини майже найвищі для металів і складають приблизно 4,5 еВ. «Висуваючись в вікна» кристалічної решітки на поверхні, плазмові факели каталізатора своєю частотою виробляють резонансне розгойдування хімічних зв'язків молекул і атомів біля електродів до стану розриву. А отруєння платинових електродів, яким страждають всі паливні елементи, є результат окислення самої поверхні платини з часом, тут вже з'являється змінена плазмова частота з іншою характеристикою через домішки, які впроваджені на поверхні

Особливо розглянемо третій спосіб, і назвемо його резонансним. Так ось третій резонансний спосіб ведення хімічних реакцій в принципі виявився основним і ведучим, оскільки в полум'я свічки завжди присутній широкий спектр частот і в ньому обов'язково є смужка частоти необхідна для розриву хімічних зв'язків для початку реакції взаємодіючих реагентів. Тому пробірка з сумішшю і вибухає. Підрахуємо частоту електромагнітної хвилі для розриву молекули водню. Хімічний зв'язок 2-х воднів становить 4,38 еВ (7×10^{-19} Дж) енергії. Якщо її поділити на найменшу порцію енергії в природі (цеглинка енергії) так звану постійної Планка, що дорівнює $6,6 \times 10^{-34}$ Дж, тоді отримаємо частоту коливань $1,06 \times 10^{15}$ Гц. Тобто якщо опромінювати молекулу водню строго заданою частотою $1,06 \times 10^{15}$ Гц, вона розгойдається і розсиплеться на атоми, що і роблять плазмові коливання платини на поверхні електрода. У кисню для розвалу молекули на атоми необхідна частота в розмірі $1,23 \times 10^{15}$ Гц, з чим легко справляється

поверхнева частота плазмових коливань металу родію.

На побутовому прикладі це можна уявити собі таким чином. Для підняття дитини вагою 15–20 кг на висоту, скажімо, 2 метра, будь-якої матері потрібно досить пристойна сила. Мати – геркулеска, якщо вона тренована, може підняти таку дитину раз десять, п'ятнадцять. Але якщо дитину посадити на гойдалки, то звичайна мати здатна підкинути свою дитину на цю висоту і 100, і 200 разів, без великої напруги, розгойдуючи гойдалки простим підштовхуванням в такт руху, тобто при цьому дотримуються резонансні умови подібно каталізатору. Якщо качати довго і з достатньою силою, тоді гойдалка може перевернутися через верхню мертву точку, що відповідає розриву хімічного зв'язку. У цей момент атоми в силу природного відштовхування розлітаються в сторони в збудженому стані, тобто стають хімічно дуже активними.

У природі хімічних зв'язків є ще одна дуже тонка особливість. Якщо перед резонансним опроміненням електромагнітної хвилею попередньо розтягнути пружинки хімічних зв'язків, помістивши молекулу в сильне електричне поле, скажімо конденсатора, тоді частота впливу може бути зменшена, і чим сильніше прикладене поле, тим менше частота резонансу зв'язку. При досить сильному полі пружинка взагалі лопається, тобто хімічні зв'язки рвуться в молекулах газу. Це ми на власні очі бачимо у вигляді яскравого свічення під час розряду блискавки в атмосфері землі, в коронних розрядах на високовольтних лініях електропередачі, при електрозварювання і т.д. Зірвані блискавкою з молекул і атомів повітря електрони хімічних зв'язків скидають запасену від неї надлишкову енергію у вигляді невеликих електромагнітних хвиль і повертаються до своїх покинутих «родичам-молекулам», що візуально і спостерігаємо у вигляді яскравого спалаху електричного розряду. Розуміючи викладене, цілком природно напрошується бажання раціонально використовувати резонанс і поле для отримання електрики при кімнатних температурах середовища. Для цього підберемо відповідний необхідним умовам агрегат.

Далі візьмемо дві котушки Тесли і у вторинні обмотки поставимо діоди тільки з негативним і позитивним полюсами на вістрях. Трубочкою під вістря подамо кисень (або повітря) і водень. З грозових розрядів відомо, що кисень повітря легко приймає зайві електрони на свої атоми і утворює негативні атоми. Ось такий потік негативних атомів кисню, зривається з вістря негативного кінця другої котушки Тесли, можемо направити на позитивний потік іонів водню, рис. 7.34.

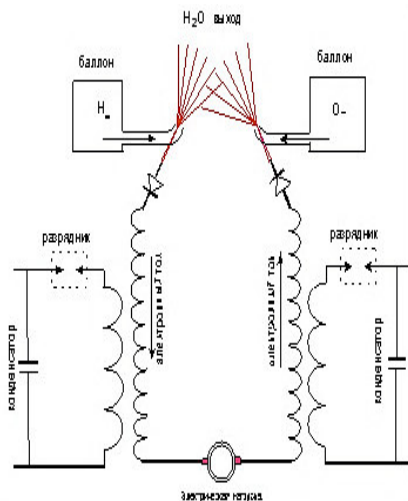


Рис. 7.34. Принципова схема генератора електричного струму за прямим перетворенням хімічної енергії палива при кімнатній температурі без каталізатора

першої котушки Тесли рухається по вторинній обмотці вниз, далі, з корисного навантаження переходить на нижній кінець другої котушки Тесли. А вже по ній електрони піднімаються на вістря для приєднання до кисневих атомів. Утворилося замкнуте кільце обертання електричного струму так само як і в паливному елементі. Виходить електростанція з палива та окислювача при кімнатній температурі.

В результаті активний кисень із зайвою електронном з жадібністю накинеться на водневих сусідів, і при цьому утворюються молекули води H_2O і теж майже при кімнатній температурі. Нам залишається тільки з'єднати другі, нижні кінці вторинних обмоток обох котушок Тесла на корисне навантаження, тобто на лампочки або електродвигуни. Виходить, як і у паливного елемента; іонні потоки палива і окислювача йдуть в своїх напрямках на замикання, утворюючи струмовий ланцюг, а електронний потік з вістря

В даний час багато галузей промисловості використовують водень для очищення нафти і для синтезу аміаку і метанолу. Космічна система «Шаттл» використовує водень як паливо для блоків розгону. Водень застосовується, наприклад, і для запуску ракети-носія «Енергія», призначеної для доставки на орбіту надважких вантажів. Автомашини і камери згоряння літальних апаратів порівняно легко конвертуються на застосування в якості палива водню. У 80-і роки Авіаційний науково-технічний комплекс (АНТК) імені О. М. Туполева створив літаючу лабораторію (на базі літака ТУ-154В), що використовує в якості палива рідкий водень. В результаті був створений перший в світі літак на криогенному паливі – рідкому водні та зрідженому природному газі, – ТУ-155.

7.6. Практичне використання водневої енергетики

Зараз спостерігається новий сплеск інтересу до масштабної атомно-водневої енергетики, основним ініціатором якого з'явилися автомобілебудівні гіганти. Водень має багато переваг як паливо для транспортних засобів і автомобільна промисловість активно включилася в його використання.

Однак найбільшу увагу дослідників, розроблювачів, промисловості та інвесторів привертають до себе паливні елементи. Паливні елементи (електрохімічні генератори – ЕХГ) – тип технологій, які використовують реакцію окислення водню в мембранному електрохімічному процесі, який виробляє електрику, теплову енергію та воду. Американська і радянська космічні програми використовували ЕХГ протягом десятиліть. Паливні елементи (ПЕ) для приводу автомобілів і автобусів успішно розробляються для наступного покоління транспортних засобів, а також для автономних систем енергоживлення.

Твердополімерні (ТП) ТЕ по технічному рівню перебувають на порозі комерціалізації. Однак в даний час їх висока вартість (енергоустановки ~ 104 дол./кВт) в значній мірі стримує цей процес. Багато компаній прогнозують зниження вартості енергоустановок з ТП ТЕ на порядок і більше при їх масовому виробництві. Для масового застосування ТП ТЕ в автотранспорті їх вартість

повинна бути знижена до 50–100 дол./кВт (при сучасній вартості бензину і відсутності фінансових механізмів, що враховують збиток від вихлопних газів). У недалекій перспективі в результаті посилення стандартів на викиди, підвищення вартості бензину і зниження вартості ТЕ очікується зміна кон'юнктури на користь автомобілів і автономних енергоустановок потужністю до 100–300 кВт з ТП ТЕ, В цих напрямках НДДКР розвиваються зі зростаючою активністю. У США, Німеччині, Японії, Канаді створені і експлуатуються досконалі водневі автозаправні станції. Перші продажі водневих автомобілів плануються на найближчі роки.

Виникає питання, а чому випробувані неодноразово паливні елементи в практичному використанні з таким трудом пробивають собі дорогу. Справа в тому, що основний споживач, де можна вигідно застосувати гідні джерела електрики є найпоширеніший на сьогоднішній день об'єкт – це автомобіль. Але, в силу наполегливої праці багатьох поколінь конструкторів бензиновий двигун досяг досить високої досконалості за частиною ваги, (хоча ККД його нижче 30%) і конкурувати з ним в цьому плані електромобіль не може. Якщо ми ставимо на автомобіль паливний елемент, тоді колеса в рух повинен приводити електродвигун, а він за вагою конструкції аналогічної потужності важче бензинового, і яким би хорошим ні було джерело струму – конкуренції не буде. Тим же недоліком буде страждати і Тесла-генератор струму, хоча у нього вага менше паливного елемента в кілька разів.

В інтернеті з'являється багато повідомлень про використання води замість бензину на автомобілях. Їздити на чистій воді і отримувати на вихлопі теж чисту воду здається цілковитим абсурдом для нормальної людини. Однак давайте подивимося на цей процес з енергетичної сторони. При гальванічному способі розкладання двох молекул води на водень і кисень в електролітичній ванні потрібно затратити енергії приблизно 14,2 еВ. При зворотної реакції, тобто при хімічній взаємодії атомів водню з атомами кисню (згоряння), при утворенні 2 молекул води виділяється приблизно 6 еВ. І якщо ми будемо отримувати водень із води класичним електролізом і використовувати в топці або на електромобілі, тоді $14,2 - 6 = 8,2$ еВ – будемо працювати собі в збиток. При

електродинамічному (в нашому випадку резонансному) способом розкладання води по Канареву Ф. М. з Краснодару необхідно всього лише 0,74 еВ. Різниця в кількості $6 - 0,74 = 5,26$ еВ. дає можливість використовувати воду як джерело енергії. Розкладання води на водень і кисень треба робити не електролізом води, який виконує функцію матері-геркулески, а опромінювати пари води електромагнітної хвилею заданої частоти рівною $1,87 \times 10^{14}$ Гц, нехай по потужності навіть слабенькою, подібно плазмовим коливанням каталізатора.

Необхідно особливо відзначити; досягти найвищого розвитку водневої енергетики в автомобілях – для багатьох це може здатися неймовірним – можливо тільки за допомогою надпровідності при кімнатній температурі. Зі створенням кімнатного надпровідника електродвигуни не потребуватимуть важкого трансформаторного заліза для посилення магнітного потоку, яке зараз використовується, а перетворяться просто в звичайні диски. Вмонтувавши їх в колеса автомобіля, ми позбавимо його від коробки зчеплення, коробки передач і навіть від трансмісії, яка сьогодні вкрай не замінна. Такі двигуни вже є, але працюють тільки як дослідні зразки при дуже низьких температурах.

Бортовий акумулятор водню для автомобілів, (Автор: Жеваго Н.К.), <http://sromcee.ru/index.php/2010-10-08-15-31-03/45-2010-10-08-15-19-09/60-2010-10-09-02-10-20.html>

Завдання зберігання водню є ключовим в проблемі переходу автотранспорту на водневе паливо. Виконання цього завдання передбачає розробку технічних засобів, що забезпечують безпечно зберігання достатньої кількості водню на борту, а також керувану подачу його в силову установку автомобіля.

Додатковими вимогами до такої системи є забезпечення можливості досить швидкого відновлення запасу водню на борту автомобіля (заправки), а також необхідного ресурсу (тривалості) експлуатації акумулятора.

Інтенсивні роботи в цьому напрямку ведуться в багатьох країнах світу. При цьому для зберігання водню розглядаються різноманітні методи, такі як зберігання зрідженого водню в криогенних танках, зберігання газоподібного водню в балонах під високим тиском, зберігання хімічно пов'язаного або хемосорбованого

водню в металогідридних і рідкоземельних акумуляторах, використання сорбуючих властивостей суперпористих нановуглецевих структур і деяких інших. Однак до теперішнього часу тільки газові балони і системи зберігання рідкого водню реалізовані в технічних пристроях, інші знаходяться в стадії наукових досліджень і дослідно-конструкторських робіт. До того ж жодна із зазначених напрямків не забезпечує досягнення необхідних параметрів в повній мірі.

Дослідження, проведені в РНЦ «Курчатовський інститут», дозволили запропонувати для застосування в автомобілях спосіб акумулявання в мікрокапілярних контейнерах газоподібного водню під високим тиском,

рис. 7.35.



Рис. 7.35. Акумулявання водню в мікрокапілярних контейнерах

У порівнянні зі звичайними балонами з міцних легких композитних матеріалів, в які водень закачується під тиском до 400 атм., а в перспективі передбачається можливість підвищення тиску до 700 атм., в мікроконтейнерних танках водень може утримуватися під тиском аж до 8000–10000 атм. і вище. Відповідно, може бути досягнута істотно більш висока масова ємність таких балонів. Необхідно підкреслити, що в порівнянні з мікросферними контейнерами мікрокапілярні мають ряд суттєвих переваг, а саме: в них ті ж показники питомої місткості досягаються при більш низькому тиску водню; крім того, вони дозволяють конструктивно простіше забезпечувати керований витяг водню для подачі в силові установки автомобілів; технологія виробництва мікрокапілярів більш відпрацьована і простіша в порівнянні з виробництвом мікросфер необхідної геометрії.

Розрахунками показано, що при цьому питома масова місткість мікрокапілярних балонів може досягати 20–25% (тобто 0,20–0,25 кг водню на 1 кг маси балона) при питомій об'ємній місткості до 50 г водню на 1 л об'єму танка. При таких параметрах повна місткість балона об'ємом 130–135 літрів складе близько 6,8–7,0 кг водню при власній масі танка не більше 30–35 кг. Така місткість паливного бака забезпечить пробіг легкового автомобіля на дистанцію 750–800 км без дозаправки.

Такі показники помітно перевершують вимоги, що пред'являються до перспективних систем зберігання водню на транспортних засобах. Слід також підкреслити, що мікробалони забезпечують практично повну вибухобезпечність в разі їх пошкодження в аварійних ситуаціях; вимоги по ресурсу працездатності також задовольняються.

Поряд з конструкцією мікроконтейнерного балона розроблені також схеми систем керованої подачі водню в силові установки автомобіля, а також заправки швидкозамінних картриджів (балонів) багаторазового використання на автозаправних станціях.

Toyota випустила на ринок перший в світі автомобіль з водневим двигуном, <http://www.unian.net/science/1021880-toyota-vyipustila-na-ryinok-perviyiy-v-mire-avtomobil-s-vodorodnyim-dvigatелеm.html>

Через великий інтерес до нової моделі в Японії кількість попередніх замовлень на Mirai вже перевищило план продажів усередині країни, рис. 7.36.

До кінця 2015 року японський автоконцерн планує випустити 700 машин на паливних елементах, в яких електроенергія для двигуна виробляється за рахунок з'єднання водню з бака з атмосферним киснем. 400 з них мають надійти на внутрішній ринок, 200 – в США і 100 – в країни Західної Європи. Через великий інтерес до нової моделі в Японії кількість попередніх замовлень на Mirai вже перевищило план продажів усередині країни. У зв'язку з цим Toyota оголосила, що до кінця наступного року інвестує ¥ 20 млрд (близько \$ 162 млн) в розвиток виробництва автомобілів з водневими двигунами, збільшивши випуск седанів Mirai втричі (до 2,1 тис. в рік). Частина інвестицій буде направлена на

розширення експорту таких машин в країни Західної Європи і США. Вони, на думку Toyota, повинні стати основним зовнішнім ринком збуту автомобілів на водні.



Рис. 7.36. В Японії продовжуються продажі першого в світі серійного автомобіля з водневим двигуном – седана Mirai («Майбутнє») виробництва компанії Toyota Motor Corp

Всього до кінця 2017 автоконцерн має намір поставити в Сполучені Штати більше 3 тис. седанів Mirai. Значне збільшення виробництва машин на водні (до 50 тис. на рік) буде досягнуто в 2020 році, коли в Токіо пройдуть літні Олімпійські ігри. Вони, на думку місцевої влади, повинні стати великим кроком на шляху до розширення використання водню не тільки в автомобілебудуванні, але і в енергетиці. А в 2030 році вже кожен десятий проданий в Японії автомобіль буде на паливних елементах, що, за прогнозом консалтингової компанії Deloitte Tohmatsu Consulting Co., принесе японській економіці додаткові ¥ 4,4 трлн прибутку (близько \$ 36,9 млрд).

Основною перешкодою для поширення машин з водневими двигунами є відсутність необхідної інфраструктури. Зараз в Японії працюють тільки 30 заправних станцій для машин на паливних елементах, при цьому вони зосереджені в крупних містах - Токіо, Нагої, Осаці. Однак в наступному році кількість спеціалізованих АЗС виросте більш ніж в три рази. Вартість нового седана Mirai в Японії становить ¥ 7,23 млн (\$ 60,7 тис.), При цьому уряд виділяє субсидії в розмірі \$ 17 тис. кожному покупцеві таких

машин в країні. Крім того, власникам пропонується цілодобова безкоштовна допомога на дорозі, а також восьмирічна гарантія на електродвигун і паливні елементи. Єдиним продуктом роботи двигуна Мігаі є вода, ніякі шкідливі речовини в атмосферу не викидаються. Бака водневого палива вистачає приблизно на 650 км шляху, а на його повну заправку необхідно близько трьох хвилин.

Порівнюючи викопне паливо з воднем, важливо співставити їх ефективність з точки зору споживача, для якого важливо, щоб палива були спроможні відтворювати енергію у різних формах – механічній для автомобілів, електричній на електростанціях і тепловій в печі. Дослідження довели, що для більшості реалізацій водень може бути перетворений в необхідну форму енергії з більшою ефективністю ніж викопні або синтетичні палива. Іншими словами, використання водню в якості палива призведе до помітної економії енергії із-за більш високого коефіцієнта корисної дії і полегшенню антропогенного навантаження на довкілля [85].

Приклади розв'язання задач

Задача 7.1

Розглянемо схему роботи утилізаційної установки для вироблення гарячого дугтя та електроенергії, що використовує в якості робочого тіла водень, рис. 7.37 [105].

Після повітрянагрівача ПН, що має камеру згоряння КЗ та насадкову камеру Н, встановлено теплообмінник для підігріву водню ТО, водневу турбіну ВТ з електрогенератором та термосорбційний компресор ТСК. Димові гази с температурою t_{e1} після доменного підігрівача в теплообмінному апараті ТО передають теплоту стислому водню на «гарячій» стороні термосорбційного компресора ТСК2. Процес нагрівання водню відбувається в теплообміннику до температурного рівня $t_{вод3}$, а в турбогенераторі здійснюється розширення його до тиску P_2 . Після цього водень низького тиску подається на «холодну» сторону компресора ТСК1, де здійснюється процес сорбції водню металогідридом.

Даний процес супроводжується виділенням певної кількості теплоти, яку необхідно відводити.

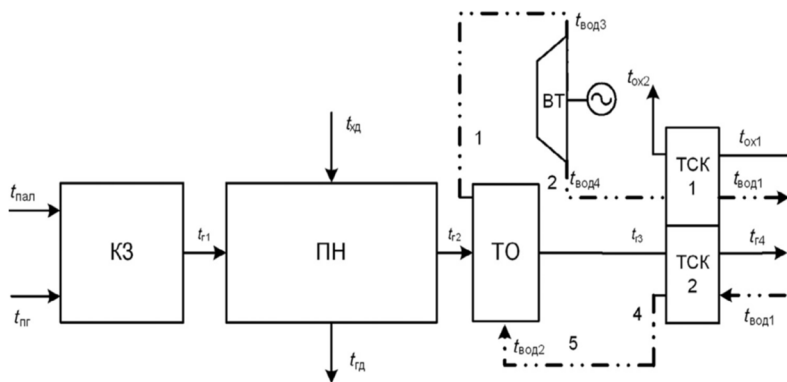


Рис. 7.37. Схема енерготехнологічного комплексу для виробництва гарячого дуття та електроенергії в доменному виробництві: t_{ng} – температура повітря горіння, t_{nal} – температура палива, t_2 – температура димових газів, t_{xo} – температура холодного дуття, t_{2o} – температура гарячого дуття, $t_{вод}$ – температура водню, $t_{ох}$ – температура охолоджуючої рідини

Процес же стиснення водню до тиску P_1 здійснюється на «гарячій» стороні термосорбційного компресора.

Визначити: кількість теплоти Q_r , що відбирається від димових газів; кількість робочого тіла G_{n2} в водневому контурі; потужність водневої турбіни N_T при наступних вихідних даних.

Розглянемо роботу системи з термосорбційним компресором, в якому в якості гідриду використовується $LaNi_5H_{6,7}$. Теплота сорбції-десорбції гідриду $q_s = 15500$ кДж/кг.

Масова витрата димових газів $G_r = 50,52$ кг/с. Тиск водню на виході з ТСК складає $P_5 = 2$ МПа. Температура робочого тіла в точках 4 і 5 в області «ізотермічного плато» $T_4 = T_5 = 371$ К; тиск $P_4 = P_5 = 2$ МПа. Температура газів на виході з ТСК $T_{r4} = 393$ К. При максимальній температурі газів $T_{r2} = 623$ К приймаємо перепад температур між газами і воднем $\Delta T_1 = T_{r2} - T_{вод3} = 100$ К, тобто температура водню в точці 1 складає $T_1 = T_{вод3} = T_{r2} - \Delta T_1 = 623 - 100 = 523$ К. Величина перепаду температур $\Delta T_2 =$

$T_{Г4} - T_{вод2} = 22$ К, тоді $T_{вод2} = T_{Г4} - \Delta T_2 = 393 - 22 = 371$ К.

Розв'язання

Кількість теплоти $Q_{Г}$, що відбирається від димових газів, визначається за формулою

$$Q_{Г} = G_{Г} \cdot C_{Г} (T_{Г2} - T_{Г4}), \quad (7.1)$$

де $C_{Г}$ – масова теплоємність димових газів, $C_{Г} = 1,44$ кДж/(кг·К).

$$Q_{Г} = 50,52 \cdot 1,44 (623 - 393) = 16742 \text{ кВт.}$$

Визначаємо кількість робочого тіла G_{H2} в водневому контурі за формулою

$$G_{H2} = \frac{Q_2}{q_s + C_{pH2} (T_1 - T_5)}, \quad (7.2)$$

де C_{pH2} – теплоємність водню для середньої температури. кДж/(кг·К). Для середньої температури $T_{cp} = (T_1 + T_5)/2 = 447$ К згідно $C_{pH2} = 14,33$ кДж/(кг·К).

$$G_{H2} = \frac{16732}{15500 + 14,33(523 - 371)} = 0,94 \text{ кг/с.}$$

Потужність водневої турбіни знаходять за формулою

$$N_{Т} = G_{H2} \cdot C_{pH2} \cdot T_1 \left(1 - \frac{1}{\left(P_5 / P_3 \right)^{\frac{k-1}{k}}} \right), \quad (7.3)$$

де $k = 1,41$ – показник адиабати для водню, $\pi_{тек} = P_5/P_3$ – ступінь підвищення тиску в термосорбційному компресорі.

$$N_{Т} = 0,94 \cdot 14,33 \cdot 523 \left(1 - \frac{1}{\left(2 / 0,5 \right)^{\frac{1,41-1}{1,41}}} \right) = 2324 \text{ кВт.}$$

Контрольні питання

1. Чому водень відносять до універсального палива?
2. Які п'ять відомих способи використовують для виробництва водню?
3. Яка існує інфраструктура виробництва і які особливості доставки водню?

4. Чому виникає необхідність акумуляції сонячної енергії?
5. Як отримують водень за допомогою сонячної енергії?
6. Які існують схеми установок для отримання водню за допомогою сонячної, вітрової і геотермальної енергії?
7. Які способи зберігання і використання водню застосовують на виробництві і транспорті?
8. Який принцип роботи паливного елемента?
9. В яких ємностях криогенне устаткування забезпечує зберігання зрідженого водню?
10. Який принцип роботи і ефективність «комірки Мейера» для отримання водню?
11. Яка схема отримання водню при низькоамперному електrolізі води Ф. М. Конарева?
12. Як відбувається плазмовий електrolіз води?
13. Як працюють плазмові електrolізатори при проточній схемі проходження електrolіту?
14. На якому принципі і на яких установках відбувається турбогенераторний процес отримання і спалювання водню?
15. Які напрямки використання турбогенераторної установки Аракеляна Г. Г.?
16. Які шляхи розвитку атомно-водневої енергетики?
17. Які принципи роботи використовують при електрохімічному розкладанні води з застосуванням «штучного листя»?
18. Чи можливо використовувати кремній як енергетично акумулюючу речовину (ЕАР)?
19. Яка енергетична привабливість сірководню Чорного моря?
20. Яка ефективність отримання водню за допомогою інфразвукового поля?
21. Яке спостерігається практичне використання водневої енергетики?
22. Як вирішується питання створення акумулятора водню для автомобілів?
23. Які параметри автомобіля з водневим двигуном фірми «Тайота»?

8. ЕФЕКТИВНІСТЬ НАНОТЕХНОЛОГІЙ

8.1. Інновації та нанотехнології в Україні і світі

Технічний прогрес спрямований в бік розробки більш потужних, швидких, компактних і витончених машин. Межею такого розвитку можна вважати машини, розміром з молекулу. Машина, побудована з ковалентно пов'язаних атомів, надзвичайно міцна, швидка і мала. Розробкою, створенням і управлінням такими машинами займається молекулярна нанотехнологія. Ця галузь відкриває небачені раніше, фантастичні перспективи взаємодії людини зі світом.

Що ж зараз розуміють під нанотехнологіями? Сама десяткова приставка «нано-» походить від грецького слова «nanos», що перекладається як «карлик» і означає одну мільярдну частину чого-небудь. Таким чином, *нанотехнологія* – сукупність процесів, що дозволяють створювати матеріали, пристрої та технічні системи, функціонування яких визначається наноструктурою, тобто її впорядкованими фрагментами розміром від 1 до 100 нм ($1 \text{ нм} = 1 \cdot 10^{-9} \text{ м}$; атоми, молекули) [109; 110].

До нанотехнологій відносять технології, що забезпечують можливість контрольованим чином створювати і модифікувати наноматеріали, а також здійснювати їх інтеграцію в повноцінно функціонуючі системи більшого масштабу. Нанотехнології вміщують: атомне сполучення молекул, локальну стимуляцію хімічних реакцій на молекулярному рівні та ін. Процеси нанотехнології підлягають законам квантової механіки.

На сьогодні основними галузями нанотехнологій є: наноматеріали, наноінструменти, наноелектроніка, мікроелектромеханічні системи і нанобіотехнології.

До наноматеріалів умовно відносять дисперсні і масивні матеріали, які вміщують структурні елементи (зерна, кристали, блоки, кластери), геометричні розміри яких хоча б в одному вимірі не перевищують 100 нм, і які мають якісно нові властивості, функціональні і експлуатаційні характеристики [109; 110].

Термін *нанонауки* використовується в даний час для позначення досліджень явищ на атомному і молекулярному рівні і наукового обґрунтування процесів нанотехнології, кінцевою метою якої є отримання *нанопродуктів*. Нанонаука, таким чином, може розглядатися як початкова стадія нанотехнології, коли до продукції ще досить далеко. <http://www.litsoch.ru/referats/read/309857>



Рис. 8.1. Приклад об'єктів із нано-, мікро- і макросвітів [109]
міри деяких речовин наведені на рис. 8.1.

Об'єкти із розмірами в межах 1–100 нм прийнято вважати **нанооб'єктами**, але такі обмеження є досить умовними. При цьому дані розміри можуть стосуватися як усього зразка (нанооб'єктом є весь зразок), так і його структурних елементів (нанооб'єктом є його структура).

Основні переваги нанооб'єктів і наноматеріалів (НМ) полягають у тому, що через малі розміри в них проявляються нові особливі властивості, не характерні цим речовинам у масивному стані [109]. Геометричні роз-

Розвиток, перспективи та проблеми. Основні досягнення нанотехнологій

Всього за кілька останніх років розроблені сотні наноструктурованих продуктів конструкційного і функціонального призначення та реалізовані десятки способів їх отримання і серійного виробництва. Можна виділити кілька основних областей їх застосування: високоміцні нанокристалічні і аморфні матеріали, тонкоплівкові і гетероструктурні компоненти мікроелектроніки і оптоелектроніки наступного покоління, магнітом'які і магнітотверді матеріали, нанопористі матеріали для хімічної і нафтохімічної промисловості (каталізатори, адсорбенти, молекулярні фільтри і сепаратори), інтегровані мікроелектромеханічні пристрої, негорючі нанокompозити на полімерній основі, паливні елементи, електричні акумулятори та інші перетворювачі енергії, біосумісні тканини для трансплантації, лікарські препарати.

Новітні досягнення

В даний час, наноматеріали використовують для виготовлення захисних і світлопоглинаючих покриттів, спортивного обладнання, транзисторів, світловипромінюючих діодів, паливних елементів, ліків та медичної апаратури, матеріалів для упаковки продуктів харчування, косметики та одягу. Нанодомішки на основі оксиду цезію вже зараз додають в дизельне паливо, що дозволяє на 4–5% підвищити ККД двигуна і знизити ступінь забруднення вихлопних газів. У 2002 році на Кубку Девіса \ Davis Cup були вперше використані тенісні м'ячі, створені з використанням нанотехнологій. У 2007 році в Новосибірську почали виробляти ліки-тромболітики (спільна розробка фармацевтики і фізиків-ядерників), які не мають аналогів в світі за ефективністю, а ціна у багато разів менша.

Виробники вже одержують перші замовлення на нанопристрої. Наприклад, армія США замовила компанії Friction Free Technologies розробку військової форми майбутнього. Компанія повинні виготовити шкарпетки з використанням нанотехнологій, які повинні будуть виводити за межі шкарпеток піт, але зберігати ноги в теплі, а шкарпетки в сухості. Невідомо, чи такі шкарпетки потребуватимуть прання.

Графен

У жовтні 2004 року в Манчестерському університеті було створено невелику кількість матеріалу, названого графен. Роберт Фрейтас передбачає, що цей матеріал може служити підкладкою для створення алмазних механосинтетичних пристроїв.

Новий процесор Intel

19 червня 2007 року компанія Intel почала випускати звичайні і багатоядерні процесори, що містять найменший структурний елемент розмірами приблизно 45 нм. Надалі компанія має намір досягти розмірів структурних елементів до 5 нм. Надалі компанія має намір перейти на нові матеріали, такі як квантові точки, полімерні плівки і нанотрубки. Основний конкурент Intel – AMD, у другій половині 2008 року запустить процесори, виконані по 45-нм техпроцесу.

Антена-осцилятор

9 лютого 2005 року повідомляється, що в лабораторії Бостонського університету була отримана антена-осцилятор розмірами порядку 1 мкм. Це пристрій налічує 5 мільярдів атомів і здатне осцилювати з частотою 1,49 гігагерц. Це дозволить передавати з її допомогою великі обсяги інформації.

Наноаккумулятор

На початку 2005 року компанія Altair Nanotechnologies (США) оголосила про створення інноваційного матеріалу для електродів літій-іонних акумуляторів. Акумулятори з особливими електродами мають час зарядки 10–15 хвилин. У лютому 2006 року компанія почала виробництво акумуляторів на своєму заводі в Індіані.

Нові паливні елементи для портативної техніки

Був розроблений водневий паливний елемент «Casio». Паливний елемент вдвічі легше ніж літійовий акумулятор. Час автономної роботи більше в 3 рази. Вже з'явилися перші зразки даного пристрою. Очікується його серійне виробництво в недалекому майбутньому.

Бронезилет

Австралійські вчені запропонували виготовляти жилети з матеріалів на основі вуглецевих нанотрубок. Останні мають кулевідштовкуючу властивість – під впливом кулі тоненькі трубки прогинаються, а потім відновлюють форму з віддачею енергії.

Молекулярний автомобіль обзавівся мотором (2006 р.)

Особливо важливим в області наномеханіки можна вважати створення нано-баггі Джеймсом Туром з університету Райса. Ця молекулярна машина їздить по атомам золотої підкладки за допомогою світлової енергії. Правда, у молекулярного автомобіля поки що немає заднього ходу і рульового управління і колеса з фулеренів (C₆₀) молекули вуглецю, що нагадують футбольний м'яч), але зате він складається всього з 300 атомів золота і має власний автономний мотор.

Фулерен – аллотропна форма вуглецю. Фулерени формуються шляхом конденсації 60 атомів вуглецю в сферичну структуру типу футбольного м'яча, рис. 8.2.

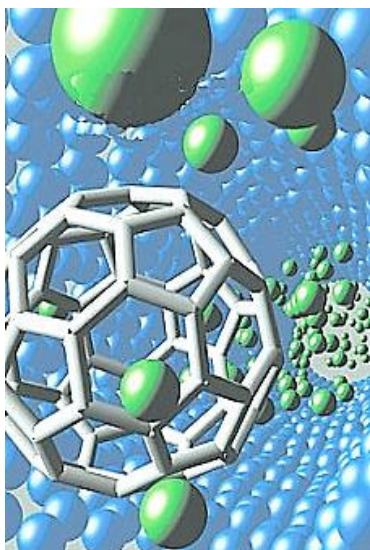


Рис. 8.2. Наноструктура у вигляді фулерена,

http://www.ng.ru/energy/2007-02-13/15_nano.html

наторозмірному діапазоні – один з відкритих питань наномеханіки, тому досягнення японських вчених можуть стати в нагоді при розробці наноробототехніки.

Наномашини настільки малі (їх розмір становить 3–4 нанометра), що 20 тис. пристроїв можна помістити на торці людської волосини. Науковий світ високо оцінює роботи Джеймса, так як до сих пір нікому не вдалося створити рухому наносистему такої складності.

Двигун внутрішнього згоряння з двох молекул (2006 г.)

Японськими ж вченими вдалося синтезувати новий тип наномотора, який приводиться в рух світлом. У роботі двох молекул використовується принцип роботи кривошипно-шатунного механізму спільно з поршнем, тільки на атомарному рівні. Рішення проблеми передачі і перетворення різних видів енергії одна в іншу в

ДНК-машини відкривають шлях нанороботам (2006 р.)

Періодичні структури на основі молекул ДНК з'явилися ще десять років тому. Тепер же вчені перейшли до конструювання наномеханічних ДНК-машин. Нещодавно вчені-нанотехнологи під керівництвом відомого ДНК-конструктора Неда Сімена створили руку робота на основі молекули ДНК і прикріпили її до двовимірної кристалічної ДНК-матриці. На думку дослідників, це відкриття – перший серйозний крок до розвитку наноробототехніки. Універсальність молекули ДНК дозволяє тиражувати цей пристрій за допомогою генної інженерії, і тоді вчені зможуть створювати складні наномашини з безліччю маніпуляторів, здатні виконувати складні запрограмовані рухи.

Перша робоча мікросхема на нанотрубці (2006 р.)

Американським вченим з ІВМ вдалося вперше в світі створити повнофункціональну інтегральну мікросхему на основі вуглецевої нанотрубки, здатну працювати на Терагерцових частотах. Нанопристрій працює на частоті, яка в 100 тис. разів більша, ніж у попередніх нанотрубочних чипів.

Графен – основний конкурент нанотрубок (2006 р.)

У вуглецевих нанотрубок з'явився серйозний конкурент в області наноелектроніки. Це розгорнута в двомірний лист вуглецева нанотрубка або наноматеріал графен, на основі якого вже створені графенові польові транзистори. Завдяки унікальним властивостям вуглецю в просторовій решітці графену, останній характеризується високою мобільністю електронів, що робить графен дуже перспективною основою наноелектронних пристроїв.

Флеш-пам'ять на основі нанотрубок (2006 р.)

Нанотрубочна електроніка стає «теплою», і це дозволить їй швидше вийти на споживчий ринок. Групі дослідників вдалося створити флеш-пам'ять на основі нанотрубок. Пристрій поки ще не є повноцінним комерційним продуктом, але вчені сподіваються, що їх дослідження приведуть до розробки нових типів архітектури молекулярної пам'яті і дозволять налагодити масовий випуск таких електронних пристроїв. Нова флеш-пам'ять – це своєрідний «бутерброд», що складається з нанотрубок, компо-

зиту і кремнієвої підкладки. Його товщина всього кілька нанометрів. Природно, пам'ять, виготовлена на основі «нанобутерброда» буде набагато більш мініатюрною, ніж сучасні аналоги.

Створено найшвидший польовий нанотранзистор (2006 р.)

Це унікальний пристрій, створений вченими з Гарварда, складається з германієвого / кремнієвого ядра і кремнієвих нанострун. На думку експертів, це найдосконаліший польовий транзистор, який коли-небудь був створений. Ge / Si нанострунний польовий транзистор швидше в 3–4 рази, ніж будь-які сучасні кремнієві.

Транзистор з однієї молекули (2006 р.)

Найменший розмір транзисторів, що виготовляються сучасної мікроелектронної промисловістю, становить 45 нанометрів. Новий нанотранзистор QuJET має довжину всього один нанометр. Нанотранзистори меншого розміру досі виготовити не вдавалося. За словами вчених, перехід на надмалі транзистори буде проходити поступово – після закінчення природної еволюції звичайних кремнієвих мікрочипів.

Дисплеї-невидимки з'являться вже в 2008 році (2006 р.)

Дослідження зі створення «невидимої» електроніки ведуться давно, але до цих пір вченим не вдавалося створити матеріал для транзисторів, який був би «невидимим» і в той же час забезпечував високу швидкість роботи. Тепер же вченими створено прозорі транзистори, які можуть поєднуватися з такими технологіями, як органічні світлодіоди, рідкокристалічні панелі і електролюмінесцентні дисплеї, які широко використовуються для виготовлення телевізорів, моніторів, ноутбуків і стільникових телефонів. За словами дослідників, дослідні зразки моніторів на прозорих транзисторах з'являться протягом найближчих 12–18 місяців.

«Святий Грааль» від електроніки

У 2006 р. з'явився новий клас напівпровідникових пристроїв, в які можна інтегрувати нано-магніти методом точного розміщення атомів металу на матеріал, з якого формується підкладка чипа. Таким чином вчені сподіваються отримати контроль на атомному рівні за архітектурою чипа і провести об'єднання декількох ключових компонентів комп'ютерів (процесор, пам'ять,

жорсткий диск) в один пристрій. Об'єднання цих пристроїв комп'ютерів в одне дозволить зменшити енергоспоживання і збільшити швидкість обробки інформації. У перспективі дана технологія може привести до появи на ринку мультимедійних пристроїв з одним чипом, в якому буде «вся» обчислювальна електроніка і пам'ять. Це і «одноразові» електронні книги, і різні мобільні мультимедійні ігри, і просто «розумний піл». Про масове виробництво подібних чипів поки не йдеться – вчені розмістили кілька атомів за допомогою зонда скануючого тунельного мікроскопу (СТМ), «вийнявши» попередньо атоми матеріалу підкладки.

«Рідка броня» захистить краще кевлару? (2006 р.)

На озброєнні США незабаром може з'явитися обмундирування нового типу, яке за своїми захисними властивостями і ергономічними характеристикам перевершує сучасні кевларові аналоги. Ефект надзахисту досягається завдяки спеціальному пакету з кевлара, наповненому розчином надтвердих наночасток в невиспаровуючій рідині. Як тільки відбувається механічний тиск високої енергії на кевларову оболонку, наночастинки збираються в кластери, змінюючи при цьому структуру розчину рідини, який перетворюється в твердий композит. Цей фазовий перехід відбувається менш ніж за мілісекунду, що і дозволяє захистити солдатів не тільки від ножового удару, але і від кулі чи осколка. І нещодавно американський холдинг-виробник солдатського обмундирування і бронежилетів U. S. Armor Holdings ліцензував технологію «рідкого бронежилета» і планує почати його масове виробництво в кінці цього року.

Лабораторія-на-чипі: експрес-аналізатор крові (2006 р.)

Дослідники з Каліфорнійського технологічного інституту розробили портативний аналізатор крові, який буде виконувати точний аналіз всього за 2 хвилини. Вони мінімізували лічильну машину-аналізатор, яка використовується в звичайних лабораторіях, і отримали пристрій, що не перевищує розмірами мобільний телефон. В результаті створилася справжня портативна лабораторія, здатна проводити аналіз за краплею крові.

Нанотрубки в регенерації тканин мозку і серцевого м'яза (2006 р.)

Одним з найбільш цікавих досягнень вчених в області нано-медицини виявилася технологія відновлення пошкодженої нервової ткани за допомогою вуглецевих нанотрубок. Як показали експерименти, після імплантування в пошкоджені ділянки мозку спеціальних матриць з нанотрубок в розчині стовбурових клітин вже через вісім тижнів учені виявили відновлення нервової тканини. Однак при використанні нанотрубок або стовбурових клітин окремо аналогічного результату не було. На думку вчених, це відкриття дозволить допомогти людям, що страждають на хворобу Альцгеймера і Паркінсона. Наноструктури також можуть допомогти в відновлювальній терапії після гострих серцевих захворювань. Так, наночастинки, введені в кровоносні судини мишей, допомогли відновити серцево-судинну діяльність після інфаркту міокарда. Принцип методу полягає в тому, що самозбираються полімерні наночастинки і допомагають «запустити» природні механізми відновлення судин.

Нано-Гуттенберг: перший «друкарський верстат» для наноструктур (2006 р.)

Фундамент для майбутнього масового застосування наносистем заклали дослідники з Північно-Західного університету США, які розробили установку, що дозволяє виробляти в нанорозмірному діапазоні одночасно до 55 тис. наноструктур з атомарною точністю і однаковим молекулярним шаблоном на поверхні. Установка використовує технологію нанолітографії глибокого пера, яка і дозволяє робити «масові» відбитки, як якщо б наносистеми друкувалися на друкарському верстаті. Але для друкарських технологій одного пера буде не достатньо, тому вчені скомбінували близько тисячі незалежно керованих вузлів з пір'ями. Завдяки такому підходу, нанолітографії глибокого пера стала універсальним інструментом для виробництва напівпровідникових компонентів зі складною структурою.

Перспективи і проблеми. Економіка та фінансування

Розвиток нанотехнологій неможливо без самого сучасного наукового обладнання (найскромніша нанолaboratorія коштує

не менше 10 млн доларів). Саме фінансування даної галузі є першорядним фактором розвитку. Нанотехнологія є високотехнологічною галуззю науки, а розвиток таких областей неможливо без серйозних капіталовкладень.

Фінансування програм, пов'язаних з нанотехнологіями, в світі.

За прогнозами Національної Ініціативи в Області Нанотехнології США, розвиток нанотехнологій через 10–15 років дозволить створити нову галузь економіки з обігом у \$ 15 млрд. І приблизно 2 млн робочих місць.

Виходячи з цього, в розвинених країнах (США, Японія, Росія, європейські держави) обсяг коштів, витрачених на нанотехнології, поступово збільшується.

Сьогодні стало загальноприйнятим пов'язувати майбутнє країни з тим, наскільки вона успішно просунулася в розвитку і освоєнні нанотехнологій. Це ставить перед нами резонне питання: чи може Україна претендувати на місце серед лідерів науково-технічного прогресу?

З огляду на рекламні матеріали низки великих закордонних фірм, в завершальній стадії знаходяться розробки приладів (теравізорів) для виявлення вибухових речовин і різних сторонніх предметів в аеропортах, вокзалах і т.п. Великі надії з освоєнням терагерцових хвиль пов'язують спеціалісти в галузі контролю навколишнього середовища (виявлення шкідливих домішок в атмосфері, воді, в ближньому космічному просторі і т.д.). Астрономи сподіваються за допомогою радіотелескопів в цьому частотному діапазоні отримати нову інформацію про далекі небесні тіла та динаміку розвитку Всесвіту.

Освоєння космосу. Інформаційні та військові технології

Нанороботи здатні втілити в життя мрію фантастів про колонізацію інших планет. Мабуть, освоєння космосу «звичайним» порядком буде передувати освоєння його нанороботами. Величезна армія роботів-молекул буде випущена в навколоземний космічний простір і підготує його для заселення людиною – зробить придатними для проживання Місяць, астероїди, найближчі планети, спорудить з «підручних матеріалів» (метеоритів, комет) космічні станції. Це буде набагато дешевше і безпечніше існуючих

нині методів. Зараз в цьому плані був створений проєкт космічного ліфта з вуглецевих нанотрубок (NASA і компанія LiftPort Inc). За цим проєктом, запуск ліфта намічений на 12 квітня 2018 року.

Неймовірні перспективи відкриваються також в області інформаційних технологій. Відбудеться перехід від нині існуючих планарних структур до об'ємних мікросхем, розміри активних елементів зменшаться до розмірів молекул. Робочі частоти комп'ютерів досягнуть терагерцових величин. Отримають поширення схемні рішення на нейроноподібних елементах. З'явиться швидкодіюча довгострокова пам'ять на білкових молекулах, ємність буде вимірюватися терабайтами. Стане можливим «переселення» людського інтелекту в комп'ютер.

Нанотехнології мають і блискуче військове майбутнє. Військові дослідження в світі ведуться в шести основних сферах: технології створення і протидії «невидимості» (відомі літаки-невидимки, створені на основі технології stealth), енергетичні ресурси, самовідновлювальні системи (наприклад, дозволяють автоматично лагодити пошкоджену поверхню танка або літака), зв'язок, а також пристрої виявлення хімічних і біологічних забруднень.

Нарешті, за рахунок впровадження логічних нанoeлементів в усі атрибути навколишнього середовища воно стане «розумним» і виключно комфортним для людини.

Медицина і біологія

Завдяки використанню терагерцевих хвиль очікується прорив в ряді медичних технологій. Можливо, в самий найближчий час терагерцеві апарати з нешкідливим електромагнітним випромінюванням увійдуть в практику медичної діагностики і зможуть замінити в ряді випадків небезпечні рентгенівські апарати. Але найбільші надії медичних спеціалістів пов'язані з лікуванням онкологічних хворих. Оскільки терагерцеві хвилі добре проникають у верхні шари шкіри (аж до м'язових тканин), з'являється можливість контролювати розвиток недоброякісних процесів на самих ранніх стадіях. Взагалі в цьому діапазоні відкриваються нові можливості вивчення процесів на рівні живої клітини. Однією з

найбільш обговорюваних, найбільш хвилюючих є тема використання нанороботів в наномедицині, де в повній мірі могли б знайти застосування «таланти» нанороботів. Вважається, що наноробот, введений в організм людини, зможе самостійно пересуватися по кровоносній, лімфатичній та нервовій системах, не завдаючи шкоди організму, змінювати характеристики тканин і клітин, знищувати мікроорганізми, віруси і ракові клітини.

З'являться медичні пристрої, розміром з поштову марку. Їх досить буде накласти на рану. Це пристрій самостійно проведе аналіз крові, визначить, які медикаменти необхідно використовувати і впорсне їх в кров.

В області біології стане можливим «впровадження» в живий організм на рівні атомів. Наслідки можуть бути самими різними - від «відновлення» вимерлих видів до створення нових типів живих істот, біороботів.

Промисловість і сільське господарство. Екологія

Теоретично можливо, що роботи, створені на основі нанотехнологій, будуть здатні конструювати з готових атомів будь-який предмет. Якщо це стане можливим, то станеться заміна традиційних методів виробництва збіркою молекулярними роботами предметів споживання безпосередньо з атомів і молекул. Аж до персональних синтезаторів і копіювальних пристроїв, що дозволяють виготовити будь-який предмет.

Нанотехнології здатні зробити революцію в сільському господарстві. Молекулярні роботи здатні будуть виробляти їжу, замінивши сільськогосподарські рослини і тварин. Наприклад, теоретично можливо виробляти молоко прямо з трави, минаючи проміжну ланку – корову. Подібне «сільське господарство» не буде залежати від погодних умов і не потребуватиме важкої фізичної праці. А продуктивності його вистачить, щоб вирішити продовольчу проблему раз і назавжди. Однак поки що перехід від виробництва в лабораторії до масового виробництва загрожує значними проблемами, а надійну обробку матеріалів в наномасштабі потрібним чином все ще дуже важко реалізувати з економічної точки зору.

Нанотехнології здатні також стабілізувати екологічну обстановку. По-перше, за рахунок насичення молекулярними роботами-санітарами, що перетворюють відходи діяльності людини в початкову сировину, а по-друге, за рахунок переведення промисловості і сільського господарства на безвідходні нанотехнологічні методи. Наприклад, в перспективі наноматеріали дозволять багаторазово знизити вартість автомобільних каталітичних конверторів, що очищають вихлопи від шкідливих домішок, оскільки з їх допомогою можна в 15–20 разів знизити витрату платини та інших цінних металів, які застосовуються в цих приладах.

Будуть створені електричні магістральні кабелі на вуглецевих нанотрубках, які будуть проводити струм високої напруги краще мідних проводів, будуть міцніше в 10 разів і при цьому важити в п'ять-шість разів менше. Нанофарби скоро почнуть застосовуватися для нанесення магнітних знаків на цінні папери, що дозволить більш якісно захистити їх від підробок. Для збільшення пам'яті в комп'ютерах і телефонах скоро будуть використовуватися спеціальні «нанотрубки».

При вивченні нанопроцесів в твердому тілі у відділі хімії твердого тіла Інституту загальної та неорганічної хімії ім. В. Вернадського виявили нові властивості матеріалу, розробили керамічні нагрівальні елементи, які не дають іскри, і навіть використовували їх в промисловості.

В Інституті металофізики НАНУ досліджено новий фізичний ефект в багат шаровій структурі: феромагнітний матеріал-плівка благородного металу товщиною в одиниці нанометрів – феромагнітний матеріал. Не так давно Нобелівська премія з фізики була присуджена за виявлення ефекту гігантського магнітного опору в подібних шаруватих середовищах. Все зчитувальні та записувальні головки в кописках використовують саме цей ефект.

Телекомунікаційні системи та сенсори різної природи – найрізноманітніші складові нанотехнологій. Сучасна розумна зброя – яскравий приклад таких інновацій. Але технологічний прогрес – далеко не все те, що ми вкладаємо в поняття «нанореволюція». Йдеться також про нові, більш гнучкі форми розвитку суспільс-

тва, розуміння ролі інформації в світовому процесі. Нанотехнології дають можливість зруйнувати інформаційні системи опонента ще до того, як він вирішить атакувати.

Українські наноіллюзії

Виникає питання – на яку роль може розраховувати Україна в світі нанотехнологій?

Ми значно відстали за останні 20 років, в країні немає не те що технологічної лінійки, але навіть хоча б одного сучасного інструментального приладу, який дозволяв хоча б на лабораторному рівні в повному обсязі маніпулювати в ділянці нанометра, і головне – занепали галузеві науково промислові центри, які могли б використовувати результати академічної, вузівської та прикладної науки з виробничою метою.

Наявний інтелектуальний потенціал і розробки, а також кілька збережених підприємств колишнього військово-промислового комплексу Союзу при об'єднанні зусиль в рамках фінансованих державних програм з нанотехнологій дають певний, хоч дуже ілюзорний, але все ж шанс на прорив у галузі мікрохвильової техніки, сонячної електроніки, метрології, радіоастрономії ...

Перші два напрямки можна було б створити в вигляді великих вертикально і горизонтально інтегрованих структур на базі наукового парку «Київська політехніка», Інституту фізики напівпровідників НАНУ, київських ВАТ «НВП «Сатурн» і державного НДІ «Оріон», донецького «Топаза», Дніпропетровського машинобудівного заводу, Запорізького радіозаводу, низки чернівецьких та львівських інститутів. Ці структури ще здатні створювати і серійно випускати перспективні зразки конкурентоспроможної техніки. Якщо, звичайно, за час, який знадобиться для розкачки, на їхньому місці не будуть побудовані розважальні комплекси, офісні центри та масиви «елітного» житла.

В рамках реалізації кількох цільових загальнодержавних програм можна провести концентрацію наукових і інженерних кадрів країни в невеликій групі базових підприємств (установ). Потрібно зрозуміти при цьому, що є наукові та виробничі структури, які держава не повинна втратити. Для вирішення цих завдань у нас залишилося 10–15 років, по закінченні цього терміну підуть в небуття наявні наукові школи та інженерно-виробничі

колективи. Від розуміння цих простих істин керівництвом країни залежить, на яких горизонтах ми опинимося в ері нанотехнологій і нановиробництва ...

Нанотехнології зараз знаходиться в початковій стадії розвитку, оскільки основні відкриття, що передбачаються в цій області, чекають свого часу. Але це не заважає фантазіям вчених, оформлених в напористі матеріали працівників ЗМІ, прогнозувати дуже швидке її процвітання. Нам пророкують швидкий прихід нанотехнології в промислове виробництво. У машинобудуванні повним ходом стануть використовуватися мастила, що знижують тертя, ремонтно-відновлювальні склади та нанопокриття для ріжучого інструменту. Нанодобавки, що поліпшують якості будівельних матеріалів, широким потоком увільнюються в будівництво.

Ось-ось новим поколінням електроніки стане електроніка на основі вуглецю. Електронна комплектація, всякі там релюшки, діоди, світлодіоди, сенсори, мікрочіпи стануть розміром з сльозу молодого комара.

Обиватель з головою порине у світ предметів побутового начиння, виробленої за допомогою нанотехнологій. Кардинально зміниться медицина, візаж, косметологія, дизайн.

Найбільш палкі апологети нанотехнології запевняють, що вона своєю чарівною рукою допоможе вирішити багато соціальних проблем, в тому числі проблему якісного і доступного житла, проблему недоїдання і голоду, допоможе урізати безробіття і т.д.

В Україні порівняно недавно був створений Інтернет-ресурс «Український сайт нанотехнологій» (www.nano.com.ua). Мета національних ентузіастів нанотехнологій – «сприяти державі в організації нової галузі промисловості – наноіндустрії. Всіляко сприяти створенню в Україні Національної нанотехнологічної програми». Найреальніший (і досить оптимістичний) сценарій розвитку нанотехнологій в Україні – це розвиток у вузькому сегменті – створення приладів для роботи в мікропросторі. Тут від радянських часів залишилися конкретні напрацювання. Однак функціонування навіть в цьому вузькому просторі буде відбуватися під невиспущим контролем західних «братів».

Конкретний приклад. Радянський Союз залишив у спадок Україні 70% свого виробництва штучних алмазів. Поки існував

СРСР, йому вдавалася аби як протистояти південно-африканській компанії «Де Бірс» – світового монополісту на ринку алмазів, і розвивати промисловий синтез алмазів, що було по кишені монополіста. Але грянула незалежність, і перспективний з усіх точок зору флагман алмазної промисловості України «Полтавський алмазний завод» потужністю в 140 млн карат в результаті довгої комбінації з акціями тихо перекочував з державної власності під контроль ірландської компанії Element Six, афілійованої з «Де Бірс». Таким чином, африканери майже повністю монополізували світовий ринок промислових діамантів. Доля більш дрібних українських «алмазних» підприємств також фактично вирішена. Те, що цікаво буде «Де Бірс», відійде їй. Зараз монополіст націлюється на Бориславський завод.

З настанням нового тисячоліття почалася ера нанотехнології. Стрімкий розвиток комп'ютерної техніки, з одного боку, стимулюватиме дослідження в області нанотехнологій, з іншого боку, полегшить конструювання наномашин. Таким чином, нанотехнологія буде швидко розвиватися протягом наступних десятиліть.

Перспективи нанотехнологічної галузі дійсно грандіозні. Нанотехнології кардинальним чином змінять всі сфери життя людини. На їх основі можуть бути створені товари і продукти, застосування яких дозволить революціонізувати цілі галузі економіки. Джош Волфе Josh Wolfe, редактор аналітичного звіту Forbes / Wolfe Nanotech Report, пише: «Світ буде просто побудований заново. Розвиток нанотехнології потрясе все на планеті».

Ключові технології і матеріали завжди відігравали велику роль в історії цивілізації, виконуючи не тільки вузько виробничі функції, а й соціальні. Досить згадати, як сильно відрізнялися кам'яний та бронзовий століття, століття пара і століття електрики, атомної енергії і комп'ютерів. На думку багатьох експертів, XXI ст. буде століттям нанонауки і нанотехнологій, які і визначать його обличчя. Вплив нанотехнологій на життя обіцяє мати загальний характер, змінити економіку і торкнутися всіх сторін побуту, роботи, соціальних відносин. За допомогою нанотехнологій ми зможемо економити час, одержувати більше благ за меншу ціну, постійно підвищувати рівень і якість життя.

Інновації і нанотехнології в Україні,

<http://ubr.ua/business-practice/innovation-in-business/innovacii-i-nanotehnologii-v-ukraine-57142>

Для будь-якої країни існує такий параметр, як коефіцієнт впровадження інновацій. Це відсоток від прибутку підприємства, який виділяється на модернізацію, і впровадження нових технологій. Якщо він нижче 15%, то можна говорити про деградацію, і руйнуванні виробничого потенціалу. Якщо навіть верстати в цеху прослужать ще десятки років, якщо ви вкладаете в інновації менше 15% – ваше підприємство все одно приречене на загибель. Дуже скоро вашу продукцію витіснять з ринку іноземні конкуренти.

Для України середній показник впровадження інновацій не перевищує 5%. Це вже призвело до загибелі багатьох підприємств, і більшість підприємств України з цієї причини знаходяться на межі загибелі.

Цінні для України підприємства руйнувалися також навмисно – якщо вони розташовувалися в центрі міста, де дуже дорога земля. За часів недавньої економічної «бульбашки» на території колишніх промислових підприємств будувалися житлові будинки, і офісні будівлі. Такі випадки траплялися і в Києві, і в Харкові, і в Дніпропетровську. І на сьогоднішній день ситуація така – або різке зростання коефіцієнта впровадження інновацій, або повне знищення промислового потенціалу України.

На сьогоднішній день Інноваційна палата України є єдиним неприбутковим громадським об'єднанням громадян України, зацікавлених в інноваціях, і впровадженні нових технологій, рис. 8.3.

Але, незважаючи на всі труднощі, інновації в Україні будуть жити і розвиватися - поки є такі люди, як Василь Іванович Шепель, як харківські вчені Андрієвський Григорій Володимирович, який відкрив явище розчинності фулеренів в воді, і Шуваяв Валерій Михайлович, який заснував Українську нанотехнологічну конференцію, Віталій Крюк і Микола Бельдій, що відкрили спосіб передавати електрику повітрям ...

І можна навести ще багато прикладів відкриттів і винаходів, напрямків інновацій та сучасних бізнес-ідей, розвиток яких може вивести Україну в лідери промисловості, науки і технологій.

Нанотехнології в енергетиці

На цей раз за допомогою нанотехнологій здійснений прорив в області прямого перетворення радіоактивного випромінювання в електроенергію. Спосіб прямої конвертації радіації в електроенергію за допомогою термоелектричних наноматеріалів відкриває нову еру в космічних польотах на наддалекі відстані і знайде своє застосування при створенні земних транспортних засобів, вважають вчені. Тести показали, що розроблений матеріал здатний виробити в 20 разів більшу електричну потужність в порівнянні із зразками відомими раніше.

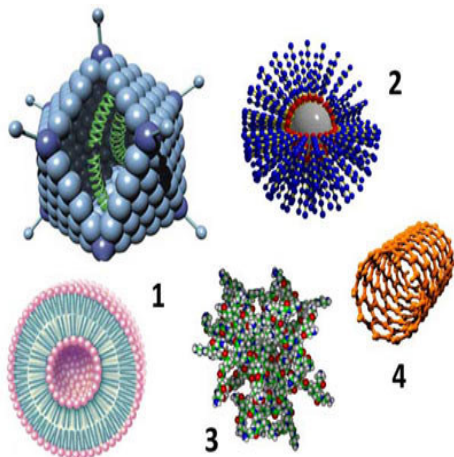


Рис. 8.3. Наночастки, використовувані для доставки терапевтичних молекул: 1 – ліпосоми і аденовірус; 2 – полімерна наноструктура; 3 – дендримеру; 4 – вуглецева нанотрубка (джерело: сайт www.biorf.ru)

весь технологічний ланцюжок займає багато місця, вимагає габаритного і дорогого обладнання.

США і Радянський Союз почали розробки ядерних батарей для космічних апаратів, починаючи з перших космічних польотів. У цих пристроях застосовувалися термоелектричні матері-

Традиційна ядерна енергетика використовує енергію розпаду атомних ядер для нагріву теплоносія, який, в свою чергу, нагріває воду. Вода перетворюється в пар з високими параметрами, пар направляє в турбіну, яка приводить в обертання генератор.

Природним прагненням вчених було зменшити число ступенів перетворення одного виду енергії в інший перш, ніж буде вироблена електроенергія. Пов'язано це з тим, що, по-перше, на кожному етапі відбуваються втрати енергії, по-друге,

али, за допомогою яких тепло ядерної реакції безпосередньо перетворювалося в електроенергію. Такі установки були дуже компактними, так як в них були відсутні парогенератори, турбіни, генератори. Але ефективність подібних пристроїв була вкрай низька.

8.2. Практичні кроки нанотехнологій

В даний час, в лабораторії університету штату Алабама розроблений термоелектричний матеріал, що підвищує ефективність всієї технології в 20 разів! Матеріал був створений колишнім інженером національного ядерного центру Лос-Аламос – Liviu Pora-Simil, у співпраці з Claudiu Muntele з університету Алабама. Новий матеріал являє собою безліч шарів вуглецевих нанотрубок, наповнених золотом і оточених гідридом літію. Радіоактивне випромінювання впливає на електрони в атомах золота і змушує їх залишати свої орбіти. Електрони проходять через нанотрубки і потрапляють в гідрид літію, потім вони рухаються до електрода, створюється електричний струм.

Нанотрубки дозволили істотно підвищити питому електричну потужність термоелектрика. З їх допомогою можливо найбільш ефективно використовувати енергію радіаційного випромінювання, рис. 8.4.

Нанотехнології в сонячній енергетиці, <http://alternenergy.com.ua/nanotehnologii-v-solnechnoi-energetike/>

Так, вчені з Національної лабораторії, розташованій в штаті Айдахо, винайшли абсолютно новий прототип сонячної батареї, яка включає в себе особливу решітку з наноантен, яка поміщена на тонку і гнучку підкладку. Новаторство підходу полягає в тому, що струм в батареї наводиться не по традиційному принципу фотоефекту, а за рахунок металеві антени, на яку потрапляє інфрачервоне випромінювання. Попередні розрахунки показують, що ККД такої конструкції становить близько 36%. Однак найцікавіше полягає в тому, що антени працюють не тільки вдень, але і вночі, вловлюючи ІЧ-промені, які випромінюються нагрітої за день землею, асфальтом і іншими поверхнями.

Термоелектрики можуть стати компактними і дуже зручними джерелами енергії, як для космічних апаратів, так і для земних автомобілів. Але це, як визнають вчені, лише далека перспектива. Має бути проведено ще дуже багато наукової роботи, перш ніж технологія буде готова до комерціалізації.

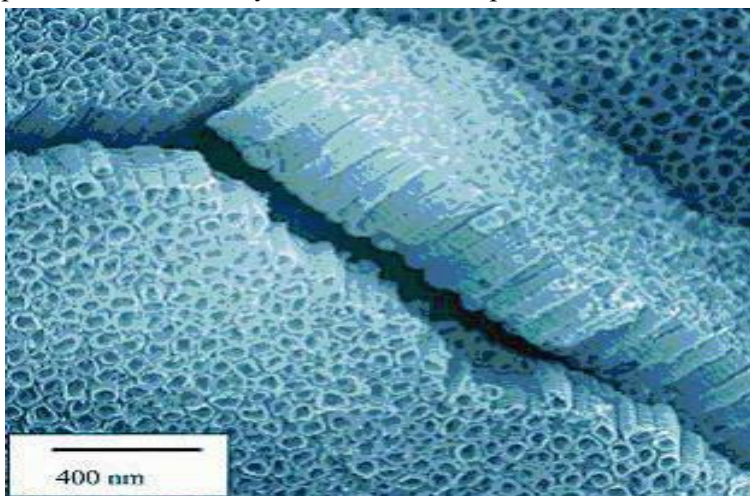


Рис. 8.4. Нанотрубки під електронним мікроскопом

Однак сама унікальна і революційна розробка зроблена російськими вченими з Дубненського інституту ядерних досліджень, які створили так звану «зоряну батарею».

В основу нової розробки покладено властивість спеціальної речовини, так званого гетероелектрика, який складається з золотих і срібних наночастинок. Унікальною властивістю гетероелектрика є те, що він може перетворювати сонячний спектр, що складається з хвиль різної довжини, в єдину частоту, таким чином, істотно збільшуючи ККД батареї. Причому зоряна батарея може працювати як вдень, так і вночі, перетворюючи зоряне світло в електричний струм. Винахід дозволяє досягти ефективності перетворення сонячного світла в електрику – до 54%, а ІЧ випромінювання – до 31%, що робить можливість використання даного виду альтернативної енергії досить рентабельним.

*Супердроти – нанотехнології в електроенергетиці,
<http://elektrik.info/main/news/963-superprovoda-nanotehno-logii-v-elektroenergetike.html>*

Фахівці Всеросійського науково-дослідного інституту неорганічних матеріалів імені академіка О. О. Бочвара розробили технологію створення новітніх супердротів. Суть технології полягає в послідовній збірці біметалевих складених заготовок з їх подальшим деформуванням. Це дає можливість впровадження в матрицю звичайного мідного дроту стрічкових ніобієвих волокон товщиною всього 6–10 нм, рис. 8.5.



Рис. 8.5. Зовнішній вигляд супердротів

У підсумку виходить композитний провід перетином 2 на 3 мм, в якому присутня до 400 мільйонів цих найтонших ніобієвих волокон.

Отриманий дріт відрізняється аномально високою механічною міцністю, значно більше 500 МПа, і електропровідністю на рівні 65–85% від значення електропровідності чистої міді, що досягається малою відстанню між волокнами, в порівнянні із середньою довжиною пробігу електронів в мідній

матриці.

Супердротами вважаються дроти з міцністю на розрив, що перевищує 400–450 МПа, електропровідність яких становить від 40 до 80% від значення цієї величини, яка відповідає чистій міді. Влітку 2012 року, спільно з РОСНАНО, в Росії був запущений завод «Наноелектро», в рамках промислової діяльності якого почалося виробництво таких надвисокоміцних наноструктурованих дротів з плановим обсягом до 50 тонн на рік.

Бюджет проекту склав 1,02 мільярда рублів. Ряд зарубіжних компаній, серед них суднобудівні підприємства, мають свою зацікавленість в придбанні супердротів російського виробництва, оскільки нова продукція значно перевершує вже наявні на ринку аналоги, рис. 8.6.

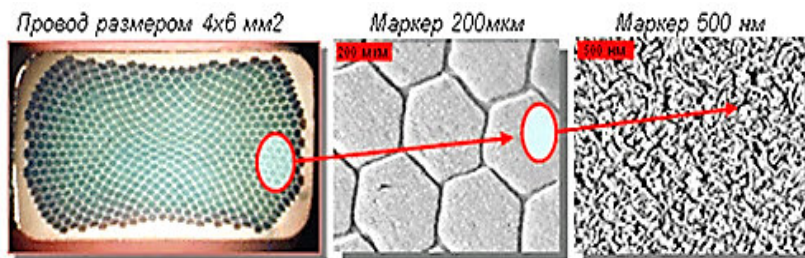


Рис. 8.6. Поперечні перерізи супердротів

На сьогоднішній день супердроти необхідні в першу чергу вченим для створення надпотужних електромагнітів. Партнерами проекту є: CERN, Курчатовський інститут, Національна лабораторія високих магнітних полів, Лос-Аламос, США, Науковий центр Россендорфа, Дрезден, Німеччина, ВАТ «РЖД», ВАТ «ВНИИКП», ALPHISICA GmbH.

У березні 2012 року саме в лабораторії Лос-Аламоса був поставлений світовий рекорд, там електромагніт на основі російських супердротів показав індукцію в 100 Тесла, що в 2 мільйони разів перевершує індукцію магнітного поля Землі. Крім цього у використанні супердротів зацікавлені такі галузі як: робототехніка, мікроелектроніка, суднобудування, авіабудування та інші важливі високотехнологічні галузі.

Якщо порівняти новий композитний матеріал з міддю, бронзою, латунню, то переваги стануть очевидними. Чиста мідь має виняткову електропровідність (поступаючись сріблу), але при цьому міцність міді на розрив становить всього 220–270 МПа.

Провідність бронзи становить лише 17% від провідності чистої міді, але при цьому міцність на розрив 400–970 МПа. Латунь має міцність на розрив 380–880 МПа, але електропровідність її в 2 рази нижче електропровідності міді, рис. 8.7.

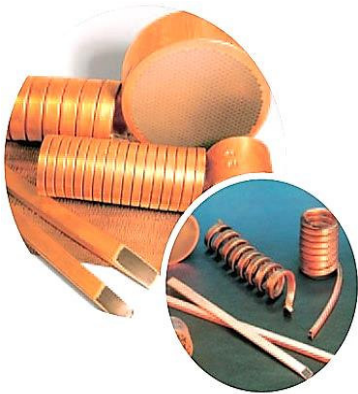


Рис. 8.7. Супердроти

Що стосується нового матеріалу супердротів, то міцність на розрив тут сягає 1200 МПа, а електропровідність лише трохи поступається електропровідності міді. Так супердроти, що володіють високими механічними характеристиками, просто незамінні для високопольних імпульсних магнітів і магніто-імпульсних індукторів, для авіаційної і космічної техніки, для флоту і оборонної промисловості, а також в якості контактних проводів високошвидкісних поїздів.

Важлива міцність проводів і просто в наших кліматичних умовах, де мокрий сніг і шквалистий вітер часто призводить до обривів ЛЕП, що загрожує відключенням електроенергії в населених пунктах, і тривалими ремонтними роботами. Згодом наноструктуровані дроти майже напевно допоможуть вирішити і цю проблему.

Нанотехнології в енергетиці, В. Н. Половінкін, д.т.н., проф.
<http://www.proatom.ru/modules.php?name=News&file=article&sid=2118>

Останнім часом фахівці атомної галузі встановили, що найбільш ефективний спосіб забезпечення радіаційної стійкості може бути пов'язаний з утворенням в твердому розчині наноструктурної підґратки кластерів ближнього впорядкування – пасток вакансій і інтерстицій (проміжків) з періодом 5–10 нм, порівняним з довжиною вільного пробігу радіаційних точкових дефектів. На відміну від звичайної деградації реакторних матеріалів, пов'язаної з появою крихкості при радіаційному впливі, високодозне опромінення подібних сплавів, навпаки призводить до підвищення їх міцності при збереженні в'язкості. Таким чином, нанотехнології, по суті, дають життя новому напрямку радіаційного матеріалознавства – створення конструкційних матеріалів, «позитивно» реагуючих на фактор радіації.

Не менш перспективним для ядерної енергетики є створення універсальної фільтруючої системи від мікро- до нанометричних розмірів. Такі металеві об'ємні нанофільтри дуже перспективні для застосування в системах водопідготовки і очищення теплоносія реакторів АЕС.

Перехід до нанометричних структур дозволив збільшити струмонесучу здатність надпровідників, що застосовуються в атомній галузі. При цьому магнітні нанокompозити покращують технічні параметри магнітних систем при одночасному зменшенні їх габаритів.

Пористі нанокаркаси з функціональних матеріалів (метали, інтерметаліди і кераміка) з розміром комірок мікронного масштабу і товщиною стінки порядку 10–40 нм використовуються для отримання надміцних і надлегких конструкційних матеріалів і створення високоміцних пористих ємностей для зберігання високоенергетичних речовин, включаючи водень. Такі матеріали можуть бути використані для перспективної атомно-водневої енергетики.

<http://www.nanonewsnet.ru/articles/2015/nanotekhnologii-v-sovremennoi-energetike-v-energetike-budushchego>

Нанотехнології проникають усюди і особливо в енергетику, без якої розвиток світу загальмується. Нанотехнології змінюють саму парадигму розвитку цивілізації, і шлях використання виключно корисних копалин у вигляді палива – шлях в нікуди, і скоріше є політичним гальмом розвитку прогресу.

Приклади розв'язання задач

Задача 8.1

Сьогодні уже ніхто не сперечається, що з часом автомобілі на відновлювальних джерелах енергії витіснять традиційні авто з двигунами внутрішнього згоряння. Питання лише у тому, чи людство зупиниться на електромобілях, чи це будуть машини на іншому паливі, наприклад, водні [107].

Водень вже давно рекламується як майбутнє для легкових автомобілів. По суті, це електричний транспортний засіб на водневих паливних елементах (FCEV), який працює на стисненому

водні і має нульовий рівень викидів вуглецю. Ефективні паливні елементи виготовляють з використанням нанотехнологій.

Водневі автомобілі заправляються так само швидко, як і автомобілі на викопному пальному і мають аналогічну дальність проїзду. Розвиток водневих автомобілів підтримують деякі автогіганти, наприклад Toyota, яка випустила уже друге покоління моделі на водні – Mirai.

Нещодавно Канадська асоціація водню та паливних елементів опублікувала звіт про переваги водневих транспортних засобів. Серед інших пунктів було сказано, що вуглецевий слід таких автомобілів на порядок нижчий, ніж у електромобілів: 2,7 г CO₂ на кілометр, порівняно з 20,9 г.

Завдання – порівняти водневі автомобілі (FCEV) і електроавтомобілі з точки зору енергоефективності [107].

Розв'язання

1. Для водневого автомобіля характерні такі етапи перетворення енергії рис. 8.8:

- візьмемо наприклад 100 Вт електроенергії, виробленої відновлювальним джерелом, таким як вітрогенератор. Щоб живити FCEV, ця енергія повинна бути перетворена на водень, (наприклад шляхом електролізу). Енергоефективність цього процесу близько 75%, тому приблизно чверть електроенергії автоматично втрачається.

- отриманий водень повинен бути стиснутий, охолоджений та має транспортуватися до водневої станції. На це втрачається ще близько 10% енергії.

- потрапивши всередину транспортного засобу, водень потребує перетворення в електроенергію, з коефіцієнтом ефективності 60%.

- нарешті, електроенергія, яка використовується у двигуні для приведення автомобіля в рух, має приблизно 95% ефективності.

У підсумку коефіцієнт корисної дії складає 38%. Тобто від початкової потужності 100 Вт ефективно використовується лише 38 Вт.

2. Для електромобіля етапи перетворення енергії наступні рис. 8.9:

- у електромобілях із батареєю акумуляторів енергія передається прямо від джерела до двигуна. Ті ж 100 Вт потужності від вітротурбіни втрачають близько 5% під час транспортування в електромережі (у випадку водню припустимо, що перетворення

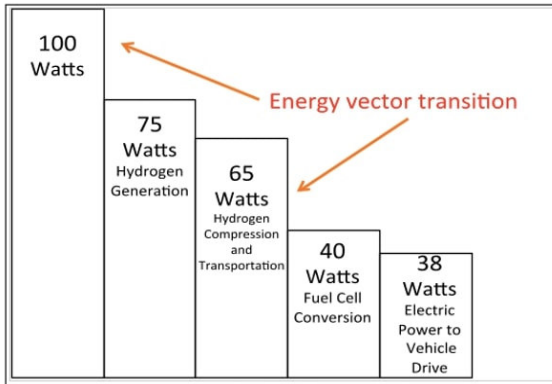


Рис. 8.8. Енергоефективність водневого автомобіля

відбувається на місці поблизу вітроелектростанції);

- ще 10% енергії втрачається від зарядки та роз-

рядки літій-іонного акумулятора;

- а також ще 5% під час використання електроенергії для руху автомобіля.

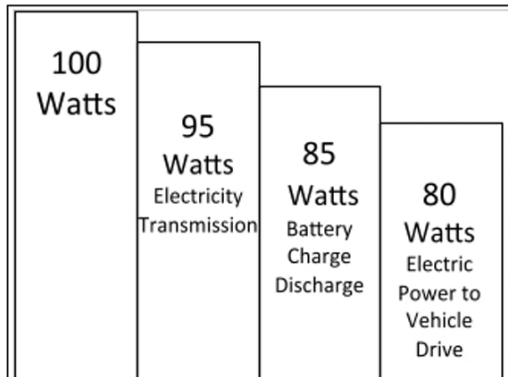


Рис. 8.9. Енергоефективність електромобіля

Таким чином, загальний ККД електромобіля знизився до 80%.

Іншими словами, *водневий паливний елемент потребує подвійної кількості енергії.*

Контрольні питання

1. Що означає приставка «нано-»?
2. Що називається нанотехнологією?
3. Які області застосування нанотехнологій?
4. Які новітні досягнення нанотехнологій?
5. Які властивості має бронежилет з вуглецевих нанотрубок?
6. Що таке фулерен?
7. З якою частотою працює повномасштабна інтегральна схема на основі вуглецевої нанотрубки?
8. Що таке графен?
9. Що розуміється під технологією «рідкого бронежилета»?
10. Скільки доларів коштує найскромніша нанолaboratorія?
11. Який стан інноваційних процесів в області нанотехнологій в Україні?
12. На якому принципі працюють термоелектрики і яка їх ефективність?
13. Який принцип роботи сонячної батареї з наноантенами і яке її ККД?
14. Які параметри і будова супердротів?
15. Як працюють створені нанотехнологією конструктивні матеріали, що позитивно реагують на фактор радіації?

9. ЕКОЛОГІЧНА БЕЗПЕКА. НЕОБХІДНІСТЬ ПРИСКОРЕНОГО РОЗВИТКУ ВИКОРИСТАННЯ ВІДНОВЛЮВАНИХ ДЖЕРЕЛ ЕНЕРГІЇ

9.1. Інженерна екологія енергетики

Енергія і енергетика

«Теплове забруднення» планети, «парниковий ефект», «кисневе голодування», кислотні дощі, виснаження озонового шару, масштабні забруднення токсичними хімічними речовинами та радіонуклідами, швидке скорочення біологічної різноманітності – ось далеко не повний набір лих, якими людство розплачується за представлений цивілізацією комфорт. В основі цього комфорту і всіх пов'язаних з ним негативних наслідків лежить, в першу чергу, виробництво і використання енергії, перетворення її з однієї форми в іншу, що реалізовується об'єктами паливно-енергетичного комплексу [53].

Енергія [*гр. energeia – діяльність*] – загальна міра різних видів руху і взаємодії. В даний час відомі різні види енергії: теплової – руху мікрочастинок, які складають робоче тіло; кінетичної – руху самого тіла як єдиного цілого (механічна енергія); гравітаційного, електричного і магнітного полів; електромагнітного випромінювання; внутрішньоядерні і ін. Одні види енергії перетворюються в інші в строго визначених кількісних співвідношеннях, які встановлює загальний закон збереження і перетворення енергії.

Енергетика – галузь народного господарства, що охоплює виробництво, перетворення і використання різних форм енергії.

В енергетиці використовуються в основному п'ять видів установок:

■ *генеруючі*, які перетворюють потенційну енергію природних енергетичних ресурсів в електричну, теплову, механічну або в інший вид енергетичного ресурсу (наприклад, трубоустановки, газогенеруючі установки, котли, компресори);

■ *перетворюючі*, які змінюють параметри та інші особливості даного виду енергії (трансформаторні підстанції, випрямлячі та інверторні електроустановки, трансформатори тепла і ін.);

■ *мережі*, які призначені для передачі і розподілу енергії (електричні, теплові, газові, нафтопроводи, мережі стисненого повітря і ін.);

■ *акумуляючі*, які призначені для часткового регулювання режиму виробництва енергії (електричні і теплові акумулятори, насосно-акумуляючі гідроелектричні та ін.);

■ *споживаючі*, які слугують для перетворення енергії до виду, в якому вона безпосередньо використовується (електричний привід машин, опалювальні установки, промислові печі, світильники та ін.).

З точки зору фізики процес виробництва будь-якої енергії полягає в перетворенні однієї її форми в іншу. Тому, за змістом фізичних процесів, що відбуваються у всіх установках, машинах, апаратах і пристроях енергетичного господарства, енергетика може бути названа також і наукою про перетворення, транспортування та використанні енергії.

Галузь енергетики, що вивчає закономірності перетворення енергії падаючого водяного потоку в електричну, називається *гідроенергетикою*.

Відкриття шляхів використання енергії атомного ядра створило нову галузь енергетики – *атомну* або *ядерну* енергетику.

Питаннями використання енергії мас повітря, що переміщуються, займається *вітроенергетика*.

Кожна з галузей енергетики як науки має свою теоретичну основу, що базується на законах фізичних явищ в даній галузі.

Екологія і оточуюче середовище

Термін «екологія», вперше використаний в 1966 році біологом Е. Геккелем, походить від грецьких слів «oikos» – будинок, родина і «logos» – слово, поняття, вчення.

Екологія – наука, що вивчає взаємовідносини живих організмів, що утворюють деяку єдність (систему) з навколишнім середовищем, в межах якого здійснюється процес трансформації енергії й органічної речовини. Основне завдання екології – вивчення взаємодії енергії та матерії в екосистемі, під якою в загальному випадку мається на увазі відкрита стійка цілісна система живих і неживих компонентів, історично сформованих на тій чи іншій території (акваторії) біосфери. Екосистеми є відкриті системи,

тобто такі, які мають на вході і на виході навколишнє середовище.

У центрі уваги сучасної екології знаходиться концепція екосистеми. Односторонній потік енергії і циркуляція хімічних елементів – два фундаментальних закони загальної екології, які однаково застосовуються до будь-якого навколишнього середовища і до будь-якого організму, включаючи людину. Окремі особини, популяції, види, угруповання в їх взаємодії між собою і з навколишнім середовищем також є об'єктами екологічного дослідження. Таким чином, екологія – одна з провідних навчальних і науково-технічних дисциплін на сучасному рівні розвитку людства, і її роль в майбутньому ще більше зросте.

Екологічні проблеми тісно пов'язані не тільки з питаннями технологічної діяльності людини (особливо з технологією енергетики) і техногенним навантаженням на навколишнє середовище, але також з економікою, політикою, мораллю, правом, естетикою та освітою.

Екологія прикладна – розділ екології, дослідження і результати якого спрямовані на вирішення практичних проблем охорони навколишнього середовища, в першу чергу, таких, як захист від забруднень; управління навколишнім середовищем, раціональним використанням природних ресурсів, кругообігом води і повітря в природі, стабільністю і можливим навантаженням екосистем.

Поняття «Прикладна екологія» часто використовується як синонім охорони навколишнього середовища. Тому важливою складовою частиною прикладної екології є інженерна екологія енергетики, що вивчає екологічні аспекти енергетики та енергетичні аспекти екології, які знаходяться в найтіснішому взаємозв'язку.

Довкілля – сукупність природних і штучних, тобто створених людиною, матеріальних об'єктів і явищ, а також соціально-екологічних явищ. До природних компонентів навколишнього або природного середовища відноситься географічне положення, будова поверхні і клімат місцевості, мінеральні, енергетичні та водні ресурси, ґрунт, повітря, флора і фауна з урахуванням власних їм процесів і явищ. Створені людиною фізичні компоненти

навколишнього середовища включають в себе машини і знаряддя, житлові і виробничі приміщення, синтетичні, що не мають аналогів в навколишньому середовищі, матеріали і продукти, засоби комунікацій, забруднення різних типів.

Забруднення – привнесення в природне навколишнє середовище, а також виникнення в ній нових, звичайно не характерних для цього середовища, фізичних, хімічних або біологічних речовин, які шкідливо впливають на людину, флору і фауну. Основні джерела забруднень – різні об'єкти виробничої і побутової діяльності людини. До основних об'єктів, які піддаються забрудненню, відносяться вода, повітря і ґрунт.

Забруднення води пов'язані з регулярним скиданням в водні джерела стічних вод, з поверхневим і дренажним стоком з сільськогосподарських угідь, розробкою корисних копалин, експлуатацією енергетичних, хімічних, машинобудівельних і інших підприємств.

Забруднення повітря є результатом викидів в атмосферу чужорідних крапель, парів, газів, частинок, підвищенням концентрації деяких звичайних компонентів (вуглекислого газу, твердих частинок), що обумовлено роботою підприємств, спалюванням палива в різних енергетичних системах, господарсько-побутової діяльністю населення і т. д. Основні інгредієнти забруднень – зважені частинки, оксиди вуглецю, азоту, сірки, фотохімічні окиснювачі.

Забруднення ґрунту має антропогенне походження – залучення людиною різних забруднювачів (накопичення пестицидів, незасвоєних добрив, відходів тваринництва, бджільництва, промисловості, енергетики, забруднення нафтопродуктами і ін.). Як правило, ґрунтові забруднювачі вбираються рослинами і тваринами в харчові ланцюги і таким шляхом доходять до людини.

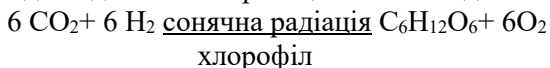
Навколишнє середовище і коловорот речовин в природі

Надалі під навколишнім середовищем будемо розуміти комплекс зовнішніх природних умов діяльності людського суспільства. Їх головні компоненти (повітря, вода, земля, флора, фауна, гідросфера, атмосфера, літосфера, продуценти, консументи, редуценти) об'єднуються загальним поняттям – біосфера.

Біосфера – простір, що є місцем проживання сукупності всіх живих організмів планети. Вона охоплює частину літосфери, атмосфери і гідросферу. Поширення життя в біосфері вкрай нерівномірно. В основному воно концентрується на кордоні трьох середовищ. Саме в біосфері, завдяки живим організмам, перетворюється сонячна енергія, відбуваються біогеохімічні перетворення речовин, переважають речовини біогенного походження. Верхня частина біосфери обмежена озоновим екраном, що затримує більшу частину згубних для живих істот ультрафіолетових променів, а нижня – тепловим бар'єром. Загальна потужність біосфери може досягати 40 км. Від усіх інших геосфер біосфера відрізняється найбільш енергійними хімічними перетвореннями. Її головні характеристики – наявність води в рідкому стані і проникнення сонячної радіації, яка являє собою єдине джерело енергії планети Земля.

Біосфера весь час перебуває в динаміці, тобто в ній йде неперервний круговорот речовин. В першу чергу це відноситься до атмосфери, головною складовою частиною якої є тропосфера (11 км). У тропосфері, де зосереджено 2/3 всього повітря, закінчуються процеси, які призводять до глобальних переміщень величезних повітряних мас. На висоті 2 тис. км від поверхні Землі відстань між окремими молекулами повітря вимірюється кілометрами. Структура тропосфери неоднорідна і складається з трьох шарів: прикордонного (1–1,5 км), навколосемного (50–100 м) і підстильного (верхівки дерев).

Основний глобальний процес в біосфері – круговорот вуглекислого газу (CO_2), води (H_2O) і кисню (O_2). Взаємодія вуглекислого газу (CO_2) з водою (H_2O) під впливом сонячної радіації – *основа життя на Землі*. В результаті цього процесу, що відбувається в зеленій масі рослин, утворюється хлорофіл ($\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$) і кисень (O_2). Відповідна хімічна реакція має вигляд:



В екології прийнято один з компонентів біосфери – рослини, що утворюють хлорофіл, називати *продуцентами*, тварин і людей – *консументами*, бактерії і грибки – *редуцентами*. Останні

розкладають залишки рослин і тварин на CO_2 та інші елементарні речовини.

Основним джерелом енергії в примітивній атмосфері Землі, як і в даний час, завжди було Сонце. Однак світло проходить через атмосферу іншого складу, хоча спектральний склад випромінювання був той же. Велика частина високоенергетичного випромінювання досягала земної поверхні, так як в атмосфері був відсутній кисень. Отже, не було і озонового екрану. Саме він поглинає тепер майже все короткохвильове ультрафіолетове (УФ) випромінювання.

Таким чином, великі кількості активної фотохімічної енергії були доступні для взаємодії з речовиною. Крім того, для первісної земної поверхні була характерна висока вулканічна активність, потужні вулканічні розряди і сильні зливи. Все це створювало найрізноманітніші умови протікання хімічних реакцій. Перші цикли, можливо, мали наступну структуру:

$\text{H}_2 + \text{CO}_2 + \text{N}_2 + \text{H}_2$ органічні з'єднання.

Важливим етапом біологічного кругообігу є те, що життя, що виникло в воді, поступово починає завойовувати сушу. Збільшення вмісту кисню в атмосфері сприяє появі озонового шару, що поглинає УФ – випромінювання, згубне для живих систем. Все це інтенсифікує фотосинтез у поверхні води, підвищує надійність озонового шару і в кінцевому підсумку, – ефективність кругообігу речовин в природі.

Компоненти CO_2 і O_2 розподілені в біосфері вкрай нерівномірно. Атмосфера містить всього 4% CO_2 від загальної його кількості в природі. В океані CO_2 в 50 разів більше, ніж в атмосфері. Слід зазначити, що на натуральний цикл кругообігу CO_2 і O_2 все більший вплив робить техногенна активність людства, в тому числі і теплоенергетика, яка не тільки змінює баланс і шляхи кругообігу цих речовин, але і створює інші речовини, надаючи додаткові негативні впливи на навколишнє середовище.

Енергія і життя

Сучасна екологія розглядає в центрі картини еволюції живої природи кругообіг речовин в екосистемі. Джерело руху і розвитку життя в ній – постійне накачування потоком вільної енергії і вимушене переміщення речовин під впливом цього збурення.

Крім джерела енергії (Сонця) і проміжної системи (біосфера), обов'язковим елементом екосистеми являється третя ланка – приймач енергії (Космос) або стік, в який переходить енергія.

Потік сонячної енергії викликає і організує кругообіг в органічній системі (від простих, фізичних: води і повітря, до складного, біологічного). Енергії, при такому підході, відводиться роль «цариці світу». Ентропія («тінь» енергії) своїм зростанням тільки демонструє зростання потоків вільної енергії, які використовуються екосистемою.

«Можна без перебільшення стверджувати, – писав у своїй основоположній монографії «Біосфера», опублікованій в 1926 м, видатний натураліст В. І. Вернадський, що хімічний стан зовнішньої кори нашої планети, біосфера, цілком знаходиться під впливом життя, визначається живими організмами. Безсумнівно, що енергія, яка надає біосфері її звичайний вигляд, має космічне походження. Вона виходить із Сонця в формі променевої енергії. Але саме живі організми, сукупність життя, перетворюють цю космічну променисту енергію у земну, хімічну і створюють нескінченну різноманітність нашого світу. Це живі організми, які своїм диханням, своїм живленням, своїм метаболізмом, своєю смертю і своїм розмноженням, постійним використанням своєї речовини, а головне – безперервною зміною поколінь, що триває сотні мільйонів років, своїм народженням і розмноженням породжують одне з найграндіозніших планетних явищ, що не існують ніде, крім «біосфери».

Таким чином, В. І. Вернадський розглядає біосферу не як просту сукупність живих організмів, а як єдину термодинамічну систему – оболонку (простір), в якій зосереджене життя і здійснюється постійна взаємодія всього живого з неорганічними умовами середовища.

Основними компонентами біосфери по В. І. Вернадському, є:

- жива речовина – рослини, тварини, мікроорганізми;
- біогенна речовина – органічні і органіко-мінеральні продукти, створені живими організмами протягом геологічної історії Землі: кам'яне вугілля, нафта, газ, горючі сланці і ін.;

- костна речовина – гірські породи неорганічного походження, які є середовищем існування живих організмів;
- біокостна речовина – результат синтезу живої і неживої речовини: мінеральні породи органічного походження, сучасні ґрунт, мул і ін.

З появою людей на Землі почався їх вплив на кругообіг речовин та енергетичний обмін у біосфері. Разом з розвитком людського суспільства зростає антропогенний вплив на навколишнє середовище. Людина, на відміну від інших організмів, діє на природу не лише біологічним обміном речовин, але і своєю працею. Зростання народонаселення, технічного оснащення і громадської організації праці привели до інтенсифікації антропогенних трансформацій в біосфері. Причому етапи взаємодії суспільства і природи відповідають не тільки етапам вдосконалення засобів виробництва, якими люди безпосередньо впливали на природу, а й етапами розвитку виробничих відносин, етапам розвитку всього людського суспільства.

На жаль, останнім часом ця взаємодія набуває характер, загрозливий для самої біосфери. Науково-технічна революція, що стала можливою в результаті великих відкриттів в біології, хімії та багатьох інших науках, набагато розширивши можливості інтенсивного використання природних ресурсів, водночас ускладнила і все більш зростаючими темпами продовжує ускладнювати взаємини людини з навколишнім середовищем. У екологічні системи і, в цілому, в біосферу вносяться досить помітні і непередбачені зміни. Вони нерідко пов'язані з забрудненням повітряного басейну, морських акваторій і прісноводних водойм, порушенням ґрунтового покриву і цінних ландшафтів, водних і лісових ресурсів, зменшенням чисельності корисних видів тварин і рослин.

Енергетика і екологія

Енергетика, концентруючи величезні матеріальні ресурси, переробляючи колосальні паливно-енергетичні ресурси, активно вторгаючись в гідро-, літо- і атмосферу, в стані змінити і вже змінює природне місце існування.

Пізнаючи закони природи і створюючи все більш могутню техніку, швидко зростаюче людство за масштабами свого втручання в природу можна порівняти з планетарними силами.

Спровоковані діяльністю людини екологічні катастрофи не поступаються за масштабом свого руйнівного потенціалу ядерній загрозі. Отже, на сучасному етапі розвитку енергетики вже недостатньо розглядати її взаємодію з екологією на рівні окремих локальних дій. При існуючих масштабах розвитку на базі освоєних технологій неминучим є поширення основних впливів енергетики на великі регіони планети, глобальний характер екологічних проблем енергетики України не є винятком.

В червні 1992 року, за матеріалами роботи багатьох міжнародних організацій і форумів підготували і сформуvalи модель *сталого розвитку країн*, при якій досягається екологічно прийнятне економічне існування.

Три головних взаємопов'язаних проблеми особливо гостро стоять сьогодні перед людством: харчування, енергії та екології. Актуальні вони як для Європи в цілому, так і для України. У цьому ряду особливе місце належить енергетиці, так як від її розвитку багато в чому залежить доля економіки, а отже занепад або процвітання суспільства і, з іншого боку, – стан навколишнього середовища.

Все споживання енергоресурсів прийнято ділити на чотири, приблизно рівні, групи: промисловість, енергетика, транспорт і комунально-побутове споживання. Кількісні співвідношення цих груп можуть бути різними для різних країн, тому для порівняння використовують величину споживання енергоресурсів на душу населення. Для світу в цілому ця величина в даний час становить приблизно 17 тис. кВт год на людину в рік, проте, для країн з різним рівнем економічного розвитку коливається в значних межах. Так, три чверті населення Землі споживають в середньому на одну людину 16 тис. кВт год на рік, а 400 млн людей тільки 750 кВт год на рік. Найбільше споживання енергоресурсів на людину припадає на Сполучені Штати Америки 130 тис. кВт год на рік, на колишній СРСР – близько 100 тис. кВт год, тоді як на Індію – всього близько 4 тисяч.

За оцінками вчених, при нинішніх кліматичних умовах і досягнутому рівні науки і техніки Земля здатна прогодувати 15–20 мільярдів чоловік.

З огляду на те, наскільки велика і всесильна роль енергії, розглянемо її показники як універсальні або близькі до таких, а також критерії науково-технічного розвитку суспільства і його достаток. У макроекономічному аналізі широко використовуються два основних енергетичних критерії – енергоспоживання на душу населення і енергоемність валового національного (внутрішнього) продукту.

Енергетика та біосфера

Технократична діяльність людини призвела до зростання забруднення навколишнього середовища. Близько 80% всіх видів забруднення біосфери обумовлено енергетичними процесами, включи видобуток, переробку, транспорт і використання палива. Екологічна ситуація загострюється на всіх рівнях – глобальному, континентальному, регіональному і локальному.

В атмосферу щорічно викидаються десятки мільярдів тонн діоксину вуглецю та інших газоподібних, пароподібних з'єднань і твердих частинок, в тому числі важких металів, а також радіоактивних, канцерогенних і мутагенних речовин. Антропогенні джерела приносять в атмосферу в 20 разів більше свинцю, ніж всі інші, в першу чергу, з вихлопними газами автомобілів при використанні етилованого бензину. Гранично небезпечними для людини є канцерогенні вуглеводні, що викидаються з вихлопними газами автомобілів і літаків, а також з продуктами спалювання технологічних і енергетичних установок.

В даний час обсяг промислової продукції в світі зростає за кожні 10 років приблизно в 2 рази. Якщо за весь період цивілізації людство використало 80–85 млрд т палива, то половина цього обсягу – за останні 20–30 років. У другій половині ХХ століття значно змінився паливно-енергетичний баланс планети: питома вага нафти – 44%, природного газу – 18%, вугілля – 35%. За оцінкою експертів, всього органічного палива на рівні його використання у 2000 році може вистачити людству приблизно на 150 років. До 2050 р. ~ 90% всіх відомих світових запасів нафти і газу можуть бути вичерпані.

Зараз спалюють щороку близько 2 млрд т вугілля. Цей процес супроводжується викидами в атмосферу мільярдів тон діоксину вуглецю та інших шкідливих речовин. Наземна рослинність і фітопланктон океанів вже не встигають споживати таку кількість діоксину вуглецю. В атмосферу планети в період з 1860 р. по 1990 р., внаслідок спалювання органічного палива, надійшло близько 200 млрд т діоксину вуглецю. Його вміст зріс на 30%, з них 10% – за останні 30 років. При сучасних рівнях спалювання органічних палив вже в 2010 р. щорічні викиди діоксину вуглецю перевищать 10 млрд т. Якщо цей процес триватиме і далі, на Землі виникне загроза «парникового ефекту», при якому атмосфера землі буде безперервно нагріватися. Одночасно зі збільшенням вмісту діоксину вуглецю в атмосфері знижується вміст кисню, відтворення якого відстає від його споживання.

Дедалі вагомішу роль відіграє антропогенне теплове забруднення навколишнього середовища за рахунок теплових втрат енергетики, яке виявляється при мікрокліматичних дослідженнях в мегаполісах і промислово розвинених районах, де температура збільшується на 2–6° С порівняно з приміськими і сільськими районами. Зараз для України воно збільшує середньорічну температуру приповерхневого повітря на 0,03° С, для Франції на 0,1° С, для світу – на 0,005° С. Теплове забруднення в мегаполісах має великі темпи зростання – до 2050 р. воно збільшиться в 8–10 разів.

Тому, кажучи про підвищення температури атмосфери Землі, слід мати на увазі і цю надзвичайно важливу обставину. Розвиток енергетики пов'язано з втратами тепла, під яким розуміють відведення низькотемпературного тепла при виробленні електричної та теплової енергії на теплових і атомних електростанціях станцій (ТЕС і АЕС). Це – прямі втрати енергії первинних енергоресурсів. Чим вони вище, тим більше палива витрачається. Зниження зазначених втрат або підвищення ККД електростанцій, безсумнівно, дозволить знизити темпи зростання, як паливної складової, так і теплового забруднення біосфери.

Однак теплові забруднення навколишнього середовища не тільки результат відведення тепла на ТЕС і АЕС. Енергія всіх

споживаних ресурсів, в тому чи іншому вигляді в кінцевому підсумку перетворюються в низькотемпературне тепло і переходять в біосферу. Будь-яке використання енергії означає перетворення (перехід) її в низькотемпературне тепло. Винятків з цього правила мало, і їх питома вага в загальному масштабі енергопостачання і енергоспоживання дуже незначна. Закон збереження енергії має дотримуватися завжди, а саме стійке положення енергії в земних масштабах - низькотемпературне тепло, під яким мається на увазі температура, близька до температури навколишнього середовища. Таким чином, майже все енергоспоживання переходить в низькотемпературне тепло. А це може порушити тепловий баланс Землі. Багато тисячоліть даний баланс не порушувався. Встановилася тепла рівновага між Землею, Сонцем і Космосом. Все, що Земля отримала від Сонця, частково накопичувалось на Землі, решта випромінювалося в космічний простір. Накопичення відбувалося, в основному, за рахунок природної життєдіяльності на Землі. Накопичена таким чином енергія вміщена у тому органічному паливі, яке зараз добувається і витрачається Людиною.

Тепловий баланс сформував певні кліматичні умови, в яких зародилося життя і розцвіла цивілізація. Порушення встановленого балансу може призвести до зміни як регіональних, так і глобальних кліматичних умов. Таким чином, саме неконтрольоване зростання енерговиробітку і енергоспоживання може стати причиною реального порушення теплового балансу.

В даний час величина світового енергоспоживання становить соті частки відсотка від енергії, одержуваної Землею від Сонця. Якщо ця величина зросте на порядок, температура у поверхні Землі почне різко підвищуватися. Останнє пов'язано з тим, що випромінюється Землею енергія пропорційна температурі її поверхні, зведеної в четверту ступінь. Тому, виокремлення тепла понад кількість, одержуваного Землею від Сонця, веде до зростання температури біля поверхні. Наприклад, збільшення енергоспоживання до 1% від кількості сонячної енергії, яка потрапляє на Землю, спричинить за собою зростання температури

біля поверхні приблизно на $0,7^{\circ}\text{C}$. З урахуванням темпів зростання енергоспоживання, яке має місце в даний час, така ситуація можлива не раніше, ніж через 100 років.

Однак, слід мати на увазі, що коефіцієнт випромінювання Землі в світовий простір величина не постійна, залежна від цілого ряду факторів. Зокрема, випромінювальна здатність залежить від стану і складу атмосфери. Так, запиленість атмосфери знижує радіаційну здатність Землі, але разом з тим знижує надходження енергії Сонця, затримуючи сонячні промені. Аналогічно впливають на тепловий баланс і водяні пари. Вміст в атмосфері вуглекислого газу різко змінює випромінювальну здатність Землі.

Дані явища, які пов'язані з тим, що вуглекислий газ вільно пропускає сонячні промені до Землі, а тепловипромінювання від Землі в космос ускладнює, являють собою «парниковий ефект». За оцінками багатьох вчених зазначені вище темпи зростання вмісту в атмосфері Землі вуглекислоти можуть привести до зростання температури у її поверхні вже на початку XXI століття. Велика кількість вуглекислоти розчинена в водах океану. Відомо, що розчинення вуглекислого газу у воді залежить від температури води: чим нижче температура, тим краще вуглекислота розчиняється в воді. Отже, якщо температура води в світовому океані почне підвищуватися, то це призведе до виділення великої кількості вуглекислоти і збільшенню «парникового ефекту».

Підіб'ємо деякі підсумки сказаного. До чого ж може привести зростання споживання енергоресурсів? На першому етапі, який проходить вже зараз, – це поступова зміна регіональних кліматичних умов життя з поступовим зростанням цих змін за часом. На другому етапі почнуться: помітне зростання середньої температури біля поверхні Землі, істотна зміна регіональних кліматичних умов і повільне підвищення рівня океану. На третьому етапі відбуватиметься швидко зростання температури. Так, якщо від 20 градусів до 40 температура підніметься за 70 – 100 років, то від 40 до 60 градусів температура виросте за 30 років.

Таке збільшення температури спричинить за собою затоплення величезних територій, найбільш освоєних людиною. Будуть втрачені не тільки величезні орні площі, але і багато з того,

що створювалося людством протягом багатьох років і століть: міста, заводи, порти, величезні гідрокомплекси і т. ін. Такі деякі з наслідків енергоспоживання в глобальному масштабі. Їх одних достатньо, щоб звернути особливу увагу на екологічні аспекти енергетики та енергоспоживання. Не менше серйозні і інші шкідливі впливи, такі як забруднення атмосфери пилом, зниження вмісту кисню в ній, забруднення ґрунту, стічних вод і водойм, викиди метану.

Загрозливим стає *стан гідросфери* (води), основи нашого життя. Недарма 80-і роки ХХ століття були оголошені ООН десятиліттям боротьби за чисту воду, потреба в якій різко зростає з ростом енергетики, промислового і сільськогосподарського виробництва. Людство щодня витрачає приблизно 10 млрд т води. Кожна тисяча кіловат потужності теплових електростанцій вимагає мільйони кубічних метрів води в рік. Одночасно з ростом споживання води спостерігається і різке погіршення її якості, що негативно позначається на здоров'ї людини. «Самоочищення» біосфери, яке з давніх пір виручало людину вже не справляється із забрудненням особливо, в глобальному масштабі.

9.2. Погіршення стану біосфери в Україні

Дніпро – найбільша ріка України, третя в Європі після Дунаю і Волги. Його довжина 2201 км, в межах України 981, площа водозбірного басейну 504 тис. кв. км. В нього впадає 32 тис. водотоків – великих і малих, з яких 89 – річки довжиною понад 100 км. Тому все те, що надходить на поверхню землі у вигляді промислових, сільськогосподарських відходів, забруднених атмосферних опадів, обов'язково спливає в Дніпро. Потім всі отруйні речовини по харчових ланцюгах поширюються у докільлі, потрапляють в організм людини.

У Дніпро щорічно скидається від майже 10 тис. підприємств понад 10 куб. км стічних вод, з яких 0,15 без будь-якої очистки – це небезпечні води. Його вода забруднена отруйними хімічними речовинами: сполуками важких і радіоактивних металів, особливо після Чорнобильської катастрофи на АЕС, пестицидами. Че-

рез наявність великих водоймищ швидкість його течії зменшилася, що призвело до майже постійного «цвітіння» води – результат розмноження синьо-зелених водоростей, які виділяють токсичні речовини. Стан Дніпра відображено у затвердженій Верховною Радою України Національній програмі екологічного оздоровлення басейну Дніпра та поліпшення якості питної води, бо забруднення води в басейні Дніпра призвело до порушення природних процесів самоочищення водних об'єктів, що значно ускладнило проблему одержання якісної питної води на водогінних станціях, а «Середньорічна концентрація забруднюючих речовин досягла в Каховському водосховищі: фенолів (канцерогени) – 1–2 ГДК, сполук міді – 6–11 ГДК, цинку 7–12 ГДК».

І далі: «Як показали дослідження, стан водопровідних очисних споруд нині такий, що більшість хімічних сполук з води практично не усуваються, особливо коли їх вміст перевищує гранично допустимі концентрації (ГДК)». «Проблема загострюється тим, що існуючі технології питної води передбачають широке застосування хлору, зокрема для знешкодження продуктів розпаду фітопланктону, внаслідок чого в питній воді утворюється велика кількість токсичних канцерогенних сполук, що мають кумулятивну дію. Неякісна вода є однією з причин того, що в останні роки в Україні спостерігається зростання рівня таких захворювань, як виразкова хвороба шлунка, жовчнокам'яна хвороба, хвороби органів дихання тощо».

Отже через недбале ставлення до цієї водної артерії державного значення, через велику кількість стічних вод низької якості очистки, які скидають промисловий та аграрний комплекси, Дніпро знаходиться на грані екологічної катастрофи.

Уся історія нашого народу пов'язана з цією великою, потужною рікою. Дніпро — і широкий, і могутній, і хвиля його чиста, як сльоза, співається в одній із пісень, яка уславлює цю, без перебільшення, Ріку життя. Та тільки дедалі більше занедажує вона від нашої діяльності, від нерозумного використання, облаштування берегів... Екологи застерігають: резерви самоочищення Дніпра вичерпалися. І його стан уже загрожує не тільки всьому, що знаходить прихисток у водах, а й нам, людям, яким випало жити на його берегах.

ЦЕ ТРИВОЖНЕ попередження прозвучало на так званому Дніпровському форумі. 23 громадські організації, у тому числі Фонд спасіння Дніпра, «Зелений світ», Національний екологічний центр, Центр екологічних експертних об'єднань та інші, оприлюднили на ньому відкрите звернення до керівництва держави: Дніпро вже на межі загибелі!

На цьому ж акцентували увагу у Дніпропетровську вчені під час круглого столу на тему «Сучасні проблеми природокористування, сталого розвитку і безпеки регіонів». Головну доповідь — «Основні напрямки реабілітації екосистем Дніпра» — виголосив директор Інституту природокористування і екології НАН України Аркадій Шапар. Її висновок не менш приголомшливий: «Стан Дніпра критичний, заслуговує на оцінку «системна криза» та потребує негайного пошуку виходу з ситуації...»

До проблеми порятунку найбільшої річки України долучилася громадська рада з проблем екології (з науковців та активістів), яка також звернулася з посланням до Президента, Кабміну і Верховної Ради та до Національної академії наук України, де йдеться про необхідність «термінової реакції на ситуацію, яка склалася з Дніпром і навколо нього». Цитувати цей текст навіть страшно. Якщо в середині минулого століття американський геолог і природознавець Брайан Скіннер попереджав, що процес повної деградації так званих «зарегульованих», як і наш Дніпро, річок займе не більше 200 років, то ми «впоралися» набагато швидше — приблизно за 60 років, якщо за відлік брати початок спорудження Каховського водосховища.

Це надзвичайна ситуація національних масштабів. За даними, які ми мали на кінець минулого століття, так чи інакше споживали або використовували дніпровську воду 30 мільйонів українців. Статистика відтоді не змінилася в бік зменшення. Дніпро загалом забезпечує водою понад дві третини території України — більше ніж півсотні великих і чималих міст та 10 з лишком тисяч підприємств середньої і великої потужності, не рахуючи дрібних, понад сім тисяч нинішніх сільськогосподарських формувань.

НАВАНТАЖЕННЯ на річку колосальне. В першу чергу Дніпро потерпає від забруднення, яке фахівці називають антропогенним, тобто спричиненим людською діяльністю. Офіційно

визнано: щороку в його води потрапляє не менше 900 тисяч тонн тільки твердих відходів. Цього достатньо, щоб забруднити річку понад усі дозволені норми.

Але ж він має басейн із багатьма притоками на зразок Прип'яті, Десни, Ворскли, Самари, Інгульця. Це більше 48% території України, де нині нараховується майже півтори тисячі полігонів та інших місць зберігання і захоронення відходів виробництва і де зосереджено майже 43% каналізаційних споруд. Врешті в притоки Дніпра щороку потрапляють мільйони кубометрів стічних, шахтних та дренажних вод. Причому «новітній» бізнес на питанні збереження довкілля не зважає. Більше половини стоків скидаються зовсім неочищеними, а очищених за всіма нормативами і вимогами маємо лише 10 відсотків.

Чим обертається це для людини? Експерти нагадують: тільки за останнє десятиліття в межах дніпровського басейну сталося 22 спалахи вірусних та бактеріальних інфекцій, причина яких — забруднена вода. Напряму пов'язують із цим усе частіші прояви таких захворювань, як ентероколіти, дизентерія, сальмонельоз, вірусний гепатит тощо.

ЗАРЕГУЛЮВАВШИ Славутич греблями гідроелектростанцій та водосховищами, ми вповільнили течію своєї найбільшої ріки, наплодили безліч майже стоячих мілководь. У результаті прирекли Дніпро ще й на кисневе «голодування». Накопичені вже в значних обсягах водорості та органічні рештки у теплу пору перебувають у бурхливому стані анаеробного розкладання, продукти якого — такі отруйні речовини, як феноли та сірководень. Чи треба казати, чим це обертається для оповитої путами ріки?

Руйнівні процеси, звичайно ж, не обминають поверхневі води. У спекотні літні місяці вони все сильніше страждають від катастрофічного «цвітіння». Нинішні кліматичні зміни для цього явища — як подарунок долі. Хоч не клімат тут у першу чергу винний, а сила-силенна небезпечного бруду у водах Дніпра, що для так званих ціанобактерій, «вибухове» розмноження яких і викликає «цвітіння», навіть не роздолля, а рай. Учені наголошують: якщо ще п'ять років тому в розпал літа сезонним «цвітінням» було охоплено 65–70 процентів акваторій дніпровських «морів», то за останні два-три воно окупувало вже 90–95 відсотків плеса.

За даними Інституту природокористування та екології, на сьогодні втрачено, знищено «під корінь» 80% природних екосистем Дніпра. Скажімо, цінних видів риби в ньому стало вдвічі менше, ніж ще десять років тому. Ланцюгова реакція лиха прискореними темпами поширюється на екосистеми всього басейну. Тільки за останні роки «з рослинного складу тут зникло 25 видів судинних, а близько 40 видів тварин були, якщо не втрачені повністю, то витіснені...».

ЩО Ж ПРОПОНУЮТЬ вчені, активісти екологічних рухів, котрі здійняли загальнонаціональну тривогу, заявивши, що вже нікуди відкладати вирішення питання жити чи не жити Дніпру? Рецепт такий: не жонгливати обіцянками, а, хоч як важко нині країні, невідкладно братися за тяжку та конкретну роботу і крок за кроком «вертати відібране у річки».

Чому згадали про жонгливання обіцянками? Бо ще в лютому 1997-го Верховна Рада схвалила «Національну програму екологічного оздоровлення басейну Дніпра і покращання якості питної води» (постанова № 123/97). Гадаєте, хоча б частину із затвердженого реалізовано? Нічого подібного. Усі строки виконання наміченого минули, а звіту й досі ніхто не заслуховував. З не меншим ентузіазмом схвалено «Загальнодержавну цільову програму розвитку водного господарства і екологічного оздоровлення басейну річки Дніпро на період до 2021 року». І все... змовкло. Може, й згадають перед 2021 роком... До цього варто додати, що майже всі роки своєї незалежності Україна серед тих, хто підписав так звану Водну конвенцію ООН. Однак і досі в наше законодавство, включаючи і Водний кодекс, не внесено її принципів та вимог. Більше того, не напрацьовано й засад, як же займатись їх реалізацією за наших складних умов.

Хтось скаже: сьогодні, мовляв, не знайти коштів на модернізацію підприємств, які буквально паразитують за рахунок Дніпра, на побудову замкнених циклів використання води та інші вартісні екологічні проекти. Справді позбутися радянського промислового забруднюючого спадку навіть завтра ми не зможемо. Потрібні мільярдні затрати. Але ж є й інший бік проблеми. Що заважає по-державному підійти до наведення ладу хоча б у прибережних захисних смугах водних об'єктів і зонах санітарної

охорони джерел водопостачання та водоспоживання в басейні нашої головної ріки? У нас же за потурання влади береги Дніпра, а водночас і майже всіх річок у його басейні, забудовуються «крутими» маєтками, приватними причалами та пляжами, «царськими селами» і тому подібним. Одна річ, що скоро простим смертним до їх берегів не буде як і підступитись, більша біда в іншому — річечки, річки й ріки позбавляють останніх можливостей самовідтворюватися. Особливо, якщо врахувати, що на утримання заповідників та заказників, спроможних зберігати відновлювальні сили водних екосистем, сьогодні коштів не знаходиться.

ОСОБЛИВЕ ставлення нині до проблеми дніпровських «морів». Якщо залишати річку надмір «зарегульованою», то треба якомога швидше дати раду її водосховищам. Інакше вони труїтимуть усе довкіл себе — а територіально це більше ніж пів-України. Розгороджувати греблі, як дехто закликає, — це перелякати Європу і весь світ, передусім країни Чорноморського басейну, «новим Чорнобилем». Оскільки, позбувшись перепон, Дніпро внесе в Чорне море з рукотворних «відстійників» чи не весь непотріб у вигляді фенолів, сірководню, радіонуклідів та інших радіаційних і біогенних «подарунків». Та й собі неабияку халепу створимо, коли дно цих «морів» висохне.

Словом, у Дніпра проблем неміряно. Однак вітчизняна наука досі не націлена на пошуки їх розв'язання. Таких завдань їй ніхто не ставить. Нагадую, попри прогноз Брайана Скіннера, який відводив 200 років на деградацію «зарегульованих» на зразок Дніпра рік, ми з цим «справилися» значно раніше. Тепер прислухаймося до думки дніпропетровського вченого-біолога Володимира Манюка, котрий стверджує, що не менше ніж два століття піде й на те, аби максимально відродити наш Славутич. Але коли розпочнемо цей процес і чи вкладемося у прогнозований строк — велике питання. Невже навіки втратимо могутню ріку?
<http://www.silskivisti.kiev.ua/19229/print.php?n=26542>,
рис. 9.1–рис. 9.8.



Рис. 9.1. Цвітіння води в річці Дніпро,
<http://tyzhden.ua/Gallery/84322/2#gallery>



Рис. 9.2. Масляна пляма у річці Дніпро під Києвом



Рис. 9.3. Десна. Води Десни, порівняно з дніпровськими, містять значно менше органічних сполук, однак вони несуть із собою у Дніпро велику кількість завислих речовин. Це ускладнює роботу водопровідних станцій і призводить до утворення мулових наносів у гирлі річки. Найбільш забрудненою є нижня течія Десни у районі Києва



Рис. 9.4. Дністер. Значна частина забруднюючих речовин у Дністер надходить із території Молдови. Найбільше навантаження на водні ресурси Дністра припадає на Львівську та Івано-Франківську області, де сконцентрована велика кількість промислових підприємств, життєздатність яких забезпечується за рахунок використання вод річки. Найбільш забруднені притоки Дністра у річки Стрв'яз, Саджава, Тисмениця та Сівка, де якість води відповідала 3-му класу помірно забруднена

Стан літосфери (грунту) також стає загрозливим. Чи не малий внесок в цей негативний процес вносить енергетика.



Рис. 9.5. Південний Буг. Поверхневі води річки забруднені здебільше органічними сполуками, залізом загальним та марганцем, що пов'язано із скидом вод підприємств, спекотною погодою та низькою водністю ріки влітку. Показники важких металів у поверхневих водах басейну не перевищували нормативи для вододом господарсько-питного водокористування



Рис. 9.6. Тиса. Стан водних об'єктів басейну річки Тиса у 2012 році, за результатами гідрохімічних вимірювань, порівняно з 2011 роком істотно не змінився. За більшістю загально-санітарних і специфічних показників якості води відповідала вимогам. У деяких пунктах спостережень у 2012 році порівняно з 2011 роком спостерігалось незначне покращення якості води за біохімічним споживанням кисню. Специфічні показники не перевищували фонових значень, не було зафіксоване перевищення важких металів



Рис. 9.7. Моторошне видовище: нереально засмічена річка Боржава в Закарпатті



Рис. 9.8. Загибель риби в Кременчуцькому водосховищі

Практично всі придатні для землеробства місця освоєні людством. З огляду на великі запаси гумусу в чорноземах, підраховано, що кількість запасеної в них енергії в 20 і більше разів вище,

ніж у сумарній біомасі вищих і нижчих рослин, а також тварин цих ландшафтів. За аналогією з запасом в океані теплової енергії, якої теж в 20 разів більше енергії, яка щорічно поступає від Сонця, впливає, що, використовуючи чорноземи, людство живе за рахунок минулих біосфер, як і при використанні органічних копалин типу нафти, газу і вугілля.

Не менш складне становище, ніж з паливом, спостерігається в виробництві сільськогосподарських продуктів, без яких людство просто не може існувати. В сільськогосподарському виробництві головну роль (близько 80%) відіграють зернові, світовий збір яких у 1980 р. склав 1600 млн т. Причому рілля зараз складає більше 14 млн м², або 30% всіх сільгоспугідь, на які, в свою чергу, доводиться близько 1/3 площі суші Землі. За останні п'ятдесят років площа ріллі збільшилася майже в 2 рази, а врожайність зернових – в 1,5 рази. Всієї сільгосппродукції виробляється понад 2000 млн т в рік. При таких темпах, вірогідно можна збільшити продуктивність ще максимум в 3–4 рази, однак подальше зростання буде утруднене через обмеженості площі суші Землі. Цей процес буде болючим для Землі, оскільки доведеться орати всі пристосовані території під рілля і угіддя і застосовувати інтенсивну агротехніку, що безумовно, призведе до серйозної екологічної кризи.

Отже, сучасний стан біосфери (атмо-, гідро-, літосфери) є критичним. Тому потрібні принципово нові рішення щодо екологізації енергетики, транспорту, промисловості і індустріального сільського господарства, які є основними антропогенними забруднювачами.

В чому ж порятунок?

У цьому контексті треба відзначити комплексні заходи, прийняті на міжнародному рівні ООН. До них відносяться наступні.

1. Впорядкування зростання народонаселення. Обмеження його до розумних меж. Наприклад, до зростання народонаселення світу не більше 0,8% в рік, характерного для цивілізованої Європи. В цьому випадку народонаселення світу подвоїться за 86 років, в той час як при сучасному зростанні в 2% воно подвоїється за 36 років.

2. Обмеження зростання видобутку вуглеводневого палива, який не повинен перевищувати 0,3% на рік. В цьому випадку видобуток і користування вуглеводневого палива подвоїться за 230 років і половина кисню атмосфери буде випалена за 1200 років (коли настане кисневе голодування для людей), в той час як при сучасних темпах зростання 0,7% воно подвоюється за 100 років, а половина кисню атмосфери буде випалена за 700 років.

3. Компенсація дефіциту енергії, пов'язана з обмеженням добути природного палива, за допомогою впровадження киснезберігаючих і екологічно чистих видів енергетики: ядерної, водневої, сонячної, вітрової, геотермальної, прибіної, приливної і ін. Важливі заходи з енергозбереження.

4. Оцінка забруднень навколишнього середовища шкідливими токсичними техногенними відходами, зниження їх рівня, а також оцінка техногенного посилення турбулентності в атмосфері ураганів, з якими пов'язані особливо небезпечні для людей стихійні лиха – повені, селі, обвали і т. д.

5. Проведення комплексу фундаментальних досліджень, які науково обґрунтовують і регламентують запропоновані матеріали по глобально-екологічній проблематиці в мережі спеціально створених великих міжнародних науково-дослідних організацій.

Реалізація зазначених процесів вимагає розробки довготермінових державних програм, розрахованих на багато десятків років.

Таким чином, одним з пріоритетних напрямків розвитку України, забезпечення її екологічної безпеки є охорона навколишнього середовища. Коріння екологічної кризи криються в Чорнобильській катастрофі і непомірному техногенному навантаженні, що призвело, в кінцевому підсумку, до різкого зниження асиміляційних і якісних характеристик навколишнього природного середовища. Територія України перенасичена техногенно небезпечними об'єктами. Масштаби забруднення навколишнього середовища ряду регіонів України досягли критичного рівня. Головними забруднювачами повітря, як уже зазначалося, є підприємства енергетики, металургії та транспорту.

Негативні наслідки аварії на Чорнобильській АЕС, катастрофічне забруднення повітря, води та ґрунту, надмірна концентрація промисловості у певних регіонах, нераціональне природокористування, демографічна криза – навіть і цей, далеко не повний перелік негативних чинників, створили реальну загрозу національній безпеці України в екологічній сфері.

Україна за часи соціальних потрясінь 30–40-х років втратила майже 15 млн людей, нині наближається до нової демографічної кризи. Останніми роками в Україні зростають відносні та абсолютні показники смертності населення. Серед розвинених країн світу Україна посідає 2-е місце за рівнем смертності всього населення і 17-е – дитячої. Звертають на себе увагу зміни в структурі хвороб за останні десятиріччя. Поряд зі значним зниженням рівня захворюваності такими недугами, як поліомієліт, дифтеріт, малярія спостерігається зростання випадків захворювань, спричинених вживанням неякісної питної води та продуктів харчування, забрудненим повітрям (гепатит, легеневі, онкологічні хвороби). Таким чином, визначення поняття екологічної безпеки має наступний вигляд.

Екологічна безпека – складова національної безпеки, процес управління системою національної безпеки, за якого державними і недержавними інституціями забезпечується екологічна рівновага і гарантується захист середовища проживання населення країни і біосфери в цілому, атмосфери, гідросфери, літосфери і космосфери, видового складу тваринного і рослинного світу, природних ресурсів, збереження здоров'я і життєдіяльності людей і виключаються віддалені наслідки цього впливу для теперішнього і майбутніх поколінь, http://pidruchniki.com/10290228/politologiya/ekologichna_bezpeka_ukrayini

9.3. Організаційні та еколого-економічні засади використання відновлювальних енергоресурсів

Основними глобальними проблемами сучасності є гарантування екологічної, енергетичної та продовольчої безпеки. Відтак в нинішніх умовах, розвиток відновлювальної енергетики є вкрай актуальною задачею для усіх без винятку країн [23].

Відновлювальні енергоресурси значно рівномірніше розподілені територією планети, порівняно із невідновлювальними. Саме тому, розвиток відновлювальної енергетики здатен сприяти вирішенню низки глобальних проблем сучасності: покращити стан енергозабезпеченості населення, знизити рівень антропогенного навантаження на природне довкілля, зміцнити енергетичну безпеку багатьох країн та лібералізувати міжнародні відносини в сфері енергетики та знизити величину геополітичного впливу постачальників невідновлювальних енергоресурсів [23].

З метою оцінки доцільності заміщення енергоресурсів в умовах малої енергогенерації розглянемо підприємство, яке для забезпечення власних енергетичних потреб використовує невідновлювальний енергоресурс (ЕР) та обладнання для його спалювання. В якості паливного відновлюваного ЕР розглянемо деревинні відходи власного виробництва. Припустимо, що ринкова вартість вживаного обладнання для енергогенерації з використанням невідновлювального ресурсу становить I_n . Потрібний річний обсяг енергії для функціонування підприємства, який забезпечується використанням не відновлюваного ресурсу, становить E_d . Припустимо, що відбувається заміна невідновлювального енергоресурсу відновлювальним (наприклад, деревинними відходами власного виробництва) з одночасним запровадженням обладнання для спалювання цього ресурсу. Нехай вартість такого обладнання дорівнює I_r .

В умовах малої енергогенерації заміщення невідновлювального ресурсу відновлювальним та зведення забруднення до зіставного рівня зумовлює низку економічних заходів, які потрібно врахувати для оцінювання заміщення [23]:

- ефекти, зумовлені різницею вартості заміщуваних ресурсів;
- ефекти, зумовлені впровадженням нового обладнання та вилучення старого;
- витрати на зведення забруднення до зіставного рівня (експлуатаційні та капітальні витрати).

Оцінимо ефекти, зумовлені ціною заміщуваних ресурсів. Нехай p_n та p_r – ціна одиниці не відновлювального та відновлюваль-

ного ресурси; η_n та η_r – коефіцієнти корисної дії установок з енергогенерації, які працюють на невідновлювальному і відновлювальному ресурсах відповідно. Таким чином, обсяги відновлювального ресурсу, потрібні для покриття енергетичних потреб підприємства, можна визначити за формулою:

$$Q_r = \frac{E_d}{\eta_r \cdot \lambda_r}, \quad (9.1)$$

де Q_r – потрібний річний обсяг відновлювального ресурсу, кг; λ_r – питома теплота згоряння відновлювального ресурсу.

Потрібний обсяг не відновлюваного ресурсу визначається за формулою:

$$Q_n = \frac{E_d}{\eta_n \cdot \lambda_n}, \quad (9.2)$$

де Q_n – потрібний річний обсяг невідновлювального ресурсу, кг; λ_n – питома теплота згоряння невідновлювального ресурсу.

Виходячи з (9.1) та (9.2), річна вартість невідновлювального та відновлювального ресурсів, потрібних для покриття енергетичних потреб підприємства, визначаються за формулами:

$$C_n = Q_n \cdot p_n = \frac{E_d}{\eta_n \cdot \lambda_n} \cdot p_n, \quad (9.3)$$

$$C_r = Q_r \cdot p_r = \frac{E_d}{\eta_r \cdot \lambda_r} \cdot p_r, \quad (9.4)$$

де C_n та C_r – річна вартість потрібного обсягу невідновлюваного та відновлювального ресурсів відповідно.

Ефекти, зумовлені різницею вартості заміщуваних ресурсів, визначаються за формулою:

$$E^{p'} = C_n - C_r = E_d \left(\frac{p_n}{\eta_n \cdot \lambda_n} - \frac{p_r}{\eta_r \cdot \lambda_r} \right), \quad (9.5)$$

де $E^{p'}$ – річний економічний ефект, зумовлений різницею вартості заміщуваних енергоресурсів.

Ефект, зумовлений різницею вартості заміщуваних ресурсів, визначений за період, для якого здійснюється оцінка, визначатиметься за формулою:

$$E^P = \sum_{h=1}^T \frac{E_h^{P'}}{(1+d)^h}, \quad (9.6)$$

де E^P – ефект, зумовлений різницею вартості заміщуваних ресурсів, протягом розрахункового періоду заміщення невідновлювальних енергоресурсів відновлювальними;

$E_h^{P'}$ – річний ефект від заміщення невідновлювальних енергоресурсів паливними відновлюваними в році h , зумовлений різницею вартості енергоресурсів;

T – тривалість горизонту оцінки проекту із заміщення енергоресурсу;

d – норма дисконтування;

Перейдемо до оцінки економічних ефектів, які виникають внаслідок заміни енергогенеруючого обладнання. Враховуючи, що вартість деревиноспалюючого обладнання становить I_r , економічні ефекти можна визначити:

$$E^I = I_n - I_r, \quad (9.7)$$

де E^I – економічний ефект від заміщення, який виникає внаслідок заміни енергогенеруючого обладнання.

Наступними ефектами, які виникають у зв'язку із зниженням рівня антропогенного навантаження від використання відновлювальних енергоресурсів, при цьому необхідно врахувати вартість зниження викидів від використання невідновлювальних енергоресурсів (НЕР) до рівня забруднення, яке виникає внаслідок спалювання деревини. Зниження рівня викидів від використання НЕР потребує капітальних затрат на придбання та встановлення обладнання, а також здійснення експлуатаційних затрат для очищення.

Припустимо, що рівень антропогенного забруднення при енергетичному використанні НЕР становить $P_n = (P_n^1, P_n^2, \dots, P_n^k)$, де P_n – інтегральний рівень забруднення, а P_n^i – обсяг викидів i -ї забруднювальної речовини, при використанні НЕР, г/МДж. Нехай рівень забруднення внаслідок використання деревини як енергоресурсу становить $P_r = (P_r^1, P_r^2, \dots, P_r^k)$, де P_r – інтегральний рівень забруднення, а P_r^i – обсяг викидів i -ї забруднювальної речовини, за використанні ВЕР, г/МДж.

Інтегральний рівень забруднення від використання паливного ВЕР P_r визначають таким чином:

$$P_r = \sum_{i=1}^n \left(P_r^i \cdot \frac{\Gamma ДК_E}{\Gamma ДК_i} \right). \quad (9.8)$$

Аналогічно, інтегральний рівень забруднення від використання НЕР P_n визначають за формулою:

$$P_n = \sum_{i=1}^n \left(P_n^i \cdot \frac{\Gamma ДК_E}{\Gamma ДК_i} \right). \quad (9.9)$$

Очищення продуктів горіння НЕР потребує встановлення очисного обладнання. Припустимо, що вартість такого обладнання становить I_c , а поточні експлуатаційні витрати на зниження рівня викидів i -ї забруднювальної речовини – C_c^i .

Оскільки для порівняння рівня забруднення ми використовуємо умовний інтегральний показник рівня забруднення, то відбудеться уловлення всіх надлишкових продуктів горіння до того рівня, щоб інтегральні показники рівня забруднення викидів внаслідок використання НЕР після очищення та ВЕР без очищення були аналогічними.

Тому, якщо виконується умова

$$P_n^i - P_r^i > 0, (i = 1, 2 \dots n), \quad (9.10)$$

експлуатаційні витрати на очищення продуктів горіння НЕР становитимуть:

$$C_c = \sum_{i=1}^n C_c^i \cdot Q_n \cdot \eta_n \cdot \lambda_n \cdot (P_n^i - P_r^i) = \sum_{i=1}^n C_c^i \cdot E_d \cdot (P_n^i - P_r^i), \quad (9.11)$$

де P_r – інтегральний рівень забруднення від використання ВЕР; C_c – річні експлуатаційні витрати на очищення продуктів горіння НЕР до інтегрального рівня забруднення P_r .

Якщо ж умова (9.10) не виконується (тобто за однією чи кількома забруднювачами НЕР є більш екологічно привабливими порівняно із паливним ВЕР), то експлуатаційні витрати на очищення продуктів горіння НЕР можна розрахувати за формулою

$$C_c = \sum_{i=1}^n C_c^i \cdot E_d \cdot \max(0, P_n^i - P_r^i) \cdot \gamma, \quad (9.12)$$

де γ розраховується:

$$\gamma = \frac{\sum_{i=1}^n \left(P_r^i \cdot \frac{\Gamma ДК_E}{\Gamma ДК_i} \right) - \sum_{i=1}^n \left(P_n^i \cdot \frac{\Gamma ДК_E}{\Gamma ДК_i} \right)}{\sum_{i=j=1}^n \left(P_r^i \cdot \frac{\Gamma ДК_E}{\Gamma ЛК_i} \right)}. \quad (9.13)$$

У (9.13) j можна визначити таким чином:

$$i = j, \text{ якщо } P_n^i - P_r^i > 0, \text{ де } i = (1, 2 \dots, n), \quad (9.14)$$

$$i \neq j, \text{ якщо } P_n^i - P_r^i < 0, \text{ де } i = (1, 2 \dots, n). \quad (9.15)$$

Таким чином, ефект, який виникає внаслідок відсутності потреб очищення продуктів горіння від використання паливних відновлювальних ресурсів, розрахований за період, для якого здійснюється оцінка, можна визначити за формулою:

$$E' = I_c + \sum_{h=1}^T \frac{C'_{ch}}{(1+d)^h}, \quad (9.16)$$

де E' – ефект, який виникає внаслідок відсутності потреб очищення продуктів горіння від використання паливних відновлювальних ресурсів;

C'_{ch} – експлуатаційні витрати на очищення продуктів горіння НЕР ло інтегрального рівня забруднення P_r в h -му році.

З огляду на викладені міркування, річний еколого-економічний ефект від заміщення НЕР паливними ВЕР в умовах малої енергогенерації (E^1) можна розрахувати за такою формулою:

$$E^1 = E^p + E^l + E^c, \quad (9.17)$$

де E^p , E^l та E^c в (9.17) розраховуються за формулами (9.6), (9.7) та (9.16) відповідно [23].

9.4. Оцінка економічної ефективності інвестицій

Процес енергозбереження потрібно оцінювати комплексно, враховуючи всі наслідки інвестування: економічні, технічні, екологічні, організаційні, комерційні та інші [108].

Аналіз ефективності зазначених заходів здійснюється з метою визначення їх доцільності або для вибору кращого заходу. Це спричинено тим, що заходи з енергозбереження потребують інвестицій, як правило, досить суттєвих. Крім того, ефективність

заходів оцінюється низкою фінансових показників роботи підприємства, зокрема, собівартістю. Вибір пріоритетних засобів при підвищенні енергоефективності підприємства є складним багатоваріантним завданням, що потребує ефективних критеріїв оцінювання.

Оцінка економічної ефективності інвестицій є найвідповідальнішим етапом у процесі прийняття інвестиційних рішень. Від того, наскільки об'єктивно і всебічно проведена ця оцінка, залежать строки повернення вкладеного капіталу.

Показники, що традиційно використовуються для оцінки економічної ефективності інвестицій, в тому числі і у заходи щодо термомодернізації, можна розділити на дві групи: – без урахування фактору часу; – з урахуванням фактору часу.

Економічна ефективність впровадження інноваційних проектів оцінюється такими показниками:

- прибуток;
- рентабельність;
- період повернення капіталу;
- приведені витрати.

Для визначення **прибутку** від впровадження інвестиційних заходів Π_{en} із загальної величини виділяється та частина прибутку, зміна якої зумовлена впровадженням інноваційного проекту:

$$\Pi_{en} = \Pi_t - \Pi_{0t}, \quad (9.18)$$

де Π_t і Π_{0t} – показники прибутку у t -му році з реалізацією та без реалізації інноваційного проекту.

Рентабельність впровадження інноваційного проекту R (проста норма прибутку) характеризує віддачу на інвестиційну грошову одиницю і є відношенням поточного річного прибутку Π_{en} , за рахунок реалізації проекту, до величини капітальних вкладень (KB) на його реалізацію:

$$R = \Pi_{en} / KB. \quad (9.19)$$

Показник рентабельності використовується для оцінки економічної ефективності впровадження інноваційних проектів з невеликою тривалістю будівництва (1–2 роки) та постійним річним прибутком, витратами і доходами.

Термін окупності інноваційного проекту за своєю економічною суттю – це час, за який кошти, витрачені на його впровадження, відшкодовуються за рахунок одержання додаткового прибутку від економії паливно-енергетичних ресурсів.

Термін окупності $T_{ок}$ визначається як

$$T_{ок} = I/R. \quad (9.20)$$

Білоруська методика [2] при оцінці економічної ефективності інноваційних заходів серед показників без урахування фактору часу пропонує розраховувати лише простий строк окупності:

$$T_n = I/E_{год}, \quad (9.21)$$

де I – капітальні вкладення (або інвестиції) в реалізацію інноваційного заходу (з усіх джерел фінансування); $E_{год}$ – річна економія паливно-енергетичних ресурсів, отримана від реалізації інноваційного заходу (у грошовому вираженні).

Приведені витрати B_n є сумою річних витрат (собівартості) і нормативного прибутку від інноваційного проекту, тобто характеризують нижчу межу вартості, за якої здійснення інвестицій у його впровадження є рівноважним альтернативному вкладенню капіталу з нормативним коефіцієнтом ефективності без врахування фактора часу:

$$B_n = E_n \cdot KB + B, \quad (9.22)$$

де KB – капітальні вкладення; B – поточні щорічні витрати (включаючи амортизаційні відрахування на реновацію); E_n – нормативний коефіцієнт ефективності.

Розрахунок показників другої групи вперше був викладений в «Керівництві з оцінки ефективності інвестицій» (UNIDO – 1978 р.) та зараз набув найбільшого розповсюдження серед економістів всього світу.

Розрахунок критеріїв ефективності інвестиційних проектів, що запропонований цією теорією, базується на таких основних принципах:

1. Оцінка інвестованого капіталу здійснюється на основі показника грошового потоку (cashflow), що складається з суми чистого прибутку та амортизаційних відрахувань в процесі експлуатації інвестиційного проекту.

2. Вартість як капіталу, що інвестується, так і грошового потоку приводиться до нинішньої вартості, або, інакше кажучи, дисконтується. Необхідність виконання цього принципу викликана зміною вартості грошей з часом через інфляцію, ризик інвестування, втрату вкладеним капіталом ліквідності.

Приведення вартості до теперішньої відбувається шляхом множення відповідного значення грошового потоку або суми капіталу, що інвестується у відповідний період часу (місяць, рік), на відповідний коефіцієнт дисконтування, який розраховується за формулою:

$$\alpha = 1/(1+i)^n, \quad (9.23)$$

де α – коефіцієнт дисконтування; i – ставка дисконтування, визначається відповідно до середньої депозитної ставки, темпу інфляції, премії за ризик, премії за низьку ліквідність; n – порядковий номер періоду, якому відповідає розрахунок, з початку реалізації проекту.

3. Вибір диференційної ставки дисконтування в процесі дисконтування грошових потоків для різних інвестиційних проектів. При порівнянні двох інвестиційних проектів з різними ступенями ризику повинні використовуватись різні ставки дисконтування.

4. Вибір бази для встановлення ставки дисконтування відповідно до цілей оцінки. Традиційними показниками оцінки економічної ефективності інвестицій з урахуванням фактору часу є **чиста приведена вартість (NPV), внутрішня норма доходності (рентабельності) (IRR), індекс доходності (прибутковості) (PI) та строк окупності витрат з урахуванням фактору часу (дисконтований строк окупності, дисконтований період окупності) (DPP).**

Чиста приведена вартість (NPV) визначається за формулою:

$$NPV = \sum_{k=1}^n \frac{CF_k}{(1+r_k)^k} - \sum_{j=1}^m \frac{I_j}{(1+i_j)^j}, \quad (9.24)$$

де n – період прогнозування; CF_k – чистий вхідний потік коштів (доходи) на рік, k ; r_k – річна ставка дисконту на рік, k ; m – кількість років, протягом яких планується інвестування

у проєкт; I_j – інвестиції (витрати) на рік, j ; i_j – прогнозований рівень інфляції на рік, j .

Внутрішня норма дохідності (IRR) визначається із співвідношення:

$$\sum_{k=1}^n \frac{CF_k}{(1 + IRR)^k} = I_0, \quad (9.25)$$

де IRR – таке значення ставки дисконтування, при якій поточне значення інвестицій (витрат) дорівнює поточному значенню потоків грошових коштів (доходів) за рахунок інвестицій, або значення показника дисконту, при якому забезпечується нульове значення чистого поточного значення інвестиційних вкладень; CF_k – вхідний грошовий потік (доходи) у рік, k ; I_0 – поточне значення інвестицій; IRR визначається методом ітерацій – методом підбору.

Дисконтований період окупності (DPP) – це період часу від початку інвестування до моменту, коли NPV стає додатнім.

Індекс прибутковості (PI) визначається за формулою:

$$PI = \sum_{k=1}^n \frac{CF_k}{(1 + r_k)^k} / \sum_{j=1}^m \frac{I_j}{(1 + i_j)^j}, \quad (9.26)$$

Методикою передбачено розрахунок всіх чотирьох показників: NPV , IRR , DPP та PI .

9.5. Необхідність прискореного розвитку використання відновлювальних джерел енергії

Отже, характер взаємодії між людством і природою визначається, перш за все, людиною, її впливом на навколишнє середовище. Існуючі моделі розвитку суспільства позначили прямо пропорційну залежність між науково-технічним прогресом (символом благополуччя і благоденства) і споживанням енергії на душу населення. У країнах Західної Європи воно становить понад три умовні тонни вугілля в рік (близько 100 ГДж), в США і Канаді – в три рази вище (~300 ГДж), в більшості країн Африки – в 30–40 разів нижче. Зараз, зробивши черговий виток по спіралі еволюції,

людство вступає в епоху нетрадиційної енергетики. Проблема використання нетрадиційних і поновлюваних джерел енергії (ВДЕ) в різних галузях народного господарства починаючи з другої половини ХХ століття привертає пильну увагу наукової громадськості багатьох країн світу. Такі потрясіння, як енергетична криза 1973 року і Чорнобильська катастрофа 1986 р, змусили більшість країн переглянути свою енергетичну політику щодо темпів і перспектив їх практичного застосування. Більш того, якщо раніше світове суспільство хвилювало питання можливості надійного забезпечення енергією, то в даний час, в умовах постійно зростаючого екологічного навантаження, головною проблемою стала інтеграція енергетики і екології.

Інтерес до ВДЕ, викликаний двома основними причинами (негативними тенденціями розвитку традиційної енергетики) – швидким виснаженням природних ресурсів і забрудненням довкілля. За даними ООН, вже з середини ХХІ століття передбачається виснаження основних видів викопного палива – вугілля і урану (U238). Перспективні технології традиційної енергетики, підвищуючи ефективність використання первинних енергоресурсів (ПЕР), не поліпшують екологічну ситуацію. Теплове, хімічне і радіоактивне забруднення навколишнього середовища може привести до самих катастрофічних наслідків.

Нетрадиційна енергетика – це перетворення і використання енергії Сонця прямими і непрямыми методами. Практично всі енергетичні ресурси Землі є в кінцевому підсумку продуктами діяльності Сонця. Прямі методи використання сонячної енергії засновані на перетворенні енергії радіаційного теплообміну в електричну і теплову. Непрямі – дозволяють використовувати кінетичну і потенційну енергію, які виникають внаслідок сонячного випромінювання з геосферами. До основних нетрадиційних і поновлюваних джерел енергії відносяться: енергія сонця, вітру, тепла Землі (наприклад, парогідротермічна), біомаси (органічні відходи в господарській діяльності людини, енергетичні плантації), океанів і морів (наприклад, припливів і відливів, температурного градієнта), нетрадиційні види гідроенергетики (малих річок, гідроакумулюючих систем), а також вторинні енергетичні ресурси

(теплові відходи промислових і сільськогосподарських підприємств).

Сумарний потенційний внесок усіх ВДЕ в світовій енергетичний баланс вже до кінця 2000 р. склав близько 10%. Обсяг використання окремих видів ВДЕ розподіляється наступним чином (в млн т у.п.): сонячна енергія (на гаряче водопостачання і опалення) – 36; геотермальна енергія – 29; енергія вітру – 7; енергія біомаси – 7; інші види енергії – 7; всього – 86 млн т у.п.

Велика енергетична криза 70-х р. і усвідомлення наслідків Чорнобильської катастрофи зробили свою справу: світова спільнота в цілому шукає «нову енергію», в першу чергу, в напрямку використання. Необхідність і можливість розвитку в Україні цього напрямку обумовлені наступними причинами:

- дефіцитом традиційних для України ТЕР;

- дисбалансом у розвитку енергетичного комплексу України, орієнтовного, по-перше, на централізоване електро- і теплопостачання і, по-друге, на значне (понад 40%) виробництво енергії на АЕС при фактичній відсутності виробництв по одержанню ядерного палива, утилізації та переробці відходів, а також виробництво по модернізації обладнання діючих АЕС (ядерних реакторів, котельного обладнання та т. д.);

- наявністю науково-технічної і промислової бази, придатної для виробництва практично всіх видів устаткування нетрадиційної енергетики;

- сприятливими клімато-метеорологічними умовами для використання основних видів ВДЕ.

Виходячи з географічних, науково-економічних і екологічних чинників, для України доцільно розглядати використання таких ВДЕ, як енергія сонця, вітру, біомаси, малих річок, геотермальна енергія.

Енергетичною стратегією України на період до 2030 року передбачено зростання частки нетрадиційних відновлювальних джерел енергії (НВДЕ) більше як у 7 разів (9,5 млн т н. е.) на період з 2004 по 2020 роки та до 26 разів (19,5 млн т н. е.) на період з 2020 до 2030 р. До 2030 року потреба відновлювальних джерел енергії зросте на 12 відсотків [90]. За прогнозами вчених це буде дорівнювати показникам по ЄС. Технічно досяжний річний

енергетичний потенціал НВДЕ України в перерахунку на умовне паливо становить біля 79 млн т у.п., а економічно досяжний – 57,7 млн т у.п., у тому числі відновлювальних природних джерел енергії – 35,5 млн т у.п., позабалансових (нетрадиційних) – 22,2 млн т у.п., табл. 9.1.

Таблиця 9.1

Поточний та перспективний розвиток в Україні НВДЕ
(млн т у.п. на рік)

Напрями освоєння НВДЕ	Рівень розвитку НВДЕ за роками			
	2005	2010	2020	2030
Позабалансові джерела енергії	13,85	15,96	18,5	22,2
у т. ч. шахтний метан	0,05	0,96	2,8	5,8
Відновлювальні джерела енергії, всього, у тому числі:	1,661	3,842	12,05	35,53
Біоенергетика	1,3	2,7	6,5	9,2
Сонячна енергетика	0,003	0,032	0,284	1,1
Мала гідроенергетика	0,12	0,52	0,85	1,13
Геотермальна енергетика	0,02	0,08	0,19	0,7
Вітроенергетика	0,018	0,21	0,53	0,7
Енергія довкілля	0,2	0,3	3,9	22,7
Всього	15,51	19,83	30,55	57,73

Необхідно зазначити, що для реалізації цієї програми необхідно значний обсяг інвестицій, які за попередніми розрахунками оцінюються в більше як 8 млрд євро.

На підставі вищевказаного, можна зробити висновок про те, що пріоритет розвитку відновлювальних джерел енергії дає додаткові переваги для України, такі як енергетична незалежність, технічне оновлення енергетичного комплексу, зменшення негативного впливу на навколишнє середовище та здоров'я людей, зменшення смертності та аварійних ситуацій, створення нових робочих місць, зменшення викидів парникових газів задля попередження проблеми зміни клімату.

Створення ефективної бази фундаментальних і прикладних наукових досліджень та створення проектно-конструкторської бази для розробки і впровадження нової техніки та

технологій відновлюваної енергетики, удосконалення законодавчо-правової та нормативно-технічної бази відновлюваної енергетики дозволить Україні у найближчій перспективі наблизитися до європейського рівня розвитку НВДЕ [112].

Приклади розв'язання задач

Задача 9.1

Виходячи із результатів технічного огляду будинку, проектом термомодернізації передбачені наступні роботи:

- термомодернізація огорожувальних конструкцій (фасади, покрівля, перекриття над підвалом, вікна) із доведенням до чинних норм з коефіцієнтом $\kappa=1,0$);
- улаштування індивідуального теплового пункту;
- встановлення засобів обліку;
- заміна освітлення (ламп розжарювання) на ефективне із використанням світлодіодних ламп.

Вартість таких заходів прийнята на рівні 1377,405 грн/м².

Розрахувати показники економічної ефективності інвестицій з вихідними даними, що наведені в таблиці 9.2:

Таблиця 9.2

Вихідні дані для розрахунку економічної ефективності інвестицій

Опалювальна площа, м ²	4684
Орієнтовна вартість робіт, грн/м ²	1377,4
Орієнтовна вартість робіт по об'єкту в цілому, грн	$4684 \cdot 1377,4 = 6451765$
Розрахункові витрати теплової енергії за рік, Гкал/рік: до термомодернізації	1330
Після термомодернізації	430
Економія теплової енергії на опалення будівлі після проведення термомодернізації, Гкал	$1330 - 430 = 900$
Вартість 1 Гкал без ПДВ, грн	793
Економія коштів внаслідок проведення термомодернізації, грн	$900 \cdot 793 = 713700$

Розрахунок показників економічної ефективності інвестицій без урахування фактору часу

Дохід за рахунок економії енергоресурсів за опалювальний сезон (Д_т) визначався виходячи зі зменшення витрат тепла на опалення будинку після проведення робіт із термомодернізації, яке

складає 900 Гкал. Таким чином, дохід за рахунок економії енергоресурсів за опалювальний сезон (D_t) становитиме 713700 грн.

Дохід за рахунок економії енергоресурсів при зменшенні тепловтрат після проведення робіт з термомодернізації за строк експлуатації заходів з енергозбереження визначався виходячи із мінімального строку експлуатації заходів з енергозбереження на рівні 25 років:

$$D_{25} = 713700 \cdot 25 = 17\,842\,500 \text{ грн.}$$

Прибуток від реалізації проекту (Π) за період експлуатації заходів з енергозбереження за формулою (9.18) за 25 років) становить:

$$\Pi = D_{25} - Bc = 17\,842\,500 - 6\,451\,765 = 11\,390\,735 \text{ грн,}$$

де Bc – сукупні витрати на реалізацію проекту санації (реконструкції).

Індекс прибутковості ($\Pi\Pi$) становить:

$$\Pi\Pi = 17\,842\,500 / 6\,451\,765 = 2,76 \text{ разів за 25 років.}$$

Строк окупності витрат на здійснення термомодернізації будинку ($C_{ок}$) становить:

$$C_{ок} = 6\,451\,765 / 713700 = 9,2 \text{ років.}$$

Розрахунок показників економічної ефективності інвестицій з урахуванням фактору часу

Розрахунок показників економічної ефективності інвестицій з урахуванням фактору часу зручно виконувати в табличній формі за допомогою Microsoft Excel. Приклад розрахунку NPV та PI наведений в таблиці 9.3, IRR – в таблиці 9.4.

NPV та PI визначені виходячи зі ставки дисконтування 7%. В результаті NPV на 25 рік проекту становить 2447598,7 грн, а PI – 1,38 раз.

Строк окупності витрат з урахуванням дисконтування – це той рік, у якому NPV стало більше нуля. В нашому прикладі – 14 рік.

IRR визначена методом підбору (таблиця 9.4): ставку дисконтування змінювали доти, доки NPV не став умовно дорівнювати нулю – 761,1 це майже нуль порівняно з 2447598,7. В результаті IRR становить 11,53%.

Таблиця 9.3

Розрахунок показників економічної ефективності інвестицій з урахуванням дисконтування

№ з/п	Види грошових потоків	Розподіл грошових потоків за часом (роками), грн												
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1	Витрати (B_t)	6451765												
2	Дисконтовані витрати	6451765												
3	Дисконтовані витрати зростаючим підсумком (B_m)	6451765	6451765	6451765	6451765	6451765	6451765	6451765	6451765	6451765	6451765	6451765	6451765	6451765
4	Дохід (D_t)	713700	713700	713700	713700	713700	713700	713700	713700	713700	713700	713700	713700	713700
5	$1/(1+r)^t$	1.000	0.935	0.875	0.816	0.765	0.713	0.666	0.623	0.582	0.544	0.508	0.475	0.444
6	Дисконтований дохід	713700	667009	623373	582592	544478	508858	075568	444456	415380	388206	362809	3790747	316891
7	Дисконтований дохід зростаючим підсумком	713700	1380709	2004083	2586684	3131153	3640011	4115579	4560036	4975416	5363621	5726430	6065504	6382395
8	Чиста приведена вартість (NPV)	-5738065	-5071056	-4447682	-3865091	-3320612	-2811754	-2336186	-1891729	-1476349	-1088144	-725335	-386261	-69370
9	Індекс прибутковості (PI)	0,11	0,21	0,31	0,40	0,49	0,56	0,64	0,71	0,77	0,81	0,89	0,94	0,99

продовження табл. 9.3

Розрахунок показників економічної ефективності інвестицій з урахуванням дисконтування

№ з/п	Види грошових потоків	Розподіл грошових потоків за часом (роками), грн											
		14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
1	Витрати (B)												
2	Дисконтовані витрати												
3	Дисконтовані витрати зростаючим підсумком (B_m)	6451765	6451765	6451765	6451765	6451765	6451765	6451765	6451765	6451765	6451765	6451765	6451765
4	Дохід (L_t)	713700	713700	713700	713700	713700	713700	713700	713700	713700	713700	713700	713700
5	$1/(1+r)^t$	0.415	0.388	0.362	0.339	0.317	0.296	0.277	0.250	0.242	0.226	0.211	0.197
6	Дисконтований дохід	296160	276785	258578	241755	225939	211158	197344	184434	172368	161091	150553	140704
7	Дисконтований дохід зростаючим підсумком	6678555	6955341	7214018	7455773	7681712	7892870	8090214	8274648	8447016	8608107	8758660	8899364
8	Чиста приведена вартість (NPV)	226790	503576	762253	1004008	1229947	1441105	1638449	1822883	1995251	2156342	2306895	2447599
9	Індекс прибутковості (PI)	1,04	1,08	1,12	1,16	1,19	1,22	1,25	1,28	1,31	1,33	1,36	2,38

Ставка дисконтування (частка од.) 0,07

Таблиця 9.4

Розрахунок внутрішньої норми рентабельності

№ з/п	Види грошових потоків	Розподіл грошових потоків за часом (роками), грн												
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1	Витрати (B)	6451765												
2	Дисконтовані витрати	6451765												
3	Дисконтовані витрати зростаючим підсумком (B_m)	6451765	6451765	6451765	6451765	6451765	6451765	6451765	6451765	6451765	6451765	6451765	6451765	6451765
4	Дохід (D_t)	713700	713700	713700	713700	713700	713700	713700	713700	713700	713700	713700	713700	713700
5	$1/(1+r)^t$	1.000	0.897	0.804	0.721	0.646	0.576	0.520	0.466	0.418	0.375	0.356	0.301	0.27
6	Дисконтований дохід	713700	639918	573763	514447	461263	413578	370822	332486	298114	267295	239662	214885	192671
7	Дисконтований дохід зростаючим підсумком	713700	1353618	1927380	2441827	2903090	3316668	3687490	4019976	4318090	4585385	4825047	5039932	5232603
8	Чиста приведена вартість (NPV)	-5738065	-5098147	-4524385	-4009938	-3548675	-3135097	-2764276	-2431789	-2133675	-1866380	-1626718	-1411833	-1219163
9	Індекс прибутковості (PI)	0,11	0,21	0,30	0,38	0,45	0,51	0,57	0,62	0,67	0,71	0,75	0,78	0,81

продовження табл. 9.4

Розрахунок внутрішньої норми рентабельності

№ з/п	Види грошових потоків	Розподіл грошових потоків за часом (роками), грн											
		14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
1	Витрати (B)												
2	Дисконтовані витрати												
3	Дисконтовані витрати зростаючим підсумком (B_{zn})	6451765	6451765	6451765	6451765	6451765	6451765	6451765	6451765	6451765	6451765	6451765	6451765
4	Дохід (D_t)	713700	713700	713700	713700	713700	713700	713700	713700	713700	713700	713700	713700
5	$1/(1+r)^t$	0.242	0.217	0.195	0.174	0.156	0.140	0.126	0.113	0.101	0.091	0.081	0.073
6	Дисконтований дохід	172757	154893	138880	124523	111649	100107	89758	80479	72159	64699	58010	52013
7	Дисконтований дохід зростаючим підсумком	5405355	5560248	5699128	5823651	5935300	6035407	6125165	6205644	6277803	6342502	6400513	6452526
8	Чиста приведена вартість (NPV)	-1046410	-891517	-752637	-628114	-516465	-416358	-326600	--246121	-173962	-109263	-51252	761
9	Індекс прибутковості (PI)	0,83	0,86	0,88	0,90	0,92	0,93	0,95	0,96	0,97	0,98	0,99	1,00

IRR (частка од.) = 0,1153

Це означає, що будь-який проект, який забезпечує дохідність вищу, ніж 11,53% річних, відповідно буде вигіднішим. Також цей показник означає, що вартість залучених коштів (кредитна ставка) не може бути вищою, ніж 11,53%.

Зведена інформація про розраховані показники економічної ефективності інвестицій представлена в таблиці 9.5.

Таблиця 9.5

Показники економічної ефективності інвестицій в енергозбережні заходи

Чиста приведена вартість (NPV), грн	2447598,5
Індекс прибутковості з урахуванням дисконтування (PI), частка од	1,38
Внутрішня норма дохідності (IRR), %	11,53
Строк окупності витрат з урахуванням дисконтування (DPP), років	14

Контрольні питання

1. Що означає термін «енергія»?
2. Що означає термін «енергетика»?
3. Які типи установок використовують в енергетиці?
4. Що означає термін «екологія»?
5. Які два фундаментальні закони знаходяться в центрі уваги сучасної екології?
6. З якими технологічними і соціальними категоріями пов'язана екологія?
7. Якими питаннями займається прикладна екологія?
8. Що вивчає інженерна екологія?
9. Що розуміють під поняттям «довкілля»?
10. Що включає в себе поняття «забруднення»?
11. Які середовища піддаються забрудненню?
12. Що є джерелом забруднення води?
13. Чим забруднюється повітря?
14. Чим забруднюються ґрунти?
15. Які основні компоненти біосфери?
16. Що таке продуценти, консументи, редуценти?
17. Що є єдиним джерелом енергії планети Земля?

18. Які основні круговороти речовин відбуваються в біосфері?
19. Як утворюється хлорофіл і кисень?
20. Що таке біосфера з погляду В. І. Вернадського?
21. Що є основними компонентами біосфери згідно вчення В. І. Вернадського?
22. Який характер має сучасний антропогенний вплив на навколишнє середовище?
23. Який масштаб втручання енергетики в навколишнє середовище?
24. Які три проблеми сьогодні стоять перед людством?
25. Яке середнє споживання енергоресурсів на душу населення в світі?
26. Скільки населення при нинішніх кліматичних умовах здатна прогодувати Земля?
27. Яка частка всіх видів забруднень зв'язана з енергетичними процесами?
28. На яких рівнях загострюється екологічна ситуація?
29. На скільки зріс викид CO₂ в атмосферу за останні 50 років?
30. На скільки збільшиться зростання температури біля поверхні землі, якщо споживання сонячної енергії зросте на 1% від її кількості?
31. З яких причин виникає «парниковий ефект»?
32. Чи справляється процес «самоочищення» з відновленням біосфери?
33. Скільки стічних вод за рік скидається в ріку Дніпро?
34. Що обумовило «цвітіння» водосховищ ріки Дніпро?
35. Яка концентрація забруднюючих речовин в Каховському водосховищі?
36. Яка кількість населення споживає Дніпровську воду?
37. Скільки стічних вод скидається в ріку Дніпро очищеними?
38. За рахунок чого забезпечена родючість чорноземів в землеробстві?
39. В чому є порятунок від критичного стану в біосфері?

40. Які галузі народного господарства є головними забруднювачами?
41. Які виробництва треба створювати в Україні, щоб атомна енергетика була незалежною?
42. Що розуміється під визначенням «екологічна безпека»?

ЛІТЕРАТУРА

1. Даковські М., Вянцковські С. В. Про енергетику для споживачів та скептиків. Львів : ЕКОінформ, 2007. 176 с.
2. Сухоцкий А. Б., Фарафонов В. Н. Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии: курс лекций для студентов специальности 1-43.01.06 «Энергоэффективные технологии энергетический менеджмент. Минск : БГТУ, 2009. 246 с.
3. Боблях С. Р., Мельничук В. С., Мельник В. С., Ігнатюк Р. М. Відновлювальні джерела енергії : монографія. Луцк : Волинський національний університет ім. Лесі Українки. 2012. 227 с.
4. Енергозбереження. Альтернативні та нетрадиційні джерела енергії : практич. посіб. Для керівників бюджетних установ, співвласників багатоквартирних будинків, населення. Львів, 2008. 183 с.
5. Германович В., Турилін А. Альтернативные источники энергии. Практические конструкции по использованию энергии ветра, солнца, воды, земли, биомассы. СПб : Наука и Техника, 2011. 320 с.
6. Лабейш В. Г. Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии : учебн. пособие. СПб. : СЗТУ, 2003. 79 с.
7. Щербина О. Енергія для всіх: технічний довідник з енергоощадності та відновних джерел енергії. Ужгород : Вид-во Падеяка, 2007. 340 с.
8. Будинок «нуль» енергії... тому що Земля і Сонце не виставляють рахунки : зб. статей / укладач О. Б. Денис. Вид. 4-е допов. Львів : ЕКОінформ, 2009. 336 с.
9. Енергозбереження і енергоефективність 1. Конспект лекцій для студентів напрямку підготовки 6.050802 «Електронні пристрої та системи» / укладач: Вербицький Є. В. К. : НТУУ «КПІ», 2014. 105 с.
10. Кудря С. О. Нетрадиційні та відновлювальні джерела енергії : підруч. К. : НТУУ «КПІ», 2012. 492 с.
11. Титко Р., Калініченко В. Відновлювальні джерела енергії. (Досвід Польщі для України). Варшава-Краків-Полтава, 2010. 533 с.

12. Кудря С. О., Будько В. І. Вступ до спеціальності. Нетрадиційні та відновлювані джерела енергії : курс лекцій. К. : ГТУУ «КПІ», 2013. 387 с.

13. Нараєвський С. В. Класифікація традиційних та альтернативних джерел і технологій отримання енергії. *Економічні науки. Сер. Економіка та менеджмент* : зб. наук. Праць / Луцький національний технічний університет. Луцьк, 2012. Вип. 9 (34). Ч. 1. С. 255–269.

14. Кондратьев К. Я., Пивоварова М. П., Федорова М. П. Радиационный режим наклонных поверхностей. Л. : Гидрометеоздат, 1978. 170 с.

15. Шаповал С. П., Вознюк О. Т. Математичне моделювання надходження сонячної енергії на потрібно-орієнтовану систему сонячних колекторів. *Науковий вісник НЛТУ України*. Вип. 20.10. К., 2010. С. 313–316.

16. Бринкворт Б. Дж. Солнечная энергия для человека / пер. с англ. В. Н. Оглоблева ; под ред. и с. предисл. В. В. Таринжевского. М. : Мир, 1976. 291 с.

17. Харченко Н. В. Индивидуальные солнечные установки. М. : Энергоатомиздат, 1991. 208 с.

18. Твайделл Дж., Уэйр А. Возобновляемые источники энергии / пер. с англ. М. : Энергоатомиздат, 1990. 392 с.

19. Вікіпедія: Сонячна стала. URL: <https://uk.wikipedia.org>. (дата звернення: 10.10.2022).

20. Щур І. З., Климко В. І. Прогнозування ефективності роботи фотоелектричних панелей у місті Львові. *Вісник національного університету «Львівська політехніка». Електроенергетичні та електромеханічні системи*. 2014. № 785. С. 88–94.

21. Прогрес 21. Нові енергетичні системи: Розрахунок потоку сонячної радіації. URL: www.progress21.com.ua. (дата звернення: 10.10.2022).

22. АЕЕ. Інститут сталих технологій – Гляйсдорф. Київ, 2015.

23. Прокіп А. В., Дудюк В. С., Колісник Р. Б. Організаційні та еколого-економічні засади використання відновлюваних енергоресурсів : монографія. Львів : ЗУКЦ, 2015. 337 с.

24. Щур І. З., Клямко В. І. Прогнозування ефективності роботи фотоелектричних панелей у місті Львові / Національний університет «Львівська політехніка», кафедра ЕПК. 2014. С. 87–94.

25. Прогрес 21. Нові енергетичні системи: Розрахунок потоку сонячної радіації. URL: www.progress21.com.ua. (дата звернення: 10.10.2022).

26. Використання сонячної теплової енергії в промисловості. Крістоф Брюнер, Юдит Бухмайер, Юрген Флюш, Беттіна Мюстер-Славич / пер. Кушнеренко О. В., редактор перекладу Пепелов О. В., редактор серії к.б.н. Щербак С. Д. Glaisdorf.

27. Нетрадиционная энергетика: ресурсы, техника, экономика, экология. *Современные проблемы нетрадиционной энергетики* : сб. научных трудов по материалам Международной конференции / под ред. чл.- кор. РАН Ю. С. Васильева. С.-П. : из-во СПбГТУ, 1996. 126 с.

28. Рей Д., Макмайкл Д. Тепловые насосы / пер. с англ. М. : Энергоиздат, 1982. 224 с.

29. Безродний М. К., Пуховий І.І., Кутра Д. С. Теплові насоси та їх використання : навч. посіб. К. : НТУУ «КПІ», 2013. 312 с.

30. Горшков В. Г. Тепловые насосы. Аналитический обзор. *Справочник промышленного оборудования*. Нижний Новгород, 2004. № 2 сентябрь-октябрь. С. 47–80.

31. Янтовская Е. И., Левин Л. А. Промышленные тепловые насосы. *Экономия топлива и электроэнергии*. М. : Энергоатомиздат, 1989. 128 с.

32. Трубаев П. А., Гришко Б. М. Тепловые насосы : учеб. пособие. Белгород, Изд-во БГТУ, 2010. 143 с.

33. Янтовский Е. И., Пустовалов Ю. В. Парокомпрессионные теплонасосные установки. *Экономия топлива и электроэнергии*. М. : Энергоиздат, 1982. 144 с.

34. Васильев Г. П. Теплохладоснабжение зданий и сооружений с использованием низкопотенциальной тепловой энергии поверхностных слоёв земли : монография. М. : Издательский дом «Граница». 2003. 176 с.

35. Григоров В. Г., Нейман В. К., Чураков С. Д., Семенов Л. Г., Пресич Г. А. Утилизация низкопотенциальных тепловых вторичных ресурсов на химических предприятиях. *Экономия топлива и электроэнергии*. М. : Химия, 1987. 239 с.

36. Луканин П. В. Технологические энергоносители предприятий (Низкотемпературные энергоносители) : учеб. пособие. ГОУВПО СПбГТУРП. СПб., 2009. 116 с.

37. Галимова Л. В. Абсорбционные холодильные машины и тепловые насосы : учеб. пособие для спец. «Техника и физика низких температур». Астрахан. Гос. тех. Ун-т. Астрахань : Из-во АГТУ, 1997. 226 с.

38. Дан П.Д., Рей Д. А. Тепловые трубы / пер. с англ. М. : Энергия, 1979. 272 с.

39. Все о тепловых насосах! Проектирование, продажа, монтаж, обслуживание. Stiebel Eltron, Германия. 121 с.

40. Руководство по применению тепловых насосов с использованием вторичных энергетических ресурсов и нетрадиционных возобновляемых источников энергии. М. : ОАО «ИНСОЛАР-ИНВЕСТ», 2001. 31 с.

41. Конеченков А. Е., Матвеев Ю. Б. Ветроэнергетика Украины. *Факты и комментарии*. Киев, 2001. 16 с.

42. Москалюк И. С. Применение ветронасосных установок в сельском хозяйстве Молдавии. Кишинев : Картя молдовеняскэ, 1973. 84 с.

43. Яхно О. М., Таурит Т. Г., Грабар И. Г. Ветроэнергетика: конструирование и расчет ВЭУ : учеб. пособие. Житомир : ЖГТУ, 2002. 255 с.

44. Ветроэнергетика / под ред. Д. де Рензо ; под ред. Я. И. Шефтера, пер. с англ. М. : Энергоатомиздат, 1982. 272 с.

45. Шефтер Я. И. Использование энергии ветра. М. : Энергоатомиздат, 1983. 200 с.

46. Кривцов В. С., Олейников А. М., Яковлев А. И. Неисчерпаемая энергия : учебник. *Ветроэлектрогенераторы*. Харьков : Нац. аэрокосм. ун-т «Харьков. авиац. Ин-т», Севастополь : Севаст. Нац. Техн. Ун-т, 2003. Кн. 1. 400 с.

47. Кривцов В. С., Олейников А. М., Яковлев А. И. Неисчерпаемая энергия : учебник. *Ветроэлектрогенераторы*. Харьков :

Нац. аэрокосм. ун-т «Харьков. авиац. Ин-т», Севастополь : Севаст. Нац. Техн. Ун-т, 2004. Кн. 1. 519 с.

48. Кармишин А. В. Ветер и его использование. М.–Л. : Гостехиздат, 1951. 66 с.

49. Обзор рынка ветроэнергетики Украины. Украинская ветроэнергетическая ассоциация (УВЭА). 2013.

50. Ветроэлектрические станции : монография / А. В. Квитко, О. В. Григораш, А. Ю. Попов, О. Я. Ивановский, А. С. Туаев. Краснодар : КубГАУ, 2017. 192 с.

51. Потапов В. М., Ткаченко П. Е., Юшманов О. А. Использование водной энергии : учеб. пособие. М. : Колос, 1972. 343 с.

52. Использование водной энергии : учеб. пособие для вузов / под ред. Д. С. Щавелева. Л. : Энергия, 1976. 656 с.

53. Гидроэлектрические станции : учеб. для вузов. Н. Н. Аршеневский, М. Ф. Губин, В. Я. Карелин и др. / под ред. В. Я. Карелина, Г. И. Кривченко. Энергоатомиздат, 1987. 464 с.

54. Самойленко Є. Г. Основи проектування гідроенергетичних вузлів : підручник. Запоріжжя, ЗДІА, 2011. 388 с.

55. Кудін С. Н., Подгорінов А. Л., Хилобоченко Л. С. Малі гідроелектростанції Української РСР. Київ : Держбудвидав УРСР, 1960. 160 с.

56. Малая гидроэнергетика / Л. П. Михайлов, Б. Н. Фельдман, Т. К. Марканова и др. ; под ред. Л. П. Михайлова. Энергоатомиздат, 1989. 184 с.

57. Карелин В. Я., Волшаник В. В. Сооружения и оборудование малых гидроэлектростанций. М. : Энергоатомиздат, 1986. 200 с.

58. Гидроэнергетическое и вспомогательное оборудование гидроэлектростанций : справочное пособие : в 2 т. / под ред. Ю. С. Васильева, Д. С. Щавелева. *Основное оборудование гидроэлектростанций*. М. : Энергоатомиздат, 1988. Т. 1. 400 с.

59. Гидроэнергетическое и вспомогательное оборудование гидроэлектростанций : справочное пособие : в 2 т. / под ред. Ю. С. Васильева, Д. С. Щавелева. *Вспомогательное оборудование гидроэлектростанций*. М. : Энергоатомиздат, 1990. Т. 2.

336 с.

60. Самойленко С. Г. Гідроенергетичне обладнання гідро- та гідроакумулюючих електростанцій : підручник. Запоріжжя : Видавництво ЗДІА, 2008. 410 с.

61. Введение в специальность гидроэлектроэнергетика : учеб. пособие / сост. В. Б. Затеев. Саяногорск : СШФ СФУ, 2007. 156 с.

62. Насосы и гидротурбины : профессиональный каталог. ЗАО «ЭНЕРГОМАШ (Сысерть) УРАЛГИДРОМАШ». Сысерть, 2010. 202 с.

63. ДСТУ 2842-94. Турбіни гідравлічні. Терміни та визначення. Київ : Держстандарт України, 1995. 35 с.

64. Кривченко Г. И. Гидравлические машины. Турбины и насосы : учебник для вузов. М. : Энергоиздат, 1983. 320 с.

65. Проектування малої гідроелектростанції на Печенізькому водосховищі. URL: www.bestreferat.ru/referat-197881.html (дата звернення: 10.10.2022).

66. ДСТУ 2892-94. Турбіни гідравлічні. Терміни та визначення. Держстандарт України. Київ. 1994. 35 с.

67. Методичні вказівки до виконання практичних завдань, розрахунково-графічної роботи та самостійної роботи з дисципліни «Малі гідроелектростанції» для студентів спеціальності 7,05060201, 8.05060201 «Гідроенергетика» денної та заочної форм навчання / упорядник Філіпович Ю. Ю. Рівне : НУВГП, 2014. 28 с. URL: <http://ep3.nuwm.edu.ua/id/eprint/1354> (дата звернення: 10.10.2022).

68. Заключний звіт про науково-дослідну роботу «Розроблення рекомендацій щодо шляхів зменшення сірководневого забруднення чорного моря та можливості використання цього сірководню». Український науково-дослідний інститут екологічних проблем (УкрНДІЕП). Науковий керівник В. Кресін. Харків, 2009. 72 с.

69. «Глибинний лід» на дні Чорного моря: а раптом він почне танути?... Ганна Лук'янова. URL: <https://www.dw.com/uk> (дата звернення: 10.10.2022).

70. Виробництво водню з сірководню Чорного моря. 2010. URL: <http://uahe.net.ua/ukrainian-projects/326-virobnitstvo-vodnyu-z-sirkovodnyu-chornogo-morya.html> (дата звернення: 10.10.2022).

71. Михайлюк О. Л. Перспективи використання енергетичного потенціалу сірководню Чорного моря. *Науковий вісник, ОНЕУ*, 2012. № 21 (173). С. 91–100.

72. Кудря С. О., Бudyко В. І. Вступ до спеціальності. Нетрадиційні та відновлювальні джерела енергії : курс лекцій. К. : НТУУ «КПІ». 2013. 387 с.

73. Підготовка проектних пропозицій із чистої енергії : практичний посіб. / під загальною редакцією Тормосова Р. Ю., Романюк О. П., Сафуліної К. Р. К. : ТОВ «Поліграф плюс», 2016. 178 с.

74. Біопалива (технології, машини і обладнання) / В. О. Дубровин, М. О. Корчемний, І. П. Масло та ін. К. : ЦПТ «Енергетика і електрифікація», 2004. 256 с.

75. Все про біомасу : науково-популярне видання / укладачі Берташ Б. М., Галуха В. Л., Микитін Т. М. Рівне : Громадська організація «Рівненській центр маркетингових досліджень», 2011. 36 с.

76. Виробництво і використання біопалив в агроекосистемах. Механіко-технологічні основи: монографія / Голуб Г. А., Кухарець С. М., Чуба В. В., Марус О. А. К. : НУБіП України, 2018. 2018. 254 с.

77. Напрями розвитку альтернативних джерел енергії: акцент на твердому паливі та гнучких технологіях його виготовлення : монографія / О. С. Полянський, О. В. Дьяконов, О. С. Скрипник та ін. ; за заг. ред. В. І. Дьяконова. Харків. Нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова. Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2017. 136 с.

78. Отопление пеллетами. Фірма HARGASSNER. Heiztechnik MIT Zukunft. 29 с. (Великобританія).

79. Биомасса. Агентство з відновлюваної енергетики. URL: <http://www.rea.org.ua/dieret/Biomass/biomass.html> (дата звернення: 10.10.2022).

80. Практичний посібник з використання біомаси в якості палива у муніципальному секторі України (для представників державних та комунальних установ): Розвиток та комерціалізація біоенергетичних технологій у муніципальному секторі України: Програма розвитку ООН. Київ, 2017. 63 с. URL: www.ua.undp.org, www.bioenergy.in.ua (дата звернення: 10.10.2022).

81. Ткаченко С. Й., Степанов Д. В., Боднар Л. А. Котельні установки. Вінниця : ВНТУ, 2016. 189 с.

82. Вовчак В., Тесленко О., Самченко О., Сушкова Д. Кращі з доступних технологій для житлово-комунального господарства України: Керівництво з відбору проектних технологій для житлово-комунального господарства України. Проект USAID «Муніципальна енергетична реформа» / под ред. С. Єрмілова Київ : Поліграф плюс, 2016. 136 с.

83. Відновлювальні джерела енергії. Вирощування біомаси : науково-популярне видання. Рівне : Громадська організація «Рівненський центр маркетингових досліджень», 2011. 28 с.

84. Эффективные системы и возобновляемые источники энергии. *Форум по технологиям и источникам энергии*. ISH Frankfurt am Main 12/ 16.3.2013. Energy. 103 с.

85. Бокрис Дж. О'М., Везироглу Т. Н., Смит Д. Л. Солнечно-водородная энергия. Сила, способная спасти мир / пер. с англ. Д. О. Дуникова. М. : Издательство МЭИ, 2002. 164 с.

86. Канарев Ф. М. Электролиз воды. 44 с. URL: <http://kubargo.ru/science/prof.php?kanarev> (дата звернення: 10.10.2022).

87. Кричевский Г. Е. Нанотехнологии в современной энергетике и энергетике будущего. 26 с. URL: <http://www.nanonewsnet.ru/article/2015/nanotekhnologii-v-sonrem>. (дата звернення: 10.10.2022).

88. Солнечно-водородная энергетика. 23 с. URL: <https://metallurgy.zp.ua/solnechno-nodorodnaya-energetika/> (дата звернення: 10.10.2022).

89. Козин Л. Ф., Волков С. В. Водородная энергетика и экология : проект «Новая книга». Киев : Наукова думка, 2002. 336 с.

90. Шот А. Світові тенденції та перспективи розвитку нетрадиційних та відновлювальних джерел енергії в Україні. URL: www.irbis-nbuv.gov.ua > [irbis_nbuv](http://www.irbis-nbuv.gov.ua) > [cgiirbis_64](http://www.irbis-nbuv.gov.ua) (дата звернення: 10.10.2022).

91. Неисчерпаемая энергия. URL: <https://library.khai.edu/ua/shows/neischerpaemaya-energiya> (дата звернення: 10.10.2022).

92. Лосев К. С. Вода. Ленинград : Гидрометеиздат, 1989. 272 с.

93. Кульский Л. А., Даль В. В., Ленчина Л. Г. Вода знакомая и загадочная. Киев : Рад. школа, 1982. 120 с.

94. Брызгалов В. И. Из опыта создания и освоения Красноярской и Саяно-Шушенской гидроэлектростанций : монография. Производственное издательство, 1998. 562 с.

95. Герасимов Г. Г. Гідравлічні та аеродинамічні машини : підручник. Рівне : НУВГП, 2008. 241 с.

96. Панькевич А. Г. Курсова робота з дисципліни «Екологічна безпека» на тему «Забезпечення екологічної безпеки шляхом використання сонячних батарей». Вінниця : ВНТУ, 2015. 26 с.

97. Мартынов А. В. Установки трансформации тепла и охлаждения. Сборник задач : учеб. пособие для вузов. М. : Энергоатомиздат, 1989. 200 с.

98. Соколов Е. Я., Бродянский В. М. Энергетические основы трансформации тепла и процессов охлаждения. М. : Энергоиздат, 1981. 320 с.

99. Методичні рекомендації до практичних занять з навчальної дисципліни за вибором ВНЗ «Альтернативні джерела енергії» для студентів денної форми навчання напрям підготовки 6,04106 «Екологія, охорона навколишнього середовища та збалансоване природокористування». Донецьк : ДНТУ, 2016. 53 с.

100. Сибикин Ю. Д., Сибикин М. Ю. Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии. М. : КНОРУС, 2012. 232 с.

101. Методичні вказівки до практичних занять з курсу «Відновлювані джерела енергії» для підготовки студентів напряму 6.050701 електротехніка та електротехнології всіх форм навчання. Тернопіль : ТНТУ ім. Пулюя, 2012. 64 с.

102. Определение параметров поперечно-струйной турбины. URL:

https://studbooks.net/2058314/matematika_himiya_fizika/opredelenie_konstruktivnyh_parametrov_poperechno_struynoy_turbiny (дата звернення: 10.10.2022).

103. Сд 08. Возобновляемые источники энергии : методические рекомендации к практическим занятиям. Специальность 218042 Природообустройство территорий. Уфа : БГАУ, 2013. URL: <https://studfile.net/preview/4257930/> (дата звернення: 10.10.2022).

104. Гвоздевич О., Подольский М., Кульчицька-Жигайло. Інноваційне використання місцевих енергетичних ресурсів. Львів : Тріада Плюс, 2013. 32 с.

105. Скороход В. В. Водень в альтернативній енергетиці та новітніх технологіях. Стенограма наукової доповіді на засіданні Президії НАН України 16 березня 2016 року. *Visn. Nac. Acad. Nauk Ukr.* 2016. № 6. С. 38–44. URL: <http://dspace.nbuiv.gov.ua/bitstream/handle/123456789/104831/08-Skorokhod.pdf?sequence=1> (дата звернення: 10.10.2022).

106. Константінов С. М., Луцик Р. В. Збірник задач з технічної термодинаміки : навч. посіб. К. : ІВЦ Видавництво-Політехніка, 2002. 380 с.

107. Водневі автомобілі V5 електромобілі. Економічна правда. URL: <https://www.epravda.com.ua/projects/greendeal/2020/06/8/661380/> (дата звернення: 10.10.2022).

108. Енергоефективність в муніципальному секторі : навч. посіб. для посадових осіб міського самоврядування / А. Максимов, І. Вахович, Т. Гутніченко та ін. Асоціація міст України. Київ : ТОВ «Підприємство «ВІ ЕНЕЙ», 2015. 184 с.

109. Ткач О. П. Наноматеріали і нанотехнології в приладобудуванні : навч. посіб. Суми : Сумський державний університет, 2014. 127 с.

110. Балоян Б. М., Колмаков М. И., Альимов М. И. Кротов А. М. Наноматеріали. Классификация, особенности свойств, применение и технологи получения. М. : Международный университет природы, общества и человека «Дубна» филиал «Угреша», 2007. 125 с.

111. Відновлювана енергетика та енергоефективність у промисловості. Держенергоефективності за підтримки Агенства США з міжнародного розвитку (USAID). 2017. 20 с.

112. Відновлювані джерела енергії : монографія / за заг. редакцією С. О. Кудрі. Київ : Інститут відновлюваної енергетики НАНУ, 2020. 392 с.

ПРЕДМЕТНИЙ ПОКАЖЧИК

Даний покажчик адресує читача до тих сторінок посібника, де можна знайти відомості по суті теми рубрики і підрубрики. Числа – номери сторінок.

Якщо рубрика являє собою сполучення прикметника і іменника, застосовується інверсія – іменник поставлено на перше місце, оскільки це полегшує пошук.

- А**
- Абсорбер 57
 - Азимут 34, 37
 - Анемометри 112
 - Антенна-осцилятор 381
 - Антициклон 109
 - Антропогенний вплив на навколишнє середовище 413
 - Атомно-воднева енергетика 343
- Б**
- Баричний градієнт 109
 - Башта абсорбера 58
 - Баштовий концентратор 58
 - Блок перетворення енергії 258
 - Бортовий акумулятор водню 370–372
 - Бронежилет 381
 - Будова Землі 73
 - Бутанол (бутиловий спирт) 271
- В**
- Вартість нанолaboratorії 386
 - Вежа сонячна 60
 - Безпека вітрогенераторів 150
 - Біоводень 13
 - Біогаз 10, 263, 279
 - Біогазові установки 264
 - на твердих побутових відходах 264,
 - на сміттєзвалищах 264
 - Біодизель 13, 263, 276
 - Біотанол 10, 262, 267
 - Біомаса 258
 - Біометанол 270
 - Біопаливо 10, 266
 - Біосфера 409, 410
 - БіоТЕС 209, 311
 - Виготовлення деревинних гранул (пелет) 303
 - Використання енергії 230,
 - хвиль 230,
 - сірководень Чорного моря 245–249,
 - біомаси 300
 - Використання кремнію як енергетичного акумулятора речовини (ЕАР) 361
 - Використання теплової енергії океану 239
 - Випромінювання 18, 29

Випромінювання полум'я водню 317
Виробництво водню 319, за допомогою атомної енергії 319,
Висота Сонця 34
Віндрази 131
Вітер 104, 109
Вітрогенератори 120,
- ортодоксальні 122,
- Савоніуса 123,
- Дар'є 123,
- гелікоїдні 124,
- Ленця 115,
- багатолопатеві 121,
- Оніпка 123, 127
Вітроенергетика 110, 407
Вітропарки України 84
Вітряки 111
Вічна енергія Козакова (отримання водню) 363
Внутрішня норма дохідності (IRR) 437
Вогняне буріння 23, 84
Водень з біомаси 380
Воднева енергетика 317
Водневий автомобіль Тайота 372–374
Впорядкування зростання народонаселення 487

Г

Газифікація вугілля 319
Газифікація твердих побутових відходів 298
Гейзер 76, 77, 78
Геліосистеми 51

Геліотермічний метод 57
ГеоТЕС 81, 82
Гетероелектрик 397
Гідроелектростанція 10,
- мікро- 10,
- міні- 10,
- мала 10,
- припливна 226,
- термо- 239,
- акумулююча 168, 169
Гідроенергетика 407
Гідротурбіни 187,
- «Банкі» 203,
- ківшеві 205,
- ортогональні 207, 210,
- капсульні 208,
- вільно-поточні 210,
- Самойленко 215,
- Горлова 218,
- архимедів гвинт 220-223,
- гідроенергетичний генератор Сарра 217
Гідротурбіни ПАТ «Турбоатом» 182
«Глибинний лід» на дні Чорного моря 250
Гранулятор 305
Графен 383

Д

Двигун Стірлінга 308
Деметилловий ефір 212–216
Джерела енергії 10,
- альтернативні 10,
- відновлювальні 10,
- невідновлювальні 14,
- нетрадиційні 14,

- традиційні 14,
- вторинні 10
- Дисконтований період окупності (DPP) 437
- Діаметр Сонця 28
- Дністровська ГАЕС 169–170
- Довкілля 408

Е

- Енергетика 10, 406,
 - альтернативна 10,
 - традиційна 14,
 - нетрадиційна 14,
 - воднева 317,
 - відновлювальна 10,
 - геотермальна 10, 73,
 - гідротермальна 10,
 - вітрова 10, 105, 118
- Електростанція 10,
 - гідро-10,
 - вітрова 10
- Енергоресурси 15,
 - невідновлювальні (вичерпні) 15,
 - відновлювальні 17,
 - розвідані 17,
 - потенційні 17,
 - теоретично-можливі 17,
 - технічні (теоретично-досяжні) 17,
 - економічно-доцільні 17
- Екліптика 33
- Енергетичний баланс Землі 19
- Ексергія 78
- Ефективність роботи теплового насоса 85

- Елементи вітроенергетичної установки 130,
 - вітроколесо 130,
 - головка 130,
 - хвіст 130,
 - башта 131,
 - вертикальний вал 131,
 - редуктор 131,
 - механізм регулювання 131
- Екологічні аспекти вітроенергетики 151
- Етапи розвитку гідроенергетики 165
- Електрогенератори для малих ГЕС 206
- Енергія водних ресурсів 224
- Енергія біомаси 254, 283
- Енергетична верба 301
- Екологічність водню 317
- Ефективність добавки водню 319
- Електроліз води 319
- Експрес аналізатор крові 385
- Екологія 407,
 - прикладна 408,
 - інженерна 408
- Екосистема 407
- Енергоспоживання на душу населення 415
- Енергоємність валового національного продукту 415
- Енергія 10, 406,
 - сонячна 18, 20, 27, 55,
 - гідравлічна 10,
 - геотермальна 10, 73,
 - гідротермальна 10,
 - вітрова 10, 105, 118

З

Забруднення 409,
- води 409,
- повітря 409,
- ґрунту 409
Забруднення річки Дніпро
419, 420
Загрозливий стан гідросфери
419
Заміщення енергоресурсу 430
Запаси води в гідросфері 158
Запаси енергоресурсів 76,
- геотермальні 76,
- геотермічні 76,
- петротермічні 76
«Зелений тариф» 11, 25

І

Ідеальний цикл теплового на-
соса 86
Інвертори мережеві 68
Індекс дохідності (прибутко-
вості) (PI) 437
Інноваційна палата України
394
Інтенсивність сонячного ви-
промінювання 26
Інфраструктура водню 320

К

Капітальні вкладення 436
Каскад Дніпровських ГЕС
167
Класифікація вітрів 116, 114
Класифікація вітроустановок
128,
- мережеві 128,

- автономні 128,
- для виконання механічної
роботи 128,
- крильчасті 129,
- роторні 129,
- тихохідні 129,
- швидкохідні 129,
- ізольовані 129,
- в енергетичному комплексі
129
Коефіцієнт 85,
- перетворення теплоти 85,
- холодопродуктивності 85,
- використання потужності
вітру 107
Коефіцієнт впровадження
інновацій 394,
Компенсація дефіциту енергії
428
Компоненти біосфери 410,
- продуценти 410,
- консументи 410,
- редуценти 410
Компоненти біосфери по В. І.
Вернацькому – речовина 412,
- жива 412,
- біогенна 412,
- костна 413,
- біокостна 413
Компоновка модельного ге-
лієвого реактора 346–348
Компресори 93,
- теплових насосів 93,
- пластинчасті 94,
- спіральні 94,
- поршневі 95,
- гвинтові 95

Конструкції вітроенергетичних установок 138–149
Концентратори 58,
- тарілки 61,
- параболічні 62
Кора Землі 75
Котли 284,
- малі твердопаливні 284,
- пелетні фірми Hargasser 285–286
- пелетні універсальні 287,
- твердопаливні фірми CAN-DLE 288,
- з киплячим шаром 290–293,
- водогрійні 294
Круговорот 410,
- вуглекислого газу 410,
- води 410,
- кисню 410
Кут нахилу екліптики 33
Кут нахилу сонячної панелі 37
Кут падіння 37

Л

Лінія гранульованої деревини 304

М

Магма Землі 74
Мала ГЕС 172
Мала енергетика 170
Мантія Землі 73
Мікро ГЕС 171
Мікросхема на нано-трубці 383
Міні ГЕС 171

Модель сталого розвитку України 414
Модульний гелієвий реактор 145
Молекулярний автомобіль 382

Н

Наноаккумулятор 381
Наноантени 396
Наноматеріали 375
Нанонаука 375
Нанооб'єкти 379
Нанопродукти 379
Наноструктура фотоаноду 359
Нанотехнології в теплоенергетиці 395
Нанотехнологія 378
Нанотранзистор 384
Нанотрубки вуглецеві 396–397
Нафтовий еквівалент 17
Небесна сфера 33
Небесний екватор 33
Невичерпність 317
Новий вид сонячних батарей 317
Новий процесор INTEL 381
Новітні досягнення нанотехнології 380
Нормативний коефіцієнт ефективності 436

О

Обмеження зростання вуглецевого палива 428

Ортогональні вітрогенератори 132
Особливості енергії вітру 115
Оцінка забруднень навколишнього середовища 428

П

Паливний елемент «Casio» 381
Паливний елемент з генераторами Тесла 367
Паливні елементи 328, 364
Паливо 15,
- органічне 15,
- умовне 17
Парниковий ефект 17, 416
Парова конверсія метану 319
Переваги малих ГЕС 223
Перетворення сонячної енергії 28,
- фотоелектричне 28,
- термодинамічне 28
Перетворювачі хвиль 231,
- Oceanlinx – «Дихання Дракона» 231–233,
- «Качка Солтера» 234,
- контурний пліт 235,
- гравітаційний хвильовий 236,
- архимедове хвильове хитання AWS 237–236
Період повернення капіталу 435
Перспективи розвитку гідроенергетики 166
Підбір гідротурбін 194

Підбір електричного обладнання 196
Плавуча мала ГЕС 191
Повторюваність вітру 106, 116
Потенціал енергії 22
Потенціал енергії біомаси 262
Потенціал застосування водню 364
Потік радіації 38
Практичне використання водневої енергетики 368
Прибуток 435
Приведені витрати 435
Принцип роботи штучного листя 355
Припливні ГЕС 223–230
Проблеми розвитку малої гідроенергетики 178
Проведення комплексу фундаментальних досліджень 428
Проектування біогазової установки 281–283
Промислові теплові насоси 90

Р

Радіаційна стійкість матеріалів 400
Резервуар геотермальний 75
Реконструкція ГЕС «Дніпроенерго» 167
Рентабельність 435
Репрезентативність 117
«Рідка броня» 385
Робота повітряного потоку 118

Розвиток вітроенергетичних установок 136–138
Розподіл випромінювання 32
Розрахунок окупності котлів 289

С

Самоочищення біосфери 419
Серійні малі гідротурбіни 179
Системи моніторингу 68
Сірководень Чорного моря 240–245, 362
Сонце 18
Сонячна батарея 39
Сонячна стала 31
Сонячний вітер 31
Сонячні колектори 49,
- плоскі 47,
- трубчасті вакуумні 49, 51–54,
- термосифонні 53
Сонячно-водневе виробництво 322,
- прямий нагрів 322,
- термохімічний метод 322,
- електролітичний метод 323,
- фотолітичний метод 322
Спалювання відходів 293,
- деревинних 293,
- мулових 294,
- твердих 295
Споживання енергоресурсів на душу населення 414
Ставки сонячні 68
Стан Дніпра – «екологічна криза» 421
Стан малих ГЕС України 173

Супердроти 398–400
Схема біогазової установки 280
Схема міні-заводу дизпалива 278
Схема паливного елемента 327
Схема сміттєспалюваного заводу 298
Схеми отримання водню 324,
- електролізом 325
Схилення 36
Сховище солі 60

Т

Температура Сонця 28
Теплове забруднення 416
Тепловий насос 84
Теплоємність води 157
Теплота плавлення води 157
Теплотворна здатність водню 317
Термін окупності 435
Термоелектричний матеріал 396
Термохімічний процес отримання водню 339
Типи вітрогенераторів 120
Типи теплових насосів 90,
- геотермальні 96,
- повітряні 96
Третя ланка біосистеми – Космос 412
Тропосфера 410
Турбогенераторний процес отримання водню 339, 343

У

Український сайт нанотехнології 392
Українські наноілюзії 391
Уніфікація устаткування малих ГЕС 184
Установки 406,
- генеруючі 406,
- перетворюючі 406,
- енергетичні мережі 407,
- споживаючі 407,
- акумулюючі 407,
- сонячні 47,
- водонагрівальні 48,
Устаткування малих ГЕС 179
Уявне положення Сонця 32

Ф

Флеш-пам'ять на основі нанотрубок 383
Фотоелектрична комірка з наноматеріалів 358
Фотоелементи 40–42,
- монокристалічні 42,
- полікристалічні 42,
- плівкові 45
Фотосфера 18
Фулерен 382

Х

Хвильові термінатори 231
Хімічний склад Сонця 29
Хлорофіл 410

Ц

Цвітіння води 422–423
Цикл 87,

- Ренкіна теплового насоса 87, 88,
- реальний 88
Циклон 109
Ціанобактерії 422

Ч

Чиста приведена вартість (NPV) 437

Ш

Швидкість вітру 105, 106
Штучний лист з нано-дротів 360

Я

Ядро Землі 73

Навчальне видання

Герасімов Євгеній Генріхович
Герасимов Генріх Григорович

**ВИКОРИСТАННЯ ВІДНОВЛЮВАНИХ
ДЖЕРЕЛ ЕНЕРГІЇ**

Навчальний посібник

Технічний редактор

Г.Ф. Сімчук

Видавець і виготовлювач
Національний університет
водного господарства та природокористування,
вул. Соборна, 11, м. Рівне, 33028.

Свідоцтво про внесення суб'єкта видавничої справи до
державного реєстру видавців, виготівників і розповсюджувачів
видавничої продукції РВ № 31 від 26.04.2005 р.